

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время для производства труб используются самые разные материалы: металлы, пластмассы, керамика, асбестоцемент, бетон и композиции из нескольких материалов. Каждый материал и системы трубопроводов из них имеют свои достоинства и недостатки.

Чтобы сориентироваться в этом многообразии и выбрать нужный тип трубы, необходимо знать цель использования трубопровода, параметры его работы и требуемую долговечность. Долговечность часто является камнем преткновения, т.к. возникает дилемма: если труба дешевая, то она недолговечная, и наоборот. Ремонт трубопроводов – серьезная проблема, сопряженная с большими затратами. Поэтому может оказаться, что большие единовременные затраты во время строительства помогут сэкономить ваши деньги на ремонте. Еще одна не менее важная проблема – сложность монтажа системы трубопровода и связанные с ней затраты.

Рассматривать свойства труб целесообразно по виду материала, из которого они изготовлены, т.к. вид материала определяет эксплуатационные характеристики трубы, ее долговечность, методы монтажа и, естественно, стоимость. Каждая из вышеназванных систем трубопроводов должна применяться инженерами-проектировщиками в зависимости от конкретных условий эксплуатации и технико-экономических расчетов.

В системах водоснабжения во всем мире, в том числе и в России, наиболее широко применяемыми материалами для изготовления труб являются высокопрочный чугун и полимерные материалы, такие как полиэтилен и поливинилхлорид.

Для рационального выбора материала труб для сетей водоснабжения и канализации постараемся кратко сравнить как краткосрочные, так и долгосрочные структурные и эксплуатационные качества труб из ВЧШГ и полимерных труб из ПВХ и полиэтилена высокой плотности.

Полимерные трубы имеют жесткие ограничения по рабочему давлению, напрямую зависящему от средней температуры всего срока эксплуатации и от максимального диаметра трубы. И с этими ограничениями приходится считаться. Расчет эксплуатационных характеристик производится в соответствии с требованиями стандарта ISO 13760 "Пластмассовые напорные трубы для транспортировки жидкостей. Правило Майнера. Метод расчета накопленных повреждений".

Поэтому, факторы надежности и прочности полимерных труб в значительной мере зависят от температуры, условий укладки, нагрузок и целого ряда других факторов. Полимерные трубы под воздействием циклических нагрузок имеют меньший фактор надежности, чем под воздействием статических нагрузок.

Для стабильной и надежной работы полимерных труб в сетях водоснабжения необходима установка регуляторов давления и температуры, а также неукоснительное выполнение требований по устройству траншей, уплотнению подушки и обратной засыпки труб. Данные в таблице 1 характеризуют механические свойства материалов, позволяющие выдерживать скачки давления и гидравлические удары, температурные воздействия среды, воздействия при транспортировке, хранении и укладке труб.

Таблица 1

Параметры	Трубы из:		
	ВЧШГ	ПВХ	ПЭ
Предел прочности при растяжении, МПа	420	50	25
Предел прочности при сжатии, МПа	340	64	12
Предел текучести, МПа	300	100	35
Кольцевое напряжение при изгибе, МПа	340	Не определены критерии	Не определены критерии

Класс по давлению	От 1,0 до 2,5 МПа. Рабочее давление не зависит от температуры	Рассчитаны до 1,6 МПа при рабочей температуре 20 ⁰ С	От 0,5 до 1,6 МПа при рабочей температуре 20 ⁰ С
Допуск по пиковым нагрузкам (мгновенное увеличение скорости жидкости на 0,6 м/сек)	Номинальный допуск 0,7 МПа. Трубы могут эксплуатироваться в условиях реальных пиковых нагрузок	Номинальный допуск до 0,2 МПа	Не рассчитан. Допуск на пиковые нагрузки возможен при снижении фактора надежности до уровня ниже 2,0
Фактор надежности	1. По давлению $K=2,0$ (включая пиковые нагрузки) при пределе прочности на разрыв 300 МПа. 2. По внешним нагрузкам $K=2,0$ при пределе прочности по кольцевым напряжениям 670 МПа	1. По давлению $K=2,5$ (включая пиковые нагрузки) при пределе прочности на разрыв 50 МПа. 2. По внешним нагрузкам не рассчитан. Примечание *	1. По давлению $K<2,0$ (включая пиковые нагрузки) при пределе прочности на разрыв 25 МПа. 2. По внешним нагрузкам не рассчитан. Примечание *

Что же дают или не дают механические свойства труб, приведенные в таблице 1???

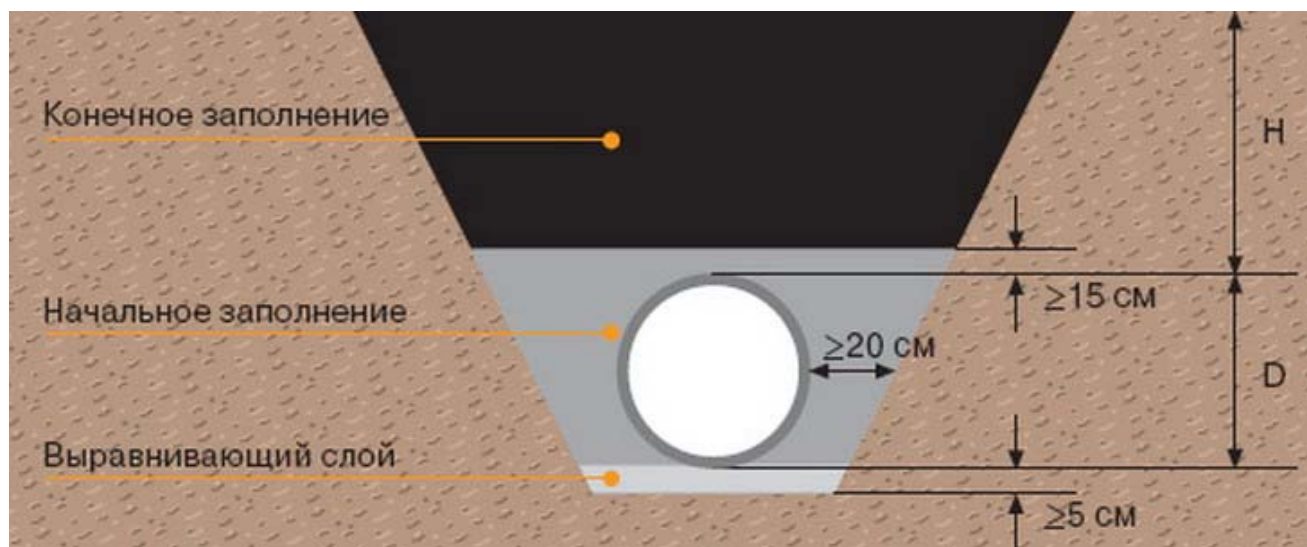


Рис. 1

Гибкие трубы, к которым относится большинство пластиковых труб, включая стеклопластиковые и полиэтиленовые, наиболее чувствительны к условиям укладки – только порядка 20% нагрузок выдерживается напрямую трубой, остальное распределяется на окружающий грунт (в случае труб ВЧШГ – наоборот).

Инструкциями по укладке ПЭ труб (см. рис. 1) рекомендуется выполнение подсыпки дна траншеи на высоту от 5 до 10 см и засыпки труб с уплотнением на высоту от 15 до 30 см выше верха ПЭ трубы (грунтом или специальным песком с частицами размерами менее 20 мм без острых камней и другого ломаного материала). Сконцентрированная точечная нагрузка на ПЭ трубу (камень и т. п.) со временем вызывает рост и распространение трещин в стенке трубы.

Вследствие вышеназванного, функционирование всей системы из пластмассовых труб находится в очень большой зависимости от квалификации подрядчика и правильности выполнения им процедур

укладки; уже построенная и введенная в эксплуатацию полимерная система требует сохранения изначальных условий укладки.

Наличие грунтовых вод или работы, проводящиеся поблизости, старение характеристик материала – все это может нарушить первоначальный баланс взаимодействия «труба – окружающий грунт».

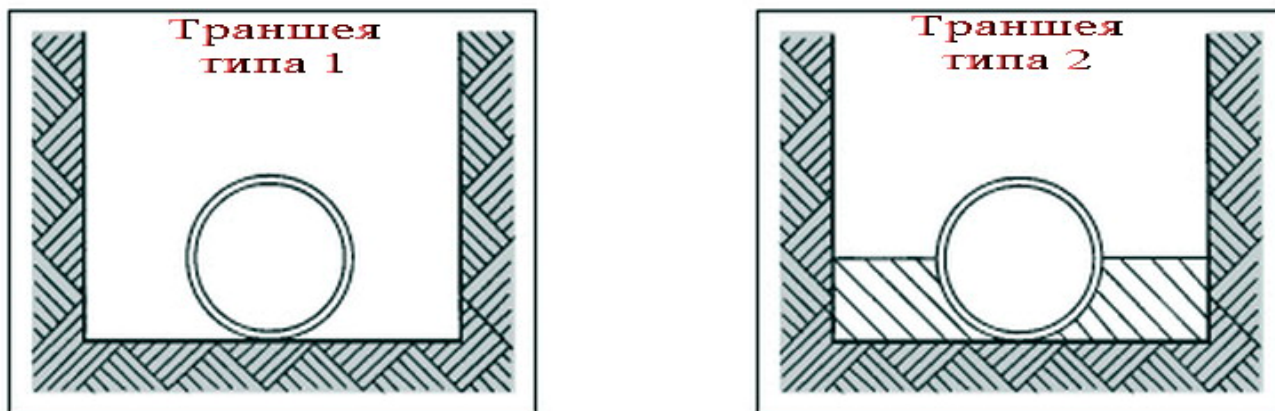


Рис. 2

Трубы из высокопрочного чугуна относятся к классу полужестких труб, а значит, наиболее подходят для подземного заложения, вследствие равномерного распределения нагрузок вокруг трубы, и прекрасных механических свойств.

Траншеи типа 1 (плоское дно, простая засыпка тем же грунтом из траншеи) и траншеи типа 2 (плоское дно, засыпка с уплотнением до середины трубы) (см. рис. 2) наиболее широко распространены при укладке труб ВЧШГ.

Механические свойства труб из высокопрочного чугуна почти такие же, как у стальных труб, и намного выше, чем у любых пластиковых труб. Очень важно отметить, что эти свойства не подвержены ухудшению со временем, что является проблемой для полимерных труб.

Трубы ВЧШГ не боятся также точечных нагрузок (проблемы для пластмассовых трубопроводов), ударов, вакуума (проблемы тонкостенных труб и пластиковых труб неподходящей жесткости), гидравлических ударов и т.д.

Трубы ВЧШГ имеют стыковые раструбные соединения со специальной формой прокладки и раструба. Преимущества данных соединений заключаются в способности стыка оставаться герметичным при любом давлении, выдерживаемом самой трубой, и возможности углового поворота (3-5°), что придает гибкость секции собранного трубопровода и позволяет выполнять повороты большого радиуса без использования фасонных частей, что мы уже видели в середине данного сообщения.

В связи с вышеизложенным стоит отметить следующие факторы в отношении полимерных труб:

1) уровень аварийности полиэтиленовых труб в два раза выше по сравнению с трубами ВЧШГ. Пластмассовые трубы не обладают жесткостью — высокой сопротивляемостью раздавливанию — и имеют большой коэффициент линейного расширения. Повышенные внешние нагрузки на гибкую трубу приводят к ее деформации и увеличению овальности поперечного сечения трубы;

2) возможности производства строительно-монтажных работ на пластмассовых трубопроводах ограничены. Монтаж водопроводов из ПВХ и ПЭ труб следует проводить (согласно инструкциям производителей) при температуре воздуха не ниже -5 °С. С понижением температуры пластические свойства пластмассовых труб резко ухудшаются, поэтому должны соблюдаться повышенные требования по их транспортировке, разгрузке, хранению, монтажу и сварке. Так, например, при использовании пластмассовых труб техническими условиями устанавливается необходимость их теплоизоляции дорогостоящим листовым ячеистым стиролом, установка палаток для утепления и т. п.;

3) техническая база и условия прокладки пластмассовых труб за рубежом резко отличаются от российских. Для России характерна необходимость выполнения строительно-монтажных работ по прокладке и перекладке труб в зимнее время;

4) на российских водопроводах установлена отечественная запорная арматура (задвижки, поворотные затворы), которая не всегда обеспечивает полное перекрытие воды. Это ставит под сомнение возможность проведения качественных сварочных работ, особенно при отрицательной температуре воздуха;

5) прокладка полиэтиленовых труб открытым способом требует выполнения большого, длительного и дорогостоящего объема подготовительных работ, что не всегда возможно в условиях плотной городской застройки, а в условиях большого насыщения подземного пространства инженерными коммуникациями — очень затруднена и приводит к значительному удорожанию строительно-монтажных работ. Например, европейские технические условия по прокладке пластмассовых труб регламентируют использование для обсыпки труб не вынутый грунт, а специально подготовленный песок или грунт с размером фракций менее 22 мм (запрещается также использование для обсыпки труб замерзшего грунта);

6) и, наконец, для труб, используемых в системах питьевого водоснабжения, чрезвычайно важно гарантированное сохранение в течение длительного времени их прочностных характеристик, долговечности и обеспечение требуемого качества транспортируемой воды, что нельзя сказать о полимерных трубах.

Опыт практического применения показал, что ВЧШГ-трубы имеют высокие прочностные и деформационные показатели, близкие к показателям стальных труб, но по своей коррозионной стойкости значительно превосходящие стальные.

Гарантированный срок службы труб из ВЧШГ — 60–80 лет, т. е. в несколько раз больше стальных и пластмассовых. Кроме того, процессы монтажа и эксплуатация труб ВЧШГ очень просты, они ремонтпригодны (что достигается использованием специально разработанных устройств — ремкомплексов, патрубков, хомутов, муфт и т. п.), обеспечивают высокое качество транспортируемой воды и отвечают требованиям санитарной надежности. Благодаря пластичности, трубы из ВЧШГ меньше повреждаются при деформации окружающего грунта, чем стальные и простые чугунные. При авариях в отличие от труб из обыкновенного серого чугуна они не разрушаются полностью и поэтому не создают угрозу размыва окружающего грунта, опасного для близко расположенных зданий и сооружений. Очень важно то, что трубы из ВЧШГ можно эксплуатировать в условиях высоких внешних нагрузок, которые имеют место в подземных трубопроводах крупных городов.

В таблице 2 приведены потребительские характеристики труб из высокопрочного чугуна, поливинилхлорида и полиэтилена.

Таблица 2

Параметры	Трубы из:		
	ВЧШГ	ПВХ	ПЭ
Подверженность старению, снижению эластичности, прочности, повышению хрупкости	Отсутствует	Подвержены	Подвержены
Проницаемость труб под воздействием ароматических углеводородов и органических химикалий	Отсутствует	Подвержены	Подвержены
Потребность в электроэнергии и в специальном оборудовании при укладке	Отсутствует	Частично необходимы	Необходимы
Возможность укладки труб при отрицательных температурах (без дополнительных мероприятий)	Присутствует	Отсутствует	Отсутствует
Возможность открытой прокладки труб (без дополнительных мер защиты)	Присутствует	Отсутствует	Отсутствует

Коррозионная стойкость	В условиях особо коррозионных грунтов и блуждающих токов высокой плотности требуется нанесение наружных защитных покрытий	Хорошая	Хорошая
Энергосбережение	Хорошее	Хорошее	Хорошее
Ожидаемый срок службы	100 лет	50 лет	50 лет

Трубы из ПЭВП и ПВХ выходят из строя под воздействием растягивающего напряжения в течение периода времени, обратно пропорционального интенсивности напряжения.

Для комментария темы старения полимерных труб приведем высказывание профессора Московского государственного строительного университета К. Попова из статьи под названием «Трубный выбор»:

«Наряду со многими положительными свойствами трубы из полимеров со временем стареют. Это качество характерно для всех полимеров, ибо они находятся на грани «живого и неживого» и подчиняются многим законам живого мира. Например, скорость «старения» полимерных труб зависит в первую очередь от температуры и давления. Процесс старения сопровождается снижением эластичности, прочности, повышением хрупкости и самопроизвольным растрескиванием. Отличительная особенность полимерных труб в том, что они стареют по всей массе, в то время как коррозия стальных труб начинается с поверхности. Пластмассовые трубы разрушаются как бы «вдруг» и полностью, а в металлических — образуются свищи, которые можно заделывать, например, сваркой».

При устройстве систем водоснабжения необходимо также обращать особое внимание на санитарную надежность трубопроводов, которая определяется не только качеством подготовки транспортируемой воды на очистных сооружениях и санитарным состоянием внутренней поверхности трубопроводов, но и промышленными загрязнениями грунта в местах укладки трубопроводов.

Многочисленными и официально опубликованными исследованиями установлено, что трубы из полимерных материалов (полиэтилена, полибутилена и ПВХ) легко проницаемы и не должны прокладываться в отравленных почвах, загрязнённых углеводородами, включая сырую нефть, масла, бензин, дизельное топливо, керосин (всего в этот список попало около 18-и ароматических углеводородов и органических химикалий), или в местах их хранения и использования.

Эти химические соединения могут растворять стенки пластиковых труб, в том числе и труб из ПЭВП, проникать через них, снижать прочность труб, проникать в питьевую воду, придавать ей неприятный вкус и запах. Многочисленные публикации и обзоры по трубопроводам в США показали, что пластиковые трубы были виновниками основных случаев загрязнения воды, при этом на полибутилен, полиэтилен и поливинилхлорид приходилось 43, 39 и 15 процентов всех зафиксированных случаев соответственно. Поэтому в развитых странах были разработаны различные рекомендации и стандарты, предусматривающие проведение предварительных исследований грунтов и экологических экспертиз в местах предполагаемой укладки полимерных труб.

Важно отметить, что большая толщина стенок труб из полибутилена, полиэтилена и ПВХ не предотвращает проникание химикалий в трубопроводы из этих материалов. Также необходимо знать, что если процесс проникания веществ через стенки труб произошел, то проблему загрязнения трубопровода и питьевой воды уже нельзя решить промыванием трубопровода. Стенки труб из РВ, РЕ и ПВХ после проникания нефтесодержащими жидкостями и органическими химикалиями имеют пористое, раздутое состояние и деградированную химическую структуру, вследствие чего весь трубопровод, подвергшийся прониканию, должен быть заменен.

Дополнительные затраты в местностях загрязненных нефтесодержащими материалами и органическими химикалиями, вызванные заменой материала обычного пластмассового трубопровода

на трубопровод из непроницаемых металлических материалов минимальны по сравнению с затратами, связанными с заменой уже работавшего и вышедшего из строя пластмассового трубопровода.

Трубопроводные системы из высокопрочного чугуна являются непроницаемыми для ароматических углеводородов и органических химикалий, находящихся в почве и грунтовых водах (различные растворители, жирные кислоты, минеральные и растительные масла, животные жиры, дизельное и ракетное топливо, бензин, бензол, тетрахлорметан, тетрахлорэтилен и еще целый ряд ароматических углеводородов).

Многие страны мира ввели технические регламенты, рекомендующие применение труб ВЧШГ в загрязненных территориях, к которым относятся урбанизированные местности, индустриальные области, участки бывших и действующих бензозаправочных станций, пункты по химической очистке, химзаводы, лакокрасочные и другие предприятия с вредными условиями воздействия на окружающую среду, бытовые и промышленные свалки, места добычи и транспортировки нефти, бензина, дизельного топлива, терминалы для их переработки и погрузки и прочие промышленные производства.

Так, например, в 2002 г. проницаемость полиэтиленовых труб целым рядом вышеназванных веществ вызвала беспокойство контролирующих органов в Англии, где были выпущены рекомендации по выбору материалов труб для их укладки в загрязненных грунтах («Отбор материалов труб для укладки в загрязненных грунтах», Information and Guidance note, Water Regulations Advisory Scheme (WRAS) № 9-04-03, октябрь 2002 г.). Эти же меры предписаны в 2005 году Департаментом корректирующих действий (DEQ-PRS) Министерства охраны окружающей среды Штата Монтана, США.

Этими документами предусмотрен целый комплекс мероприятий по оценке степени загрязненности участков для укладки труб, концентрации загрязняющих веществ, а также даны рекомендации по видам материалов труб для водоснабжения на опасных участках.

В таблице 3 приведены данные по исследованиям коэффициента шероховатости “К” внутреннего цементно-песчаного покрытия труб ВЧШГ.

Таблица 3

DN	Год установки трубопровода из ВЧШГ	Время работы, годы	Значение k (COLEBROOK- WHITE)
150	1941	0	0,025
		12	0,019
		16	0,060
250	1925	16	0,148
		32	0,135
		39	0,098
300	1928	13	0,160
		29	0,119
		36	0,030
300	1928	13	0,054
		29	0,075
		36	0,075
700	1939	19	0,027
		25	0,046
700	1944	13	0,027
		20	0,046

Исследования, проведенные фирмой “Pont-a- Mousson” на ранее уложенных трубопроводах из высокопрочного чугуна с внутренним цементным покрытием, дали значение коэффициента шероховатости **$K=0,03$ для отдельной трубы** (формула COLEBROOK-WHITE) для широкого диапазона эксплуатируемых диаметров и длин.

При проектировании системы трубопроводов из высокопрочного чугуна рекомендуется брать для расчетов $K = 0,1$, чтобы учесть все потери на трение в собранной системе трубопроводов. То есть, трубы из высокопрочного чугуна с внутренним цементно-песчаным покрытием позволяют резко снизить гидравлические потери на трение в трубопроводе и отвечают всем современным требованиям в области энергосбережения.

Большой внутренний проходной диаметр труб ВЧШГ по сравнению с полиэтиленовыми трубами (при одинаковом наружном диаметре) в сочетании с низким коэффициентом шероховатости позволяют значительно снизить затраты на перекачку транспортируемой жидкости вследствие экономии электроэнергии и обеспечивают возможность прокачки по трубам ВЧШГ больших объемов жидкости.

При равных наружных диаметрах сравниваемых труб площадь внутреннего проходного сечения труб ВЧШГ с цементным покрытием превышает площадь проходного сечения полиэтиленовых труб из ПЭ 100 на 7 – 15 % в диапазоне диаметров от 150 до 300 мм соответственно. Трубопровод из ВЧШГ ежегодно экономит значительные суммы на протяжении всего срока службы благодаря большему номинальному внутреннему диаметру, и меньшим затратам на перекачку. Благодаря меньшей потере напора в трубах из ВЧШГ, замещающие их трубопроводы из других материалов с аналогичными характеристиками потребуют, соответственно, применения более дорогих труб большего диаметра. И наоборот, трубопровод из ВЧШГ можно спроектировать так, чтобы он вызывал такую же потерю напора, как и замещающий его трубопровод из другого материала. В этом случае потребуется применение труб ВЧШГ меньшего диаметра и, следовательно, меньшей стоимости на одном и том же участке трубопровода.

Коррозионная стойкость труб из высокопрочного чугуна в 5 раз превышает стойкость труб из нелегированных углеродистых сталей. Испытания труб из высокопрочного чугуна, которые проводились в США, Англии, Франции и Германии, показали, что коррозионная стойкость труб ВЧШГ равна или в ряде случаев выше, чем у труб из серого чугуна. Испытания труб проводились по атмосферной и почвенной коррозии, а также в различных агрессивных средах.

Электрическое сопротивление высокопрочного чугуна в 4,8 раза выше, чем у стали, а стыки труб разделены непроводящими резиновыми манжетами, поэтому трубы ВЧШГ в обычных условиях эксплуатации, как правило, не подвергаются электрической коррозии.

Как показывает 50-летний опыт эксплуатации трубопроводных систем из высокопрочного чугуна, трубы ВЧШГ работают надежно и долгосрочно практически во всех условиях, однако, в особо коррозионных грунтах и в местах электрических блуждающих токов высокой плотности им может потребоваться дополнительная защита в виде полиэтиленовой оболочки (полиэтиленового «чулка», надеваемого на трубу в процессе укладки), наружного покрытия металлическим цинком или катодной защиты.

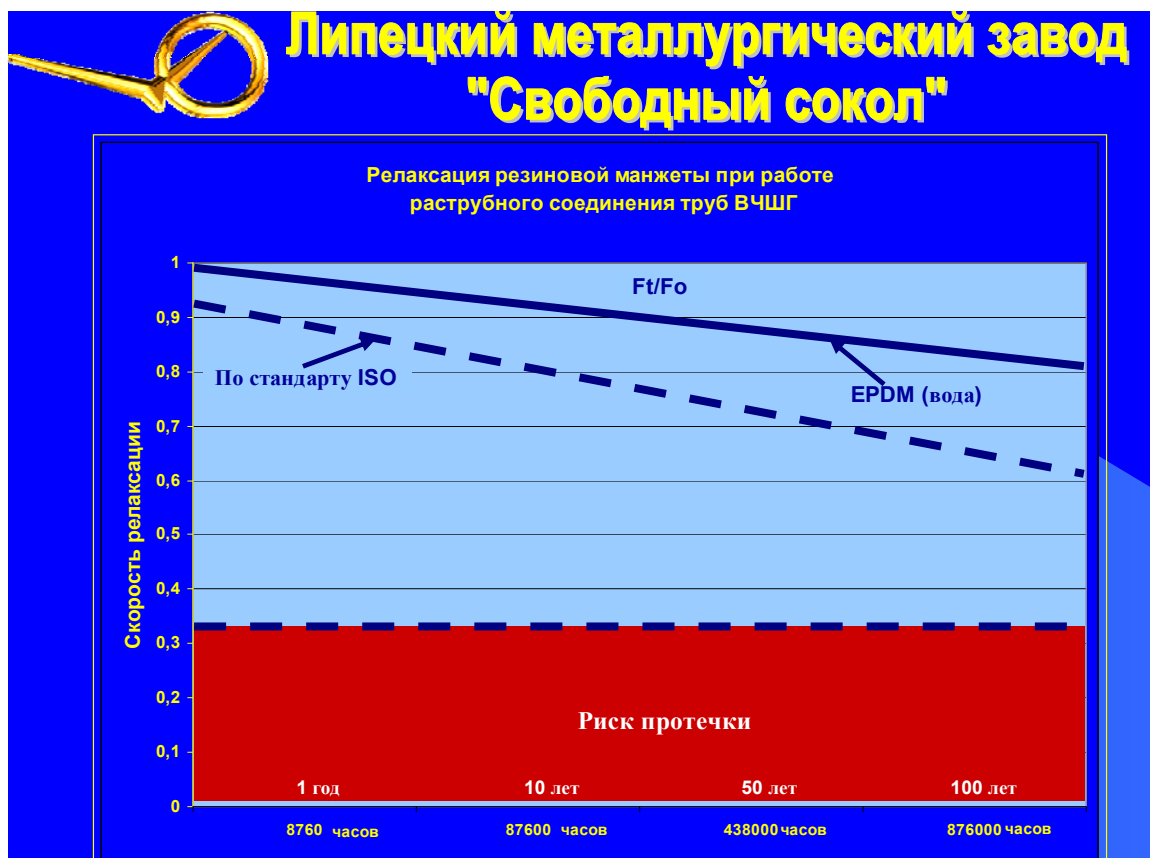


Рис. 3

Стандартные растровые соединения труб ВЧШГ, используемые в трубопроводах водоснабжения и канализации комплектуются манжетами из эластомеров EPDM, изготовленных из этилен-пропиленового каучука. Изменение механических свойств подобных эластомеров с течением времени происходит под воздействием двух явлений:

- текучести во времени – ползучести (увеличивающейся деформации при постоянной нагрузке);
- релаксации (релаксации сжатия при постоянной деформации).

В случае растровых соединений, уплотнение в них достигается контактным давлением между телом трубы (раструба трубы) и манжетой. Деформация манжеты, полученная в процессе соединения, остается практически постоянной.

Следовательно, явление релаксации – единственное, воздействующее на манжету.

На рис. 3 показан во времени процесс релаксации манжеты из эластомера EPDM при применении растровых соединений в трубопроводах питьевой воды.

Условные обозначения:

F_t – сила реакции эластомера в момент времени t ;

F_o – начальная сила реакции эластомера;

F_t/F_o – скорость релаксации в момент времени t при 25% - ом коэффициенте релаксации.

Релаксация эластомеров определяется измерением во времени силы, требуемой для сжатия манжеты до фиксированной деформации.

Анализируя данные рисунка 3, отметим следующее:

- манжеты EPDM, используемые в основном в растровых соединениях труб ВЧШГ, стареют медленнее, чем предусмотрено международным стандартом ISO 4633;
- длительное время контактное давление остается выше опасного (порогового) уровня утечек.

Обследования образцов, извлеченных из трубопроводов после длительного срока эксплуатации подтвердили долговечность манжет EPDM, физические и химические свойства которых сохранились после многих лет эксплуатации подземных трубопроводов.

Доказательством этому является практический опыт использования уплотнений и колец из эластомеров в США, начиная с 1920-х годов и по настоящее время, отечественный опыт применения

резиновых уплотнений и официально опубликованные данные аварийности систем трубопроводов из высокопрочного чугуна.

В таблице 4 приведены результаты комплексной оценки трубопроводных систем из различных материалов по механическим свойствам, долговечности, инсталляционным и другим факторам.

Таблица 4

Механические свойства, долговечность и инсталляционные факторы для различных материалов труб								
Материал труб	Механические свойства		Срок службы			Инсталляционные факторы		Суммарная оценка
	На растяжение	На сжатие	На истирание	Хим. и корроз. стойкость	Надежность соединений	Легкость установки	Стойкость к повреждениям	
Стальные трубы	3	3	Зависит от внутреннего покрытия			1	3	14-16
Трубы из ВЧШГ	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2	2	2	3	15-18
Трубы из стеклопластика	2 - 3	2	2	3	2	1	3	15-17
Трубы из РЕ	1 - 2	1	3	3	2	3	1 - 2	14-16
Трубы из РР	1 - 2	2	2 - 3	3	2	3	1 - 2	14-17
Трубы из ПВХ	1	2	2	3	2	2	1 - 2	13-14
1 - низкая оценка; 2 - средняя оценка; 3 - высокая оценка								

Испытания труб из различных конструкционных материалов производились американскими компаниями в условиях, приближенных к полевым, по минимальному сроку службы 50 лет. При испытаниях исследовались следующие параметры: предел прочности при растяжении, предел прочности при сжатии, кольцевые напряжения, устойчивость к внешним воздействиям, оседание грунта, колебания уровня грунтовых вод и другие факторы.

В таблице 4 использованы следующие обозначения тестов:

- 1 – низкая оценка;
- 2 – средняя оценка;
- 3 – высокая оценка.

Как мы видим, по итогам суммарной оценки по всем вышеназванным факторам трубы ВЧШГ входят в число самых перспективных.

В заключении хотелось бы еще раз напомнить всем специалистам, участвующим в процессах проектирования, строительства и эксплуатации сетей водоснабжения, что мировой опыт устройства инженерных коммуникаций показывает обоюдную востребованность как полимерных, так и различного вида металлических труб и не отрицает их плодотворного и взаимодополняющего сотрудничества.

Е. В. Кузенков – начальник отдела маркетинга
ОАО «Липецкий металлургический завод
«Свободный сокол»