

Применение труб из различных материалов для наружных инженерных сетей. Комментарии к методике прочностных расчетов полимерных труб.

Уважаемые коллеги, в данной статье приведены краткие характеристики труб из материалов различного типа (полимеров, металла, бетона), а также сравнительные ценовые и прочностные показатели, с целью упростить процесс расчета и облегчить выбор типа труб для прокладки наружных сетей водопровода, канализации и дренажа.

Решение о применении каждого типа труб должно приниматься не только с учетом требований проекта, срока службы трубопровода и условий эксплуатации, но и с учетом реальных возможностей строительно-монтажных организаций.

Для наружных сетей в настоящее время возможно применение труб из следующих материалов: полиэтилен, НПВХ, полипропилен, высокопрочный чугун, стеклопластик, сталь, железобетон. Приведем наиболее ярко выраженные преимущества и недостатки каждого из перечисленных типов труб: Железобетон:

- + достаточная прочность для укладки под автомобильными дорогами;
- + минимальная цена из всех альтернативных видов труб;
- наибольшая масса, максимальные затраты на транспортировку и монтаж;
- газовая коррозия в процессе эксплуатации, низкая герметичность труб;

Стальные трубы:

- + высокая прочность и ремонтопригодность, простота монтажа и демонтажа;
- высокая стоимость, значительный вес 1 погонного метра трубы;
- низкая коррозионная стойкость, большие отложения на внутренней поверхности труб;

Стеклопластиковые трубы:

- + высокая прочность, жесткость (модуль упругости) и срок эксплуатации;
- + стойкостью к высоким температурам и агрессивным жидкостям одновременно;
- + меньшая стоимость по сравнению с чугунными трубами;
- наибольшая хрупкость из всех видов труб,
- высокие требования к грунту основания и грунту обратной засыпки;
- значительное время ремонта при авариях, сложность монтажа;

Полипропиленовые трубы (напорные и безнапорные):

- + стойкость к температурам и агрессивным жидкостям;
- + простая технология монтажа канализационных двухслойных гофрированных труб;
- + наименьший вес погонного метра из всех типов канализационных труб;
- высокая стоимость, особенно напорных видов труб со сборкой в раструб или на сварке встык;
- большой коэффициент теплового расширения;
- низкий модуль упругости, как следствие - значительные деформации поперечного сечения;

Высокопрочный чугун - ВЧШГ:

- + наибольший срок эксплуатации, высокая прочность и жесткость, минимальная хрупкость;
- + наличие большого количества фасонных частей и типоразмеров труб (до 3000 мм);
- + простота сборки и монтажа трубопровода, минимальные требования к грунту;
- высокая стоимость труб,
- необходимость применения тяжелой строительной техники;

Непластифицированный поливинилхлорид - НПВХ:

- + высокая прочность и жесткость, минимальный вес из всех напорных видов труб;
- + простота сборки, наличие большого количества фитингов, невысокие требования к грунту;
- + долговременная стойкость к агрессивным веществам, отсутствие хрупкости;
- + наименьшая цена за погонный метр из всех видов труб;
- максимальный выпускаемый диаметр - 500 мм;
- невысокая максимальная температура эксплуатации до 60°C.

Полиэтилен:

- + высокая прочность, небольшой вес, простота в эксплуатации и обслуживании;
- + возможность намотки труб в бухты и наибольшая скорость монтажа малых диаметров;
- + наличие больших диаметров раструбных канализационных труб (до 2000 мм);
- высокая стоимость труб как следствие большой зависимости от цен на сырье;
- невысокая жесткость, сложность и энергозависимость при монтаже больших диаметров методом сварки;

Срок эксплуатации и надежность материала труб.

Наибольший подтвержденный срок эксплуатации имеют чугунные трубы. Первые чугунные трубопроводы появились в России ещё в 18 веке, и если до 1980-х годов это были трубы из серого чугуна (выпускаемые по ГОСТ 9583-75), то последние 20 лет начали применяться трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), который обладает лучшими прочностными показателями по сравнению с серым чугуном, (за счет добавки в состав чугуна до 2% магния). В настоящее время в России трубы из ВЧШГ выпускает только один завод – ЛМЗ «Свободный Сокол» (максимальный диаметр выпускаемый заводом 300 мм). Трубы диаметром до **1000 мм** соответствующие Российскому **ТУ 14-161-183-2000** выпускает Австрийский концерн **BUDERUS Tirolex Rohren und Metallwerke**. Чугунные трубы Китайских производителей поставляемые на территорию России подлежат обязательной сертификации.

Трубы из НПВХ были изобретены в 30-х годах прошлого века фирмой BASF и предназначались в первую очередь, для химических производств, однако они хорошо зарекомендовали себя и для обычных водопроводных и канализационных сетей. Подтвержденный срок эксплуатации этих труб составляет не менее 50 лет. Результаты исследований показали, что на протяжении 30 лет свойства материала оставались неизменными. На сегодняшний день ПВХ является единственным полимером, для которого процессы старения изучены в реальных условиях, и срок эксплуатации определен не путем экстраполяции и расчетов, а на практике. В России основным производителем труб НПВХ с 1970-х годов является завод «Корунд» г. Дзержинск. Основной стандарт на трубы из НПВХ - **ГОСТ Р 51613-2000**.

Трубы из полиэтилена начали эксплуатироваться в системах водоснабжения в 60-х годах прошлого века. В настоящее время на водопроводные трубы из полиэтилена действует **ГОСТ 18599-2001**. В России строительные нормы для труб из пластмасс (СН 478) были введены в 1975 году, позже переизданы с изменениями в 1980-м году.

Применяемость материалов для напорных сетей, даже при одинаковой стоимости не будет определяться только сроком эксплуатации труб; это основной, но не решающий показатель. Важным фактором при выборе материала должна стать возможность правильного и быстрого монтажа трубопровода, без привлечения излишних механизмов и оборудования.

Технология монтажа трубопроводов.

В этом году на рынке сложилась ситуация когда стоимость чугунных и полиэтиленовых труб большого диаметра (400 и выше) практически одинакова, в итоге при проектировании нового водопровода выбор материала труб обуславливается, в первую очередь, технологией производства работ, а также затратами при монтаже трубопровода, расходами на доставку и хранение труб. При монтаже протяженного трубопровода имеет смысл применять полимерные трубы с соединением на сварке встык, как например, это осуществлялось при монтаже напорного трубопровода диаметром 500 мм протяженностью 4,5 км в

г. Березники, произведенного фирмой «Галс-Н» в марте-июне этого года. При производстве работ в городской черте в стесненных условиях, наоборот, небольшая длина чугунных или поливинилхлоридных труб, при возможности их сборки в раструб с уплотнением резиновой манжетой, будет иметь преимущество перед монтажом длинномерных полиэтиленовых труб. Один из примеров такой работы – монтаж участка трубопровода диаметром 600 мм, протяженностью 127 метров на перекрестке улиц Карпинского и Свйазева, произведенный фирмой «Спецстрой» в июне-июле этого года. В течение 2005 - 2006 года на территории города Перми введено в эксплуатацию трубопроводов диаметром свыше 315 мм общей протяженностью 11 км. Перечень крупных объектов исчисляется десятками. Преимущества монтажа этих труб очевидны:

- малый вес, позволяющий производить монтаж труб диаметром до 315 мм вручную;
- максимальная герметичность раструбного соединения, уплотняемого резиновой манжетой;
- высокие прочностные характеристики и большой запас прочности конструкции;
- возможность применения новых типов запорно-регулирующей арматуры, дисковых поворотных затворов.

Все эти преимущества в итоге позволяют в кратчайшие сроки строить современные трубопроводы соответствующие самым жестким санитарно-эпидемиологическим требованиям, с длительным сроком эксплуатации и неподверженным старению.

Стоимость труб.

При возможности использования различных материалов для строительства напорных и безнапорных сетей, выбор материала в значительной степени определяется стоимостью труб.

1. Таблица сравнительной стоимости 1 п.м. канализационной трубы в рублях с НДС:

Условный Диаметр	Гофрированный двухслойный полипропилен, класса SN 8	Полиэтилен марки 80 SDR 21, класса SN8	Двухслойный полиэтилен марки 80 SDR 16, класса SN8	НПВХ100, НПВХ 125 SDR 33 и 41, класса SN8	Высокопрочный чугун ВЧШГ,	Железобетонная труба
100	---	150 р/м	---	130 р/м	425 р/м	---
150	240 р/м – Ду 139	310 р/м	---	250 р/м	635 р/м	---
200	790 р/м – Ду 218	600 р/м	---	530 р/м	880 р/м	---
300	1150 р/м – Ду276	1170 р/м	---	1040 р/м	1520 р/м	---
400	1760 р/м – Ду348	1890 р/м	---	1700 р/м	4500 р/м	1200 р/м
500	3800 р/м – Ду435	2920 р/м	---	2800 р/м	6500 р/м	1700 р/м
600	6180 р/м – Ду548	4710 р/м	3360 р/м	---	8100 р/м	2200 р/м
700	---	5300 р/м	4330 р/м	---	11600 р/м	---
800	7000 р/м Ду 800	6700 р/м	5440 р/м	---	14000 р/м	3000 р/м
900	---	8600 р/м	6820 р/м	---	16300 р/м	---
1000	---	10600 р/м	8600 р/м	---	18200 р/м	3500 р/м
1200	---	15300 р/м	12170 р/м	---	---	6000 р/м
1500	---	---	18270 р/м	---	---	8500 р/м
1800	---	---	21200 р/м	---	---	---

2. Таблица сравнительной стоимости 1 п.м. напорной трубы в рублях с НДС:

Условный Диаметр	НПВХ 125, SDR 26, РУ 10 атм.	Высокопрочный чугун Р _у > 10 атм	Водопровод, сталь 3сп	Полиэтилен марки 80 SDR 13,6 Р _у = 10 атм	Стеклопластик*
100	170 р/м	425 р/м	230 р/м	220 р/м	--
150	350 р/м	635 р/м	410 р/м	460 р/м	--
200	690 р/м	880 р/м	770 р/м	890 р/м	1100 р/м
300	1360 р/м	1520 р/м	1750 р/м	1730 р/м	1600 р/м
400	2700 р/м	4500 р/м	2900 р/м	2820 р/м	2500 р/м
500	4200 р/м	6500 р/м	3800 р/м	4410 р/м	4000 р/м
600	--	8100 р/м	6200 р/м	7040 р/м	6000 р/м
700	--	11600 р/м	--	8100 р/м	7000 р/м
800	--	14000 р/м	--	10200 р/м	9000 р/м
900	--	16300 р/м	--	---	---
1000	--	18200 р/м	--	---	12000 р/м

* указана ориентировочная стоимость стеклопластиковых труб Российского производства, в том числе изготавливаемых в Перми. Стоимость такого типа труб определяется расчетом, с учетом грунтовых и транспортных нагрузок и в основном попадает в ценовой диапазон полиэтиленовых труб.

Расчеты трубопроводов.

Трубопроводы из стальных и чугунных труб не нуждаются в расчетах на прочность - определяющим для них будет гидравлический расчет. Большинство вопросов возникает при выборе в качестве материала труб какого-либо полимера. Начиная с 2004 года на территории Пермской области начали применять в большом количестве полимерные трубы, двухслойные гофрированные трубы различного производства, за два года эксплуатации появилось большое количество вопросов по применению этих труб, а также способам расчетов на прочность.

Основным документом, регламентирующим нормы по проектированию и строительству полимерных трубопроводов на территории России, является **Свод Правил 40-102-2000**. Приложение «Д» этого свода правил дает основную схему расчета трубопровода на прочность. Основная проблема при изучении методики расчета возникает в неточном определении различных коэффициентов, которые приведены в этом же приложении, в результате чего при выборе максимальных и минимальных значений получается большое отличие в итоговом результате.

Одним из первых исследователей и авторов норм по применению полимерных трубопроводов является кандидат технических наук, преподаватель МГТУ им. Баумана г. Москва Добромислов Александр Яковлевич, при его участии 27 и 28 июня 2006 года в Перми состоялся семинар по методикам расчета полимерных труб. Главным итогом семинара, на котором присутствовали представители большинства эксплуатирующих и проектных организаций города, стало решение о преимущественном применении полимерных труб тех производителей, которые хорошо зарекомендовали себя на Российском рынке. На вопрос о возможностях применения более точных расчетов для проектирования полимерных трубопроводов могу привести лишь только точку зрения профессора Добромислова, который вместе с коллективом соавторов рекомендовал Госстрою России не отменять действие норм СН 478-80, после принятия СП 40-102-2000.

В нормах СН 478-80 и СН 550-82 определен более жесткий порядок использования и расчета полимерных труб: так, для полиэтиленовых труб глубина заложения ограничена в 3,5 метра, предел деформации (укорочения вертикального диаметра трубы) ограничен для полиэтиленовых труб 5%, полипропиленовых - 4%, поливинилхлоридных - 3,5 %. В нормах **СП 40-102-2000** этот показатель не регламентируется в принципе, основополагающим является только расчет трубопровода на прочность. Так при выполнении условия прочности по формуле Д.1 или Д.2, укорочение вертикального диаметра вычисляемого по формуле Д.5 может составить до 12%.

Зачастую при расчетах гофрированных труб - вызывает определенные затруднения вычисление момента инерции стенки трубы Д.9 и кольцевой жесткости всей оболочки Д.8. Однако применение основ теоретической механики решает и эту проблему достаточно просто. В этой статье я не буду приводить технологию расчета, отмечу лишь, что нейтральная линия деформации всей трубы практически совпадает с центром масс стенки трубы, поэтому вычисление момента инерции сводится к определению инерции сечения относительно его геометрического центра.

В конечном итоге, прочность полимерного трубопровода по большей части зависит от модуля деформации грунта обратной засыпки - Е_{гр}, присутствующего в формулах Д.6 и Д.10. Этот результат подтверждается расчетами с различным типом труб класса SN 8 и SN 16 - НПВХ, полиэтилена или двухслойного гофрированного полипропилена. Модуль деформации грунта должен приниматься по результатам инженерно-геологических изысканий, и зависит от степени уплотнения грунта обратной засыпки. Реально достигнутый коэффициент уплотнения грунта составляет 0,85-0,9 (2-3 прохода механической трамбовкой), при попытке достигнуть больший коэффициент уплотнения грунта в пазах траншеи, происходит смещение уплотняемого грунта под основание трубопровода, и как следствие изменение проектных отметок, что недопустимо. Примерные значения Е_{гр} можно принимать следующими:

для песчаных грунтов — от 8,0 до 16,0 МПа,
для супесей и суглинков — от 2,0 до 6,0 МПа,
для глин — от 1,2 до 2,5 МПа;

Важным пунктом при расчетах всех типов полимерных труб является необходимость учета изменений коэффициента Пуассона (μ) и модулей длительной (Е) и кратковременной (Е₀) упругости в зависимости от температуры (смотри таблицу 3).

Коэффициент Пуассона характеризует распределение деформаций внутри материала, вдоль осей Y и Z, при воздействии вдоль третьей перпендикулярной оси X, при этом чем меньше значение коэффициента, тем более жестким считается материал (для аморфных тел показатель μ=0,5). Для трубопроводов, транспортирующих вещества с температурой свыше 40°C, величину коэффициента Пуассона также допускается принимать равной 0,5. При температурах до 40°C - μ принимается равным:

0,42—0,44 - для труб из полиэтилена низкого давления,
0,40—0,42 - для труб из полипропилена,
0,35—0,38 - для труб из поливинилхлорида.

Утверждение производителей гофрированных полипропиленовых труб о возможности эксплуатации трубопровода при температуре +95 °С, соответствуют истине только отчасти: если такой трубопровод будет хотя бы кратковременно испытывать высокую температуру, то в расчетах необходимо принимать модуль упругости с учетом температурного воздействия, **в итоге кольцевая жесткость труб снижается в несколько раз.**

3. Характеристики материала труб

Показатель	Полиэтилен	Полипропилен	НПВХ	Стекло-пластик	ВЧШГ	Сталь 3сп, сталь 20
Срок эксплуатации, лет,	не менее 50, из лабораторных исследований	не менее 50, из лабораторных исследований	более 50, из опыта эксплуатации	не менее 50, из лабораторных исследований	более 100, из опыта эксплуатации	10-15, при отсутствии электрокоррозии
Предел текучести материала при растяжении, МПа	20-25	25-28	50-55	40-200	300	250-300
Расчетная прочность материала, МПа	6,3 (ПЭ 63) 8 (ПЭ 80)	5-6,3	10 (НПВХ100) 12,5 (НПВХ125)	10-30, в осевом направлении	400	400-500
Коэф-ент теплового расширения, мм / м °С	0,2	0,15	0,08	0,03	0,007	0,01
Плотность, г / куб. см.	0,94-0,96	0,91	1,4	1,6-2,2	7,5	7,8
Удлинение при разрыве, %	>250	>200	50	0,4 – 1,4	10-20	20-30
Рабочее давление в течение всего срока эксплуатации, при Т=20°C, атмосфер.	4-10	до 16 атм., кроме безнапорных сетей	5-12,5	10-16	25 – 63	До 100
Коэффициент снижения рабочего давления от температуры	20°C – 1,0 30°C – 0,6 40°C – 0,4 50°C – 0,25	20°C – 1,0 30°C – 0,8 40°C – 0,6 50°C – 0,45	20°C – 1,0 30°C – 0,8 40°C – 0,6 50°C – 0,35	незначит.	незначит.	незначит.
Температура транспортируемой неагрессивной среды, °С	от -30 до +60	от 0 до +100	от 0 до +60	от 0 до +200	от -30 до +300	от -40 до +450
Температура транспортируемой агрессивной среды, °С	от -30 до +40	от 0 до +60	от 0 до +40	от 0 до +200	--	--
Кратковременный модуль упругости, МПа	800	1200	3000	до 25000 в осевом направлении	75000	50000
Длительный модуль упругости, при 20°C	200	300	850	до 25000 в осевом направлении	75000	--
Коэффициент снижения длительного модуля упругости от температуры	20°C – 1,0 30°C – 0,8 40°C – 0,65 50°C – 0,5 60°C – 0,4	20°C – 1,0 40°C – 0,75 60°C – 0,5 80°C – 0,35 100°C – 0,2	20°C – 1,0 30°C – 0,9 40°C – 0,85 50°C – 0,8 60°C – 0,7	незначит.	--	--

Рекомендации по применению труб.

С учетом основных факторов (срок эксплуатации, стоимость, прочностные характеристики) для каждого вида труб возможно подобрать оптимальную сферу применения:

Чугунные трубы: магистральные и городские трубопроводы диаметром свыше 500 мм, сооружаемые в местах плотной городской застройки, при реконструкции и перекладке трубопроводов открытым способом, для прокладки в подвижных и водонасыщенных грунтах, а также при невозможности выполнить стыковую сварку полиэтиленовых труб из-за отсутствия энергоисточников на объекте работ.

Полиэтиленовые трубы: различные трубопроводы большого диаметра для магистральных сетей, а также сети малого диаметра, но большой протяженности при прокладке в сельской местности (при возможности монтажа труб из бухт). Отдельно стоит отметить перспективы применения безнапорных трубопроводов большого диаметра от 600 до 2000 мм, из витых труб с поллой стенкой.

Поливинилхлоридные трубы: напорные и безнапорные трубопроводы различного назначения, диаметром до 500 мм, при прокладке в стесненных условиях городской застройки и сложных грунтовых условиях, с учетом подключения трубопроводов меньшего диаметра. Разветвленные водопроводные системы внутриквартальной и городской водопроводной сети. Канализационные трубопроводы среднего и малого диаметра большой протяженности.

Гофрированные полипропиленовые трубы: безнапорные трубопроводы среднего и малого диаметра для прокладки внутри городской застройки, трубопроводы диаметром 600 мм и выше, неконкурентоспособны с витыми трубами из полиэтилена.

Железобетонные трубы:

дренажные и ливневые коллекторы диаметром до 2000 мм при условии защиты труб от газовой коррозии.

Стеклопластиковые трубы: в зависимости от условий строительства при воздействии высокой температуры и агрессивной среды одновременно. Промышленные технологические трубопроводы для транспортировки нефти и продуктов её переработки.

Общие рекомендации при выборе полимерных труб различного типа:

- производить расчет трубопровода с учетом максимальных требований и нагрузок;

- принимать в качестве решающего фактора результаты расчетов, а не показатели кольцевой жесткости – SN, которые определяются эмпирическим путем каждым производителем труб независимо;
- ограничивать величину вертикальной деформации трубы по результатам расчетов разумными пределами, не допуская значительной овализации труб в грунте, даже при соблюдении прочностных характеристик;
- использовать для расчетов