



Strength and **Durability** for **Life**

Сравнение Материалов

ВЧШГ против ПВХ-О

автор Ричард Боунс

Август, 2015

Инженеры-проектировщики сталкиваются с огромным количеством вариантов решений при проектировании различных трубопроводов питьевого водоснабжения, включая предварительный бюджет всей системы, требования по производительности, эксплуатационные расходы, надёжность, а также сроки службы.

В этой работе приводится сравнение краткосрочных и долгосрочных структурных эксплуатационных параметров труб из высокопрочного чугуна (ВЧШГ) и из молекулярно-ориентированного поливинилхлорида (ПВХ-О). Работа предоставляет важную информацию для инженеров, которые должны определять материалы при выборе трубной продукции для проектов.

Помимо публикации представленных в данной работе сравнительных испытаний двух видов материала, эта публикация приводит сравнение стандартов AWWA (американская ассоциация водоснабжения) для каждого материала труб, включая ANSI/AWWA C150/A21.50 для труб ВЧШГ и ANSI/AWWA C909 для труб ПВХ-О.

Сведения, представленные ниже взяты из нескольких источников, включая стандарты AWWA, опубликованные материалы производителей данных видов трубной продукции, а также данные испытаний от DIPRA (*ассоциация по исследованию труб из ВЧШГ*), Structural Composites Inc. (*производитель композитных материалов*), и Plastic Engineering Laboratory (*испытательная лаборатория полимерных материалов*). Тесты, представленные в данной работе, проводились с трубами ВЧШГ Ду 150 мм и Ду 250 мм, класса давления 350 psi (*24 бара*) (самый низкий из всех возможных классов давления) и трубами ПВХ-О Ду 150 и 250 мм, класс давления 150 psi (*10 бар*). Была попытка получить данные тестов трубы ПВХ-О 200 psi (*13,7 бар*) (максимальный класс согласно ANSI\AWWA C909), но этого не удалось сделать.

Данная работа содержит техническую информацию, которая доказывает, что все трубные материалы различаются по своим техническим возможностям.

Таблица 1

Сравнение стандартов для труб ВЧШГ и ПВХ-О

Параметры	Трубы чугунные (ВЧШГ) ANSI/AWWA C150/A21.50 ANSI/AWWA C150/A21.51	Трубы ПВХ-О ANSI/AWWA C909
Диаметры	75-1600 мм	100-300 мм
Монтажная длина	5,5-6,0 м	6,0 м
Класс давления	Варьируется до 350 psi (24 бар). Класс давления 150 (10 бар), 200 (13,8 бар), 250 (17,2 бар), 300 (20,7 бар), 350 psi (24 бар). Могут быть рассчитаны и бóльшие давления.	Существует класс 100 (7 бар), 150 (10 бар) и 200 psi (13,8 бар). При рабочей температуре более 73,4 F (23°C), уровень давления должен быть пропорционально снижен.
Способ проектирования	Спроектировано как гибкий трубопровод. Отдельный расчет для внутреннего давления (кольцевая жесткость) и внешней нагрузки (изгибающий момент и деформация). Допустимый предел нагрузки зависит от толщины стенки.	Спроектировано как гибкий трубопровод. Отдельный расчет для внутреннего давления (кольцевая жесткость) и внешней нагрузки (деформация) – внешняя нагрузка не указана в стандарте . Нет сведений об изгибающем моменте.
Расчет внутреннего давления	Класс давления: величина рабочего давления воды и давления гидравлического удара не может превышать минимальный показатель предела текучести 290 МПа при коэффициенте безопасности 2,0	Класс давления: величина рабочего давления воды и давления гидравлического удара не может превышать гидростатический проектный базис (50 МПа) при коэффициенте безопасности 2,5
Величина гидравлического удара	Номинальное давление гидравлического удара 100 psi (7 бар) (рассчитано на краткосрочное изменение скорости потока ≈0,6 м/с), однако следует учитывать давление гидравлического удара.	23 (1,6 бар), 27 (1,9 бар) и 31 (2,14 бар) psi. Для классов давления 100 (7 бар), 150 (10 бар), 200 psi (13,8 бар) соответственно. Рассчитано на краткосрочное изменение скорости потока ≈0,6 м/с.
Расчет внешней нагрузки	Давление призмы грунта + транспортная нагрузка. Значение кольцевой жесткости ограничивается 330 МПа, что является ½ от минимального предела прочности на изгиб. Оваллизация не должна превышать 3% от внешнего диаметра трубы, что является ½ значения оваллизации, при котором цементно-песчаное покрытие может повредиться.	Расчет не упоминается в стандарте. Существует ссылка на AWWA M23 для расчетов. Давление призмы грунта + транспортная нагрузка. Используется уравнение «Iowa», нет сведений о допустимых пределах оваллизации для расчетов и о коэффициенте безопасности.
Рабочая нагрузка	Согласно стандарту AASHTO (американская строительная ассоциация высокоскоростных автомагистралей) критерий нагрузки H20, предполагает нагрузку 16 000 фунтов (7,3 тн) на колесо. Коэффициент динамического воздействия 1,5 для всех глубин заложения.	Расчет не упоминается в стандарте. Существует ссылка на AWWA M23 для расчетов. AASHTO-20 для нагрузки 16 000 фунтов (7,3 тн) на 2 колеса с минимальным расстоянием 6 футов (1,8 м) пятна контакта колеса с опорной поверхностью 18-20 дюймов (0,45-0,5 м). Глубина заложения 4 фута (1,2 м) или меньше. Коэффициент динамического воздействия не упоминается.

<p>Коэффициент безопасности</p>	<p>При расчете давления: 2,0 (включая гидравлический удар) основано на минимальном значении предела текучести в 290 МПа. При расчете внешних нагрузок: - 2,0 для изгибающего момента, основано на минимальном значении кольцевого напряжения на изгиб 661 МПа или - 1,5 для изгибающего момента, основанного на минимальном значении кольцевой жёсткости при изгибе в 496 МПа. - 2,0 до нарушения целостности ЦПП трубы. Примечание: Действующие коэффициенты запаса прочности выше номинальных из-за эксплуатационных и литейных допусков, закладываемых при проектировании.</p>	<p>Расчет давления: 2,5 (включая гидравлический удар) основано на гидростатическом проектном базисе 50 МПа. ASTM D2837 позволяет трубам со значением ГПБ в 50 МПа иметь реальное значение ГПБ в 41 МПа Расчет внешних нагрузок: не существует внешних факторов. Нет критериев для внешних нагрузок. Примечание: факторы безопасности и прочности особенно уязвимы при влиянии температуры, царапин поверхности и длительного воздействия солнечных лучей. Трубы под циклическим нагрузками имеют меньший фактор безопасности, чем трубы, имеющие статические нагрузки.</p>
<p>Рекомендованные условия засыпки</p>	<p>Существует 5 различных способов засыпок (типы 1-5). Параметры прочности почвы и E' также приведены. Тип 1 (ровное дно траншеи, обратная засыпка) или тип 2 (ровное дно траншеи, слегка уплотненная засыпка ближе к центру трубы) приемлемы для большинства случаев.</p>	<p>Не упоминается в стандарте. В предисловии и в приложении А стандарта AWWA M23 и в ANSI/AWWA C605 содержатся 5 способов укладки, которые обозначаются как «общие способы укладки». Эти способы укладки копируют способы, описанные у ВЧШГ (AWWA C150), тем не менее AWWA C 605 использует значительно меньшие значения постоянных величин K и модуля сопротивления грунта E'.</p>
<p>Гидростатические испытания</p>	<p>Каждая труба тестируется при минимальном значении равном 500 psi (34,5 бар) в течение минимум 10 секунд при полном давлении.</p>	<p>Каждая труба проходит испытание на 4 различных классах давления в течение минимум 5 секунд при полном давлении. Существует приложение (раздел 5.1.9) для «покупателя или поставщика», который позволяет производителям проводить гидростатические тесты на давление не для всех труб. Другими словами, не каждый продукт ПВХ-О должен быть протестирован на соответствие давлению</p>
<p>Заводские испытания</p>	<p>Каждые 3 часа в процессе изготовления, как минимум один образец должен быть испытан на предел прочности при разрыве, результат должен показать минимальный предел текучести в 42000 psi (290 МПа), минимальный предел прочности на разрыв 60 000 psi (413 МПа) и минимальное</p>	<p>Тесты на давление (1 000 часов) проводятся каждые пол года при показателях в 3,25÷3,5 раза выше класса давления. Испытания на разрыв (примерно в 5 раз больше класса давления) проводятся каждые 24 часа. Тесты на сплющивание проводятся каждые 8 часов, как указано в стандарте ASTM D 2412. Тесты на</p>

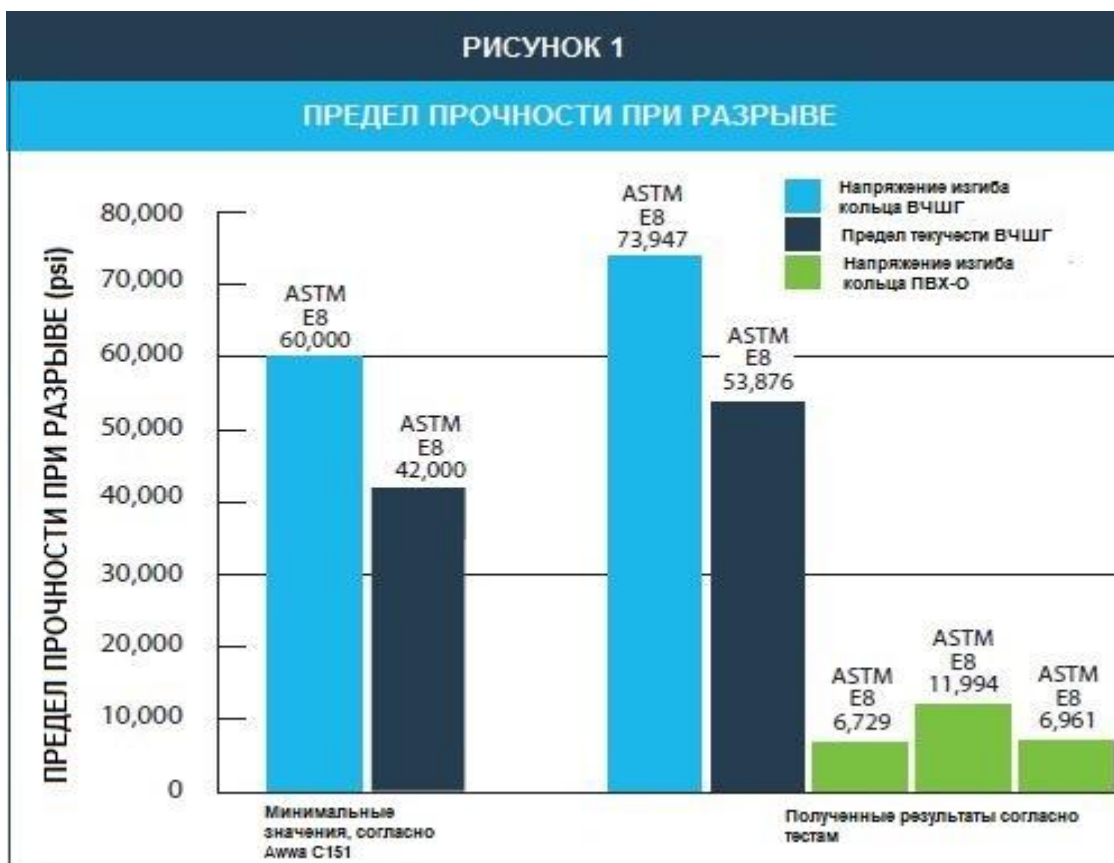
	<p>относительное удлинение 10%. Минимум один образец в час должен быть протестирован на ударную вязкость по методу Шарпи 7 фут-фунт (9,5 Дж), с дополнительным низкотемпературным тестом 3 фут-фунт (4,0 Дж), при чем должны быть испытаны как минимум 10% из образцов, выбранных для теста на ударную вязкость по методу Шарпи.</p>	<p>качество экструзии проводятся каждые 8 часов в соответствии с ASTM D2152.</p>
--	--	--

Предел прочности ВЧШГ в 10 раз больше чем ПВХ-О

Предел прочности материала для трубной продукции является очень важной характеристикой, так как он противостоит силам, вызванными внутренним гидростатическим давлением и гидравлическими ударами.

На рисунке 1 показано сравнение временного сопротивления разрыву у ВЧШГ и ПВХ-О. Показаны минимальные значения согласно стандартам и экспериментальным данным после обследования образцов ВЧШГ Ду 150 мм класс давления 350 psi (24 бар) и Ду 150мм ПВХ-О с классом давления 150 psi (10 бар). Все материалы были испытаны согласно стандарту ASTM E8. Кроме того, труба ПВХ-О была испытана на соответствие стандартам ASTM D2290 и ASTM B638. Стандарт ANSI/AWWA C151/A21.51 говорит о том, что показатели временного сопротивления разрыву, условный предел текучести и относительное удлинение не требует определения в соответствии со стандартом ASTM E8. Стандарт ANSI/AWWA C909 не требует испытаний для определения временного сопротивления разрыву или относительного удлинения.

Временное сопротивление разрыву ПВХ-О на рисунке 1 показывает «краткосрочные значения». «Долгосрочные значения» будут в значительной степени меньше. ПВХ-О в отличие от ВЧШГ испытывают на «ползучесть при растяжении» даже при относительно низких нагрузках. Как только уровень нагрузки на ПВХ-О снижается или в случае, если нагрузка на трубу осуществляется довольно продолжительный период времени, молекулы успевают высвободится, что снижает уровень нагрузки, достаточный для деформации материала.



Типичные вариации изменения рабочей температуры или температуры во время монтажа не влияют на прочность материала ВЧШГ



Так как труба из высокопрочного чугуна имеет низкий и постоянный коэффициент термального расширения, некоторые проблемы могут возникнуть только случайно при рабочих температурах. Как при обычных (0 до +35°C), так и при экстремальных температурах (-23÷60°C) разницы во временном сопротивлении разрыву трубы из ВЧШГ не существует.

С другой стороны, из-за того, что труба ПВХ-О имеет термопластичную полимерную природу, её срок службы в значительной степени зависит от рабочей температуры. У ПВХ-О при рабочей температуре больше 23°C снижается показатель временного сопротивления разрыву, кольцевая жесткость трубы и формоустойчивость. Поэтому

способность труб из ПВХ-О выдерживать давления уменьшается и во время монтажа необходимо обращать особое внимание, чтобы избежать чрезмерного отклонения. При температуре менее 23°C труба из ПВХ-О теряет ударную вязкость и становится менее прочной, что требует более тщательного обращения с материалом в холодную погоду.

Из-за того, что коэффициент температурного расширения трубы ПВХ-О примерно в 5 раз больше, чем у трубы ВЧШГ, предположительно, что если подвергнуть трубу ПВХ-О экстремальному изменению температуры, она может испытывать нежелательные структурные изменения, такие как изгиб стыка или рассоединение из-за расширения или сжатия.

Рисунок 2 показывает отношения, основанные на стандартном показателе временного сопротивления разрыву 11 100 psi (76 МПа) и гидростатическом проектном базисе в 7 100 psi (50 МПа) для ПВХ-О трубы. При температуре в 43,3°C, временное сопротивление разрыву и гидростатический проектный базис трубы ПВХ-О составляет примерно половину (50%) от временного сопротивления разрыву и гидростатического проектного базиса при температуре 23°C. Снижения этих показателей должно быть учтено при проектировании объекта с трубами ПВХ-О.

Трубы из ВЧШГ выдерживают в 5,6 раз большее гидростатическое давление на разрыв чем ПВХ-О

Тест на разрыв является самым точным измерением способности материала противостоять гидростатическому давлению. Тесты были выполнены согласно ASTM D1599. На образцы были установлены резиновые незамковые заглушки, затем образцы поместили в специальную машину, которая измеряет осевую нагрузку. Это приспособление производит давление в направлении всей окружности на стенки трубы, также как и внутреннее гидростатическое давление.

Все образцы чугунных труб (Ду 150 и 300мм) получили разрушения в виде трещин длиной от 375 до 1000 мм. Четыре образца Ду 150 мм из ПВХ-О получили повреждения по спирали. Другой образец раздулся и наклонился, что вызвало протечку в тестовой манжете. Это стало причиной увеличения диаметра трубы на 4,49%. Открытый конец раструба трубы ПВХ-О был установлен в аппарат для гидроиспытаний, с другой стороны был вставлен раструб из трубы ВЧШГ. Как только давление было увеличено, раструб трубы ПВХ-О раздулся настолько, что манжета сместилась и появилась течь.

Одна из 300мм труб ПВХ-О разорвалась и четыре остальные вышли из строя после «раздутия», деформации и вытягивания, что заставило трубу выйти из соединения, образовалась протечка. Использование блокировки и крепежных устройств в месте соединения обернулось неудачей в плане ограничения движений трубы. Это показывает, что определенные трудности могут возникнуть при монтаже стыков данной трубы. Раздутие трубы (от напора воды) вызвало постоянную деформацию в четырех образцах труб ПВХ-О Ду 300 мм. Постоянное увеличение диаметра данных образцов

(после снижения внутреннего давления и снятия с испытательного стенда) варьировалось от 4,09% до 12,96%*. Раструб трубы в последнем образце был соединен с гладким концом ВЧШГ. Как только давление повысилось раструб раздулся и манжета вылетела, образовав протечку.

* При большем давлении, диаметр может увеличиться еще больше.



*Давление, при котором труба ПВХ-О вышла из строя из-за вздутия и образования трещин



*Давление, при котором труба ПВХ-О вышла из строя из-за вздутия и образования трещин

Рисунки 3 и 4 показывают сравнение среднего значения гидростатического давления на разрыв для трубы ВЧШГ с давлением на разрыв или выходом трубы ПВХ-О из строя

из-за давления, при котором происходит вздутие. Важно отметить, что трубы ВЧШГ могут выдерживать давление в 350 psi (24 МПа) во всех диаметрах от 65 до 1600 мм. Ни одна труба из ПВХ-О не выдерживает такие давления, которые выдерживают трубы из ВЧШГ для всех диаметров.

Прочность труб из ВЧШГ не уменьшается со временем.

Что касается трубы из высокопрочного чугуна, то не существует соразмерной зависимости между применяемым временным сопротивлением разрыву и сроком службы. Поэтому считается, что прочность для гидростатического расчета трубы из ВЧШГ является минимальным условным пределом текучести в 42 000 psi (290 МПа).

Трубы ПВХ-О при тесте на временное сопротивление разрыву выходят из строя после периода времени обратно пропорционально приложенному напряжению. Значение прочности, которое используется для расчета гидростатического удара в трубах ПВХ-О значительно меньше, чем условный предел текучести материала при краткосрочном тесте. Используемое значение прочности называется «гидростатический проектный базис» (ГПБ).

Значение ГПБ которое определяется как усилие, которое приводит к выходу изделия из строя после 100 000 часов (11,4 года) работы и определяется согласно стандарту ASTM при помощи экстраполяции данных, полученных во время теста, который длится 10 000 часов (1,14 лет). Стандарт ANSI/AWWA C909 описывает ПВХ-О как материал, получаемый из веществ, входящих в состав ПВХ с ГПБ в 4 000 psi (27,5 МПа), который наращивается по всей окружности до получения трубы ПВХ-О со значением ГПБ в 7 100 psi (49 МПа). Труба ПВХ-О, которая имеет значение ГПБ в 7 100 psi (49 МПа) на самом деле может иметь ГПБ только 6 810 psi (47 МПа) согласно стандарту ASTM D2837. ГПБ при температуре большей, чем 73,4 F (23 °C) должен быть понижен.

Рисунок 5

Типичная кривая службы трубы ПВХ-О

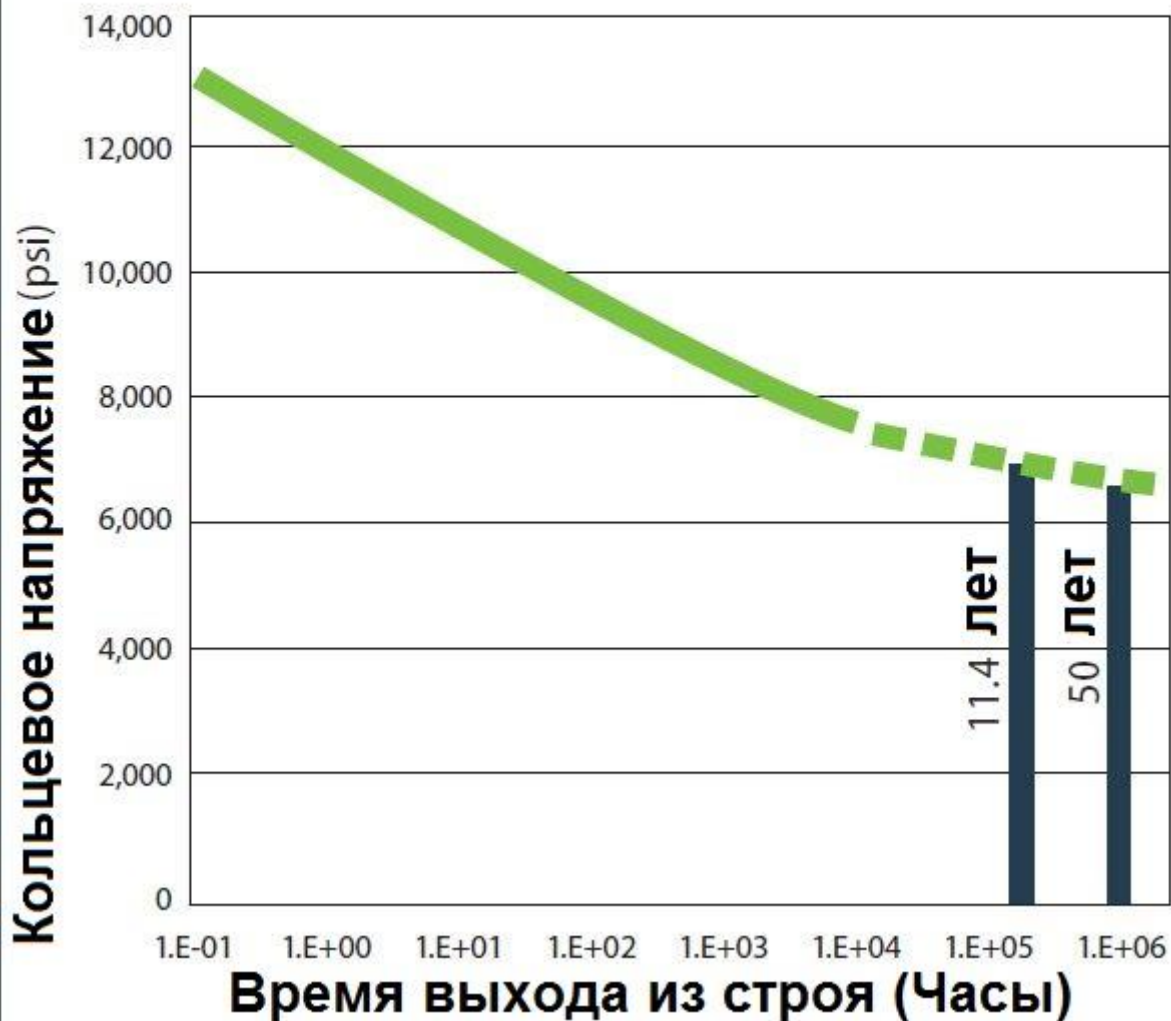


Рисунок 5 показывает кривую уменьшения давления для напорной трубы ПВХ-О, показывая отношение между давлением и временем выхода из строя. Стоит заметить, что через 11,4 года труба ПВХ-О выходит из строя при давлении, равном $\frac{1}{2}$ начального давления, вызывающего разрушение.

Трубы из ВЧШГ в 41 раз прочнее трубы из ПВХ-О при краткосрочном тесте на нагрузку и значительно лучше при долговременном тесте.

Различные варианты проектирования подземных трубопроводных систем, уделяют большое значение расчету нагрузок. Трубы ВЧШГ и ПВХ-О являются гибкими и упругими, и при внешней нагрузке могут изгибаться. Взаимодействие трубы с окружающим грунтом является комплексным вопросом в теории расчетов.

Процедура расчетов внешних нагрузок для ВЧШГ в AWWA/ANSI C150/A21.50 основывается на ограничении как отклонения, так и кольцевого напряжения на изгиб.

О внешней нагрузке не упоминается в ANSI/AWWA C909, единственным параметром, который используется при расчетах ПВХ-О является кольцевая деформация.

Стандартная процедура расчетов для трубы ВЧШГ ограничивает кольцевую деформацию при внешних нагрузках до 3%. Это ограничение, которое рассчитано на корректной работе цементно-песчаного покрытия, разработанного для труб ВЧШГ, включает в себя запас прочности 2. Данный расчет включает обычные ограничения по отношению к параметрам грунта и нагрузкам от окружения трубы при расчете напряжения на изгиб.

Обычная процедура расчета для труб ПВХ-О включает в себя ограничение кольцевой деформации при внешних нагрузках до 5% - единственное упоминание относительно внешних нагрузок.

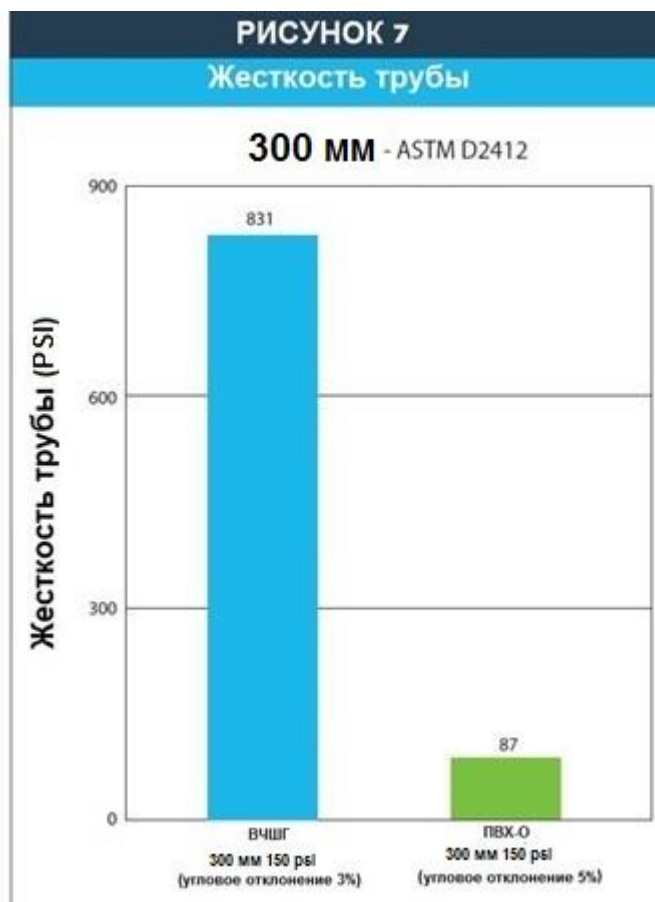
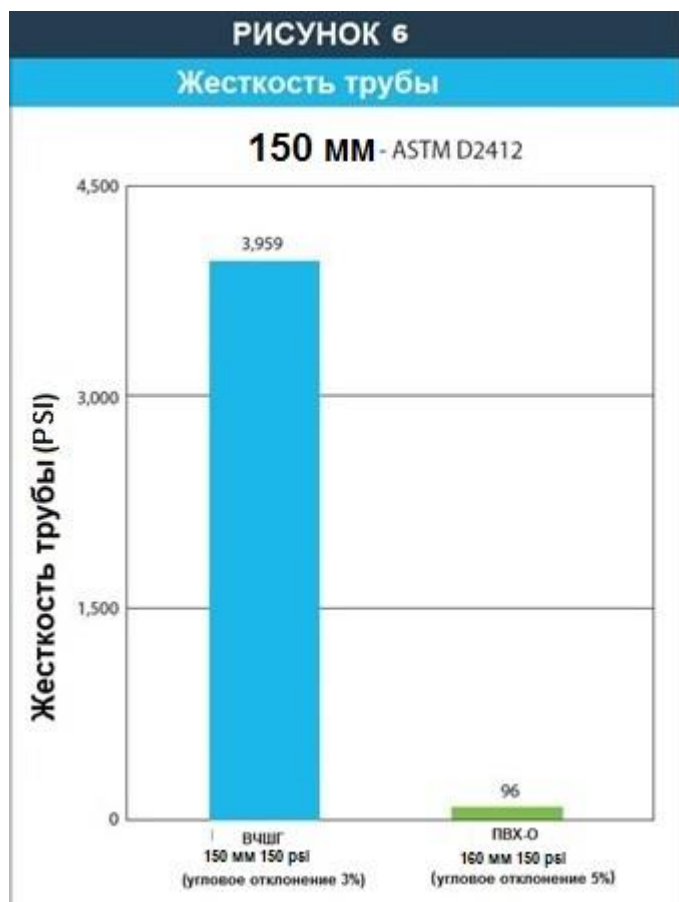
Труба ПВХ-О как и труба ВЧШГ на этапе проектирования рассчитывается при помощи формулы Iowa для возможного прогноза деформации трубы. При расчете по этой формуле жесткость материала трубы, как и жесткость грунта засыпки имеют влияние на фактор деформации. Из-за того, что труба ПВХ-О имеет жесткость намного меньше, чем у трубы ВЧШГ, влияние жесткости грунта для труб ПВХ-О значительно больше. Это означает, что трубы ПВХ-О в большей степени зависят от условий прокладки и контроля качества окружающего грунта засыпки трубопроводов.

Результаты параллельного испытания жесткости до разрушения кольца показывают сравнение относительной прочности двух материалов для трубной продукции. Рисунок 6 показывает жесткость трубы на образцах диаметром 150 мм ВЧШГ класс 350 (2,4 МПа) и ПВХ-О класс 150 (1,0 МПа). Рисунок 7 показывает жесткость труб диаметром 300 мм ВЧШГ класс 350 (2,4 МПа) и ПВХ-О класс 150 (1,0 МПа).

В случае с трубой из ВЧШГ тест на разрыв проводился для определения основных механических свойств, таких как модуль эластичности грунта, предел упругости и предел текучести. Это основные константы для использования в различных расчетных формулах, которые были получены исходя из теории эластичности, где напряжение всегда пропорционально нагрузке. С пластиком такой пропорции быть не может. Отношения между нагрузкой и напряжением особенно зависят от продолжительности нагрузок, температуры и окружающей среды. Значения модулей, предела текучести, предела прочности и других краткосрочных свойств пластика необходимы для определения и классификации материалов. Значения прочности и жесткости, которые были определены с помощью краткосрочных тестов, не являются постоянными при использовании в сложных формулах, которые были получены на основании свойств упругости. Тем не менее, большинство таких уравнений может быть и используется с пластиком, где значения прочности и жесткости определяются величинами, не основанными на упругих свойствах.

В отличие от трубы ВЧШГ, лабораторные тесты на нагрузку трубы ПВХ-О, выполнялись на кольце с нагрузкой, уменьшающей диаметр на 1,27 см в минуту, что даёт бóльшие значения, чем долгосрочные испытания со всей трубой из-за присущей ей пластической деформации. Свойство материала, от которого зависит жесткость, это

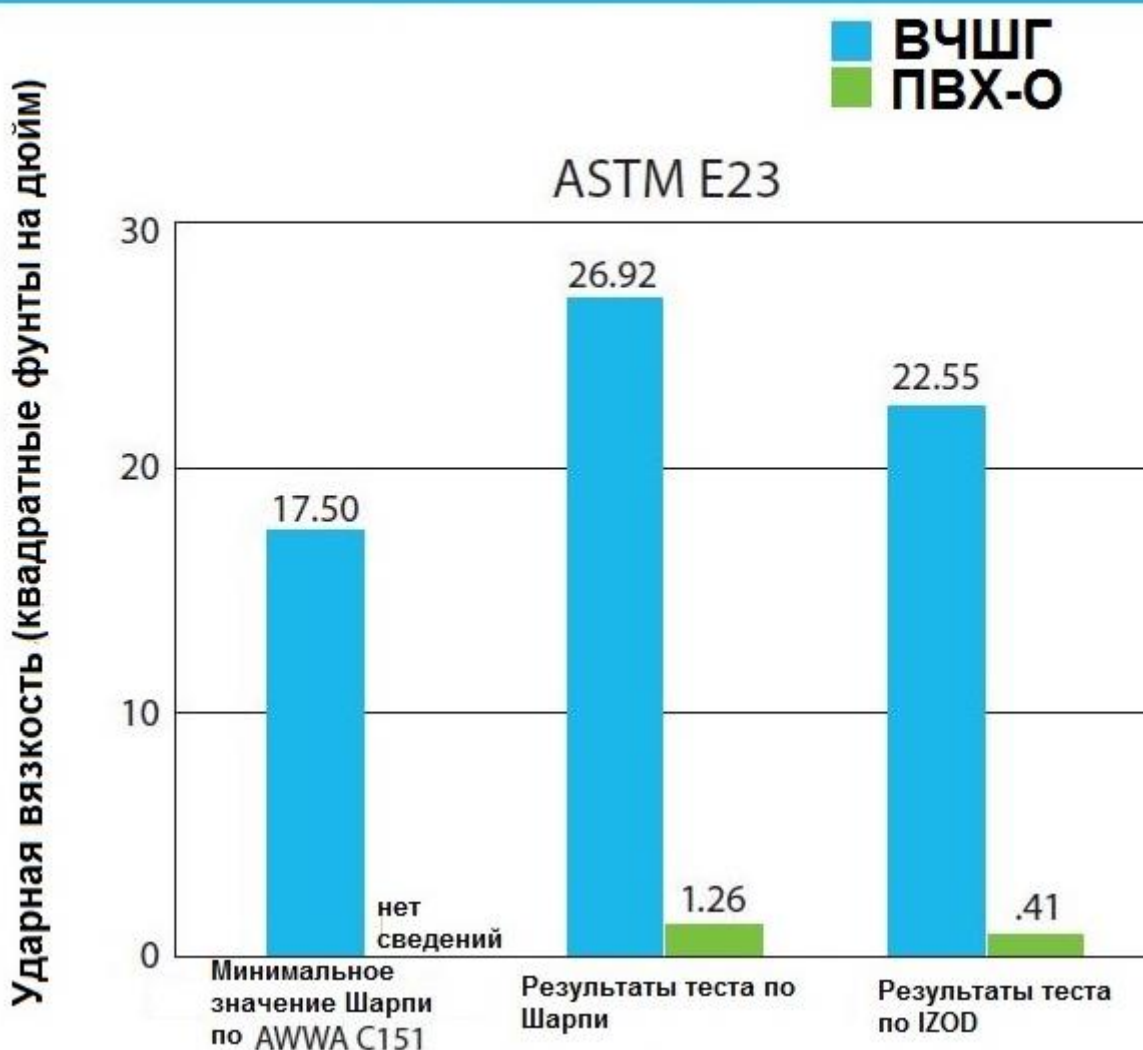
модуль эластичности. В тот момент, когда труба ПВХ-О находится под давлением, модуль эластичности со временем уменьшается. Плоскопараллельный тест на испытание жесткости по разрушению кольца трубы показывает краткосрочную жесткость пластиковой трубы. Долгосрочная жесткость должна измеряться на основе долгосрочных показателей.



Ударная вязкость трубы ВЧШГ в 55 раз больше, чем у трубы ПВХ-О

Ударная вязкость - это другая очень важная характеристика материала для трубопровода. Это свойство относится в большей степени к трубе во время складирования, транспортировки и монтажа, но также может быть важным, если работа в будущем может проводиться вокруг функционирующего трубопровода. Это важно, потому, что в случае нарушений правил складирования, транспортировки и монтажа труб, повреждения могут остаться незамеченными, что может привести к выходу трубопровода из строя. Рисунок 8 показывает сравнение ударной вязкости труб ВЧШГ с трубами ПВХ-О (ударная вязкость не указана в ANSI/AWWA C909 для ПВХ-О). Тесты проводились при помощи как IZOD (тип тестирования пластмасс на прочность - консольная балка), так и Charpy (испытания по методу Шарпи). Тесты проводились при температуре 20°C. Как и с пределом прочности не существует значительной зависимости между сопротивлением ударной нагрузке и нормальным рабочим давлением для труб ВЧШГ. Трубы ПВХ-О, тем не менее, имеют значительное снижение ударной вязкости при температуре ниже 23 °C. Ударная вязкость трубы ПВХ-О, также значительно уменьшается при длительном воздействии прямых солнечных лучей - важное замечание относительно условий хранения труб.

Ударная Вязкость



Врезка для труб ВЧШГ проще, дешевле и значительно быстрее, чем для ПВХ-О.

Врезки обычно производятся до или после установки трубы из ВЧШГ. Процедура врезки предполагает крепление машины, сверление и врезку вентиля ответвления. Минимальный класс давления для всех диаметров труб из ВЧШГ допускает непосредственную врезку в тело трубы вентилей диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма (19 мм). Кроме того, для труб из ВЧШГ минимального класса давления Ду 150 мм и выше, допускается врезка непосредственно в тело трубы вентилей диаметром 1 дюйм (25 мм). Стандартные вентили могут использоваться на всех классах давления и могут ввинчиваться прямо в просверленную трубу из ВЧШГ.

Стандарт ANSI/AWWA C909 для труб ПВХ-О требует использование обжимного хомута на всех диаметрах и классах давления. С другой стороны, трубы ВЧШГ не требуют обязательного использования обжимных хомутов.

Энергосбережение

Производители трубы ПВХ-О прорекламировали факт, что «внутренний диаметр трубы больше, чем внутренний диаметр трубы ВЧШГ, что позволяет иметь большую пропускную способность и меньшую потерю напора». Данное утверждение не верно для всех размеров и классов трубы. Внутренний диаметр трубы ВЧШГ и трубы ПВХ-О сопоставимы, трубы ВЧШГ имеют больший внутренний диаметр чем 8 дюймовая труба класса давления 200 (1,4 МПа), 10 и 12 дюймовые трубы с классами давления 150 (1,0 МПа) и 200 (1,4 МПа) ПВХ-О.

Кроме того, производители труб как ПВХ-О, так и ПВХ заявляют о том, что коэффициент «С» Хазена-Вильямса равен 150 (прим. ред. *Формула Хазена — Вильямса — эмпирическая формула, устанавливающая связь свойств потока воды в трубопроводе с физическими свойствами трубы и падением давления вследствие трения. Формула используется при конструировании водопроводных систем, таких как спринклеры, системы водоснабжения и оросительные системы. Преимуществом формулы Хазена — Вильямса является то, что коэффициент шероховатости C не является функцией числа Рейнольдса, но эта формула применима только для потоков воды. Кроме того, она не учитывает температуру и вязкость воды - По ВИКИПЕДИИ*). DIPRA и ее предшественник CIPRA (Ассоциация по исследованию труб из «серого» чугуна) давно доказывали, что коэффициент «С» Хазена-Вильямса равен 140 при использовании внутренних ЦПП (цементно-песчаных покрытий) в трубах из «серого» чугуна и ВЧШГ. Эта рекомендация, о том, что значение коэффициента «С» равно 140 для расчетов при проектировании является корректной. Это доказывает, что реальный мир трубопроводов довольно далёк от теоретической геометрии лабораторных построений трубопроводов. Более того, DIPRA продолжила полевые испытания и работающие трубопроводы показали, что коэффициент «С» равен 140 и это значение сохраняется все время, даже при транспортировке высокоагрессивных сред. С другой стороны, DIPRA всегда проводит тесты, где сравнивает трубы ВЧШГ и ПВХ. Средний коэффициент «С» по формуле Хазен-Вильямса для труб ПВХ согласно тестам составил 139,53.

Другие выводы

Проницаемость

ПВХ-О материал, который довольно сильно проницаем и не должен прокладываться в почвах с высоким уровнем загрязнения или в грунтах, где содержатся такие вещества, как нефть, жидкое топливо, бензин, дизельное топливо, керосин или другие составляющие этих жидкостей с углеводородом. Эти жидкости могут растворяться и проникать через стенки трубопроводов ПВХ-О и других пластиковых труб, потенциально раздувая трубу и ослабляя материал, что влияет на вкус и запах питьевой воды, которая транспортируется по трубопроводу.

В отличие от труб ПВХ-О трубы ВЧШГ не разрушаются и непроницаемы для углеводородов. С системами ВЧШГ только соединения с резиновыми уплотнителями

могут быть проницаемы, однако, из-за большой массы манжеты и относительно небольшой площади манжеты, находящегося в контакте с почвой, загрязнение через манжету не может быть значительным, если только в течение долгого времени манжета не находится в непосредственном контакте с чистыми органическими веществами. Случаи загрязнения питьевой воды через стенки пластиковых труб задокументированы и исследованы в работе «Проникновение органических соединений через пластиковые трубы» университетом Дженкинса в Калифорнии, Беркли, а также в опубликованной в 1991 году работ в журнале AWWA «Загрязнение питьевой воды при проницаемости пластиковой трубы». Результаты поиска литературы по данной тематике совместно с материалами структур, ответственных за системы ЖКХ в США, показали в данном исследовании, что материалы пластиковых труб, такие как полибутилен, полиэтилен и поливинилхлорид из за своей проницаемости разрушались в 43%, 39% и 15% соответственно из всех известных случаев выхода труб из строя.

Не было зафиксировано ни одного случая проницаемости труб из ВЧШГ, кроме одного единственного случая попадания загрязнений через резиновую манжету (тип трубы не оглашался). Некоторые материалы манжет препятствуют проницаемости и разрушению лучше, чем другие. В то время как результаты тестов манжет довольно многообещающие, наилучшие результаты по противостоянию проницаемости показывают фторуглеродные манжеты. Такие манжеты могут применяться в местах с высоким заражением почвы углеводородами.

Гидравлический удар и циклические нагрузки

Как и трубы ВЧШГ, трубы ПВХ-О подвергаются циклическим нагрузкам из-за гидравлических ударов, вызванных изменением скорости потока системы.

Труба ВЧШГ имеет предел прочности на разрыв 42000 psi (290 МПа) и рассчитывается с фактором безопасности 2,0. Это позволяет устанавливать максимальное внутренне давление во время работы в 21000 psi (145 МПа). Предел циклической усталости ВЧШГ описывается в литературе как 28000 psi (193 МПа) и 35000 psi (241 МПа). Поэтому труба ВЧШГ не подвергается выходу из строя из-за усталости материала.

ПВХ, с другой стороны, имеет предел усталости материала в 1500 psi (6 МПа) при расчете согласно С900 или С905 для труб ПВХ, максимальное давление на стенки допускается в расчете 1600 psi (6,8 МПа) (С900) или 2000 psi (13 МПа) (С905). Очевидно, что существует потенциал для возможной циклической усталости материала. Максимальный уровень нагрузок на стенки в трубах ПВХ-О 2840 psi (13,7 МПа). К Вашему сведению, ни одно из испытаний еще не подтвердило предел усталости для труб ПВХ-О.

Требования к укладке в траншеи

Из-за недостатков, полученных по наследству трубой ПВХ-О, к таким трубам предъявляются более высокие требования к укладке по сравнению с трубами из ВЧШГ. Качественная подложка требуется для контроля угла основания, который является единственным критерием при расчете внешних нагрузок на трубу ПВХ-О. Стандарты, которые рекомендуются для установки пластиковых труб, предполагают, что труба будет засыпаться грунтом с фракциями минимального размера, которые зависят от величины диаметра, так, чтобы добиться боковой поддержки грунта засыпки. Почва должна быть очищена от органических материалов. Дно траншеи не должно содержать больших камней, кусков грязи или любых замороженных материалов, так как эти объекты могут вызвать сокращение выносливости материала из-за царапин или трения. Такие требования к траншеям редко соблюдаются.

Из-за того, что трубы ВЧШГ обладают довольно большой выносливостью, для них можно использовать тип укладки 1 (ровное основание, обратная засыпка) и 2 (ровное основание, слегка уплотнённая засыпка) – естественные условия для траншеи согласно ANSI/AWWA C150/A21.50, приемлемые для разнообразных сфер применения

Отклонение соединений

Отклонение в местах стыков для труб ПВХ-О составляет примерно 2 градуса согласно брошюре “Ultra-blue CIOD” компании «Уронор». Трубопроводы, требующие большего угла отклонения, нуждаются в фасонных частях или в прогибе самой трубы, что создает напряжение (которое обычно не прописывается при расчетах) в стенках трубы.

С трубой ВЧШГ не требуется усилий для достижения отклонения. В зависимости от диаметра трубы соединение TYTON имеет отклонение до 5 градусов. Раструбное шаровое соединение имеет максимальное отклонение до 15 градусов до диаметра 600 мм, на больших диаметрах максимальное отклонение варьируется от 12 до 15 градусов.

Замковые соединения

Из-за того, что замковые соединения не подходят для труб ПВХ-О, только некоторый набор замковых соединений доступен для данных труб. Кроме того, все замковые механизмы труб ПВХ-О основаны на фиксации гладкого конца трубы внутри раструба посредством врезающихся или зубчатых элементов, что может вызвать царапины на теле трубы. Поэтому многие системы выполняются с применением бетонных упоров, а не замковых соединений в местах изменений направления или диаметра трубопровода из ПВХ-О.

С другой стороны, большое разнообразие замковых соединений доступны для труб ВЧШГ, предоставляя проектировщикам выбор при расчете и установке трубопроводов.

Поиск трубопровода

Из-за того, что трубы ПВХ-О не являются металлическими изделиями, их невозможно найти при помощи детекторов металла. Поэтому металлические провода должны прокладываться в траншею, чтобы электронные металлоискатели смогли определить место ее прокладки.

Земляные работы по близости

Существующие ПВХ-О трубы более уязвимы для повреждений во время проведения земляных работ и укладки трубопровода по близости, в отличие от ВЧШГ.

Плавуемость

Труба ПВХ-О плавучая – об этом необходимо помнить во время укладки материала в местах с высоким горизонтом грунтовых вод или там, где существует вероятность затопления траншеи. Для предотвращения потери подложки для трубопровода из ПВХ-О, трубопровод должен быть закреплен. Плавуемость не является проблемой для ВЧШГ.

Воздействие прямых солнечных лучей

Специальные правила техники безопасности должны приниматься во внимание при воздействии солнечных лучей на трубы ПВХ-О в течение длительного времени. «Трубы ПВХ-О при воздействии в течение длительного периода времени ультрафиолетового излучения поверхность труб может получить повреждения». Такой эффект обычно называется «деструкция под воздействием ультрафиолетовых лучей». Согласно спецификациям ASTM, при хранении пластиковой трубы на открытых площадках, она должна быть защищена от погодных воздействий согласно рекомендациям производителя. В теплом климате необходимо организовать циркуляцию воздуха непосредственно рядом с трубами.

Инструкция по установке компании J-M говорит: «При попадании солнечных лучей на поверхность труб ПВХ в течение длительного периода может происходить изменение цвета трубы. Такое изменение в цвете может означать возможное изменение ударной вязкости».

Хотя долгосрочный эффект воздействия солнечных лучей на трубы ПВХ и ПВХ-О не до конца понятен, изменения в свойствах материала случаются, как только появляются замечания о ударной вязкости.

Трубы ВЧШГ не подвержены влиянию солнечных лучей или погоды.

Влияние царапин

По сравнению с ВЧШГ, материал ПВХ-О очень мягкий и намного более уязвим к трению, царапинам и другим повреждениям во время транспортировки и монтажа. Стандарт C909 говорит о том, что «поверхность трубы должна быть чистой от трещин и глубоких царапин». Точно такое же утверждение может быть найдено в C900 и C905 для труб ПВХ и это очень спорная оговорка по отношению к некоторым стройкам с большим количеством строительного мусора.

Согласно Хаксу (Hucks) тесты, проведенные на пластиковых трубах, показали, что царапины глубиной 0,01 дюйм (0,25 мм) и 10 дюймов (254 мм) в длину при давлении 160 psi (1,1 МПа) для труб Ду 12 ÷ 25 мм снижают количество рабочих циклов с 52000 до 9600. Компания J-M рекомендует в своей «Инструкции по установке для труб ПВХ»: «трубы с царапинами глубиной от 10% от толщины стенки подлежат ремонту». Для трубы ПВХ-О диаметром 6 дюймов (150 мм) и класса давления 150 psi (1,0 МПа) эта величина составляет примерно 5 мм. Согласно J-M секция с повреждением должна быть отремонтирована при помощи хомута либо удалена полностью.

Из-за того, что прочность и долговечность ВЧШГ гораздо больше, царапины не влияют на эксплуатацию.

Опыт эксплуатации

Способность человека отливать трубы возникла случайно и скорее всего связана с литьем монет, которые по сообщениям появились в 1313 году. Существует официальная запись о литье чугунной трубы в Зигерланде, Германия, в 1455 году они устанавливались в Замке Диленбурга.

Самая ранняя запись стандарта AWWA для чугунных труб была размещена в «отчете по процедурам 10-й ежегодной встречи Американской Ассоциации Водоснабжения» в 1890 году. 10 сентября 1902 года Ассоциация водных сооружений новой Англии приняла более детальную версию стандарта, названную «Спецификация чугунных труб и специальное литье».

Появление высокопрочного чугуна в 1948 году стало одним из значимых изобретений в промышленности напорных трубопроводов. Первые стандарты ANSI/AWWA C150/A21.50 (стандарт расчетов для труб ВЧШГ) и ANSI/AWWA C151/21/51 (стандарт производства ВЧШГ труб) появились в 1965 году.

Трубы ВЧШГ используются уже более 45 лет и из-за идентичных физических параметров с «серым» чугуном, можно предсказать сроки службы трубопровода из ВЧШГ. Сравнение было проведено при детальном исследовании на предмет коррозии между «серым» чугуном и ВЧШГ. Исследования показали, что **высокопрочный чугун как минимум в равной степени противостоит коррозии, как и «серый» чугун.**

«Серый» чугун и ВЧШГ прошли проверку временем. С другой стороны, стандарт ANSI/AWWA C909 для труб ПВХ-О был впервые выпущен только в 1998 году.

Выводы

Высокопрочный чугун считается наилучшим материалом для транспортировки питьевой воды и водоотведения. Его великолепная прочность и долговечность позволяют применять его с уверенностью, что при любых условиях работоспособность трубопровода сохранится.

Непомерные расходы, связанные с преждевременной заменой подземных коммуникаций, заставляют инженеров изначально выбирать наилучший материал, который с экономической точки зрения будет более выгодным в долгосрочной перспективе

Труба из высокопрочного чугуна – проверенный продукт с историей более 45 лет и несколько веков, если иметь в виду его предшественника «серый» чугун. Независимо от критериев – прочность, долговечность, врезка, фактор безопасности или испытания в полевых условиях – очень легко понять, то что давным-давно знают специалисты по трубам.

ВЧШГ – правильный выбор!

Литература:

1. ANSI/AWWA C150/A21.50, "American National Standard for the Thickness Design of Ductile Iron Pipe," American Water Works Association, Denver, Colorado (1996).
2. ANSI/AWWA C909, "American National Standard for Molecularly Oriented Polyvinyl Chloride (PVCO) Pressure Pipe, 4 In. (100 mm Through 300 mm), For Water Distribution," American Water Works Association, Denver, Colorado (1998).
3. Original tests were conducted by Structural Composites, Inc., an independent engineering testing firm, in 1999 in Melbourne, Florida, and American Cast Iron Pipe Company in Birmingham, Alabama, in 1999 and witnessed by Professional Service Industries, an independent consulting third-party witnessing/testing firm. Supplemental tests were conducted by Plastics Engineering Laboratory, an independent testing firm, in 2000 in Lawrenceville, Georgia, and United States Pipe and Foundry Company in 1999-2000 in Birmingham, Alabama.
4. ANSI/AWWA C151/A21.51, "American National Standard for Ductile-Iron Pipe, Centrifugally Cast, For Water," American Water Works Association, Denver, Colorado (1996).
5. ANSI/AWWA C605, "American National Standard for Underground Installation of Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fittings for Water," Denver, Colorado (1994).
6. ASTM E8, "Test Methods For Tension Testing of Metallic Materials."
7. ASTM D2290, "Apparent Tensile Strength of Ring or Tubular Plastics and Reinforced Plastics by Split Disk Method."
8. ASTM D638, "Tensile Properties of Plastics."
9. American Water Works Association Manual M23, "PVC Pipe-Design and Installation," American Water Works Association, Denver, Colorado (1980), p. 9, Uni-Bell Plastic Pipe Association, "Handbook of PVC Pipe Design and Construction," Dallas, Texas, 1991, p. 116
10. AWWA M23, p. 9.
11. AWWA M23, p. 9.
12. "Handbook of PVC Pipe," p. 268.
13. ASTM D1599, "Test Method for Short-Time Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings."
14. "Handbook of PVC Pipe," p. 123.
15. ASTM D2837, "Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials."
16. ANSI/AWWA C909.
17. "Handbook of PVC Pipes," pp. 198-210.
18. "Engineering Properties of Polyethylene," Plastic Pipe Institute, p. 3-11.
19. ASTM E23, "Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials."
20. "Handbook of PVC Pipe," p. 213.
21. "Handbook of PVC Pipe," p. 60.
22. D. Jenkins. "Permeation of Plastic Pipes by Organic Chemicals," Journal AWWA, August 1991.
23. "Ductile Iron Handbook," American Foundrymen's Society, Inc., 1992, pp. 25, 26.
24. ASM Handbook, Volume 19, "Fatigue and Fracture," ASM International, 1996, pp. 665-679.
25. ASM Specialty Handbook, "Cast Irons," ASM International, 1996, pp. 395-408.
26. Ductile Iron Compendium, Pont-a-Mousson S.A., 1986, A. 81.
27. Hucks, Robert T. Jr., "Designing PVC Pipe for Water- Distribution Systems," Journal American Water Works Association, July 1972, p. 447.
28. ASTM D2774, "Standard Practice for Underground Installation of Thermoplastic Pressure Pipe," 1994.
29. ASTM D2774. C909, Section 4.3.2.
30. Uponor, "Ultra-Blue CIOD."
31. Uponor, "Ultra-Blue Short Form Specification."
32. AWWA C600-99, pp. 12-14.
33. "Ductile Iron Pipe Subaqueous Crossings," Ductile Iron Pipe Research Association, Birmingham, Alabama, 1999.
34. "Handbook of PVC Pipe," p. 60.
35. ASTM D2774.
36. "Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide," Johns-Manville, Denver, Colorado, 1979, p. 7.
37. C909, Section 4.3.2.
38. Robert T. Hucks, Jr. "Design of PVC Water Distribution Pipe," Civil Engineering, June 1972, p. 73.
39. "Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide," p. 37.
40. "Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide," p. 37.
41. Approximately 560 U.S. and Canadian utilities are members of the Cast Iron Pipe Century Club for having Cast Iron pipe in continuous service for 100 years or more. At least 16 utilities have gained membership in the Cast Iron Pipe Sesquicentury Club for having Cast Iron pipe in continuous service for 150 years or more.
42. E.C. Sears. "Comparison of the Soil Corrosion Resistance of Ductile Iron Pipe and Gray Cast Iron Pipe," Material Protection, October 1968.