

## **ВВЕДЕНИЕ**

Надежность и экологическая безопасность — одни из основных требований, предъявляемых к городским системам водоснабжения. В отличие от развитых стран Запада существовавшая долгие годы в России практика строительства инженерных коммуникаций была основана на нормативной базе, основным принципом которой было требование минимизации капитальных затрат и стоимости строительно-монтажных работ. При этом не учитывались требования надежности по применяемым материалам, условия эксплуатации трубопроводов и организационно-технические возможности эксплуатационных организаций. Именно по этим причинам подавляющее большинство трубопроводов городских водопроводных сетей в РФ проложено из стальных труб, изготовленных из наиболее дешевых марок стали и не защищенных от внешней и внутренней коррозии.

Мировой и отечественный опыт применения стальных труб в грунтах разной коррозионной агрессивности как в отсутствии, так и при наличии опасного действия блуждающих токов доказал необходимость дорогостоящей комплексной защиты от коррозии, включающей антикоррозионные покрытия и катодную защиту.

Большое значение в решении проблемы обеспечения надежности трубопроводов транспорта питьевой воды имеет грамотный выбор материалов труб. Долгие годы основными материалами труб для использования в централизованном водоснабжении были сталь и чугун.

Чугун и его применение известны человечеству с древних времен. Чугун — это сплав железа с углеродом (более 2 %), в котором углерод присутствует в виде вторичной фазы: либо графита, либо карбида железа. Другие химические элементы (помимо железа и углерода) содержатся в чугуне в низких пропорциях, но также оказывают влияние на структуру — механические и литейные свойства чугуна. В зависимости от состояния углерода в структуре различают чугун:

- белый, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида железа;
- серый, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме пластинчатого графита;
- высокопрочный, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме шаровидного графита;
- ковкий, в котором весь углерод, или его значительная часть, находится в свободном состоянии в форме хлопьеобразного графита.

Первые трубы из серого чугуна были изготовлены более 500 лет назад и предназначались, прежде всего, для подачи питьевой воды и отвода сточной жидкости. В 1921 г. металлурги установили, что при наличии кристаллов графита шаровидной формы можно достичь лучших характеристик прочности чугуна. Этот вид чугуна получил название высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). В высокопрочном чугуне исключается возможность распространения трещин, так как графит имеет форму сферы, и такой чугун обладает значительно более высокой прочностью при растяжении и изгибе, чем серый чугун.

Изготовленные из высокопрочного чугуна трубы применяются в мировой практике уже более 50 лет и являются одними из самых перспективных на сегодняшний день, исходя из соотношения «цена + качество + экологическая безопасность». Следует отметить, что анализ имеющихся данных по надежности трубопроводов централизованных систем питьевого водоснабжения в развитых странах Северной Америки и Европы (Канада, США, Германия, Франция) показал, что эти страны имеют одни из самых надежных систем водоснабжения в мире [31, 34, 35, 36, 37, 40, 41]. Это обусловлено в первую очередь широким применением в этих странах в последние 40 лет трубопроводов из высокопрочного чугуна. Эти трубы сочетают в себе уникальные свойства: коррозионную стойкость чугуна; механические свойства стали (пластичность, прочность на разрыв, ударопрочность, высокое относительное удлинение).

Считая приоритетной задачей обеспечение надежности и экологической безопасности трубопроводов Московского водопровода, в последние годы ОАО «Мосводоканал» совместно с ОАО «Институт МосводоканалНИИпроект», ООО «Аквадизайн» и Московским государственным строительным университетом проводят комплексные исследования по оценке надежности трубопроводов городской водопроводной сети. Был собран и обработан с использованием ЭВМ обширный статистический материал по эксплуатации трубопроводов различных материалов и годов укладки [29, 30, 31, 32, 34].

Результаты этих исследований подтвердили надежность труб из высокопрочного чугуна и легли в основу требований по выбору этого вида труб для системы питьевого водоснабжения г. Москвы.

Широкое применение в системах централизованного водоснабжения и напорной канализации городов России труб из высокопрочного чугуна до недавнего времени сдерживало отсутствие полноценной нормативно-методической базы и технической литературы по проектированию, строительству и эксплуатации этих труб. Существующие СНиПы не содержат никаких сведений по этому вопросу [1, 2, 4].

Разработанный ОАО «МосводоканалНИИпроект», ОАО «Мосводоканал», ЛМЗ «Свободный Сокол», ООО «Аквадизайн» Свод правил «Проектирование, строительство напорных сетей водоснабжения и водоот-

ведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом» (СП 66.13330.2011) в значительной мере восполнил недостатки с нормативной базой по трубам из высокопрочного чугуна [5].

Однако небольшой опыт использования этого нормативного документа, особенности прокладки и эксплуатации труб из высокопрочного чугуна в условиях загруженного подземного пространства крупных городов России, наличие блуждающих токов и почвенной коррозии требуют проведения дополнительных исследований в части применения труб из высокопрочного чугуна, анализа опыта их эксплуатации, совершенствования методик прочностных и гидравлических расчетов, методов прокладки и ремонта этих труб. Актуален и вопрос применения труб из высокопрочного чугуна для бестраншейной прокладки (без проведения земляных работ).

Учитывая это, в книге рассмотрены вопросы, касающиеся применения при проектировании, строительстве и эксплуатации систем транспорта воды отечественных труб из высокопрочного чугуна под соединения “Tyton” (80...1000 мм) и “RJ” (80...500 мм). Анализируется опыт эксплуатации труб из высокопрочного чугуна на Московском водопроводе, сравниваются надежностные и технико-экономические показатели труб из высокопрочного чугуна и труб других материалов. Приведены классификация труб, даны сведения об их производителях, отечественной и зарубежной нормативной базе, указаны основные прочностные показатели труб, соединительных частей и способы их соединения. Рассмотрены также правила хранения и транспортировки труб, вопросы монтажа и испытания трубопроводов, а также техники безопасности при их монтаже. Приведены методики расчета на прочность подземных трубопроводов из высокопрочного чугуна при комбинированных нагрузках от воздействия внутреннего давления воды, приведенных внешних нагрузок от грунта и транспорта, определены коэффициенты запаса прочности при работе трубы в пределах упругости. Приведены методики гидравлического расчета трубопроводов водоснабжения и водоотведения труб из высокопрочного чугуна, а также выбор типоразмеров и классов прочности этих труб при подземной прокладке в грунте. Рассмотрен практический пример расчета на прочность трубы из высокопрочного чугуна диаметром 600 мм.

Значительная часть книги посвящена применению труб из высокопрочного чугуна для надземной прокладки напорных трубопроводов различного назначения диаметром 80...500 мм. Приведены рекомендуемые конструкции железобетонных опор с профилированным основанием на поверхности земли, опор и стоек при прокладке труб через каналы и другие препятствия.

Заключительная часть книги посвящена проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации вновь строящихся сетей холодного водо-

снабжения и напорной канализации, прокладываемых бестраншейным методом — способом горизонтально-направленного бурения (ГНБ) с применением труб из высокопрочного чугуна диаметром 80...300 мм с раструбным соединением “RJ”.

При подготовке книги использован практический опыт ОАО «Мосводоканал» по строительству и эксплуатации труб из высокопрочного чугуна (Е.В. Шушкевич, Т.О. Дудченко), разработки ОАО «Липецкий металлургический завод “Свободный сокол”», (А.В. Минченков), АКХ им. К.Д. Памфилова (Е.Г. Кузнецова), зарубежные стандарты и требования к трубам из высокопрочного чугуна, а также опыт отечественных специализированных предприятий и организаций, осуществляющих работы по строительству трубопроводов из высокопрочного чугуна. Этим организациям и специалистам разработчики выражают глубокую благодарность.

**Термины и определения.** В соответствии с ГОСТ Р ISO 2531-2008 «Трубы, фитинги, арматура и их соединения из чугуна с шаровидным графитом для водо- и газоснабжения. Технические условия» [10]:

1. Высокопрочный чугун — тип чугуна, в котором графит присутствует преимущественно в шаровидной форме.

2. Труба — отливка с равномерным каналом, с прямой осью, имеющая раструбные, охватываемые или фланцевые концы.

3. Соединительная часть — присоединяемая к трубе отливка, которая обеспечивает отклонение, изменение направления трубопровода или канала. Фитинги и арматура, за исключением запорной и предохранительной, являются соединительными частями.

4. Фланец — плоский круглый конец трубы или соединительной части, расположенный перпендикулярно их оси, с отверстиями под болты, равномерно расположенными по окружности.

5. Узкая втулка; муфта — соединительная деталь, используемая для соединения в месте охватываемых концов труб или соединительных частей.

6. Гладкий конец — конец трубы или соединительной части, помещаемый в раструбное соединение.

7. Раструб — конец трубы или соединительной части, охватывающий гладкий конец трубы или соединительной части.

8. Прокладка — уплотняющий элемент соединения.

9. Соединение — связь между концами труб и/или соединительными частями, в которой прокладка используется в качестве уплотнения.

10. Фиксированное соединение — соединение, в котором предусмотрено средство, предотвращающее разъединение собранного соединения.

11. Фланцевое соединение — соединение между двумя фланцевыми концами.

## Принятые условные обозначения в расчетных формулах

$D_H$  — наружный диаметр труб, мм

$D_B$  — внутренний диаметр труб, мм

$D_{CP}$  — средний диаметр труб, мм

$r_{CP}$  — средний радиус труб, мм

$r_B$  — внутренний радиус труб, мм

$h$  — толщина стенки труб, мм

$H$  — глубина заложения трубопровода до верха трубы, м

$B$  — ширина траншеи на уровне верха трубы, мм

$B_1$  — ширина траншеи по дну, мм

$B_{CP}$  — ширина траншеи на глубине  $H/2$  от поверхности, мм

$m_{3,0}$  — заложение откоса

$\gamma$  — объемный вес грунта засыпки, кН/м<sup>3</sup>

$\gamma_{СК}$  — объемный вес скелета грунта, кН/м<sup>3</sup>

$\gamma_r$  — объемный вес материала труб, кН/м<sup>3</sup>

$\gamma_H$  — объемный вес наполнителя (воды), кН/м<sup>3</sup>

$E$  — модуль упругости материала труб, МПа

$\nu$  — коэффициент Пуассона

$E_{ГР}$  — модуль деформации грунта засыпки, МПа

$E_O$  — модуль деформации грунта основания, МПа

$P_{ГР}$  — параметр, характеризующий жесткость грунта засыпки, МПа

$P_{Д}$  — параметр, характеризующий жесткость трубы, МПа

$K_{Тр}$  — коэффициент «зависания», учитывающий действие сил трения между засыпкой и стенками траншеи

$\psi$  — коэффициент, учитывающий разгрузку трубы грунтом, находящимся между стенками траншеи и трубопроводом

$\chi$  — коэффициент выступания, т.е. часть вертикального наружного диаметра в долях единицы, находящаяся выше плоскости основания траншеи

$2\alpha$  — двойной угол охвата трубы основанием

$\lambda_{\text{ТР2}} \cdot \lambda_{\text{Н}}$  — коэффициенты бокового давления грунта соответственно при укладке труб в траншею и насыпи

$\mu$  — динамический коэффициент подвижной транспортной нагрузки

$q$  — равномерно распределенное давление от подвижной транспортной нагрузки, кН/м<sup>2</sup>

$P$  — допустимое внутреннее давление при совместном действии внешних и внутренних нагрузок, МПа

$P^0$  — несущая способность на прочность — допустимое внутреннее давление при отсутствии внешних нагрузок, МПа

$Q_{\text{ГВ}}$  — нагрузка от давления грунтовых вод, кН/м

$n$  — коэффициент перегрузки

$m$  — общий коэффициент условий работы трубопровода

$Q_1 (Q_{1Г})$  — равнодействующая расчетной вертикальной (горизонтальной) нагрузки от давления грунта, кН/м

$Q_2 (Q_{2Г})$  — равнодействующая расчетной вертикальной (горизонтальной) нагрузки от наземного транспорта, кН/м

$Q_3$  — равнодействующая расчетной вертикальной нагрузки от собственной массы трубопровода, кН/м

$Q_1$  — равнодействующая расчетной вертикальной нагрузки от массы наполнителя, кН/м

$q_{\text{КР}}$  — предельная величина внешнего радиального давления, которое труба выдерживает без потери устойчивости круговой формы поперечного сечения, МПа

$Q_{\text{ПР}}$  — внешняя приведенная нагрузка, кН/м

$Q^0$  — несущая способность трубы — допустимая внешняя нагрузка при отсутствии внутреннего давления, кН/м

$M_{\text{В}}'$  — расчетный изгибающий момент от вертикального давления грунта и транспорта, кН/м

$M_{\text{В}}''$  — расчетный изгибающий момент от собственной массы трубопровода и воды, кН/м

$M_{\text{Г}}$  — расчетный изгибающий момент от действия горизонтальных нагрузок, кН/м

$M$  — суммарный изгибающий момент от вертикальных и горизонтальных внешних нагрузок, кН/м.

# Глава 1

## ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Надежность и экологическая безопасность труб — одни из основных требований, предъявляемых к водопроводным трубопроводам. Практика эксплуатации городских систем водоснабжения показывает, что нарушения нормального уровня водоснабжения связаны в основном с повреждениями (отказами) на участках трубопроводов городской водопроводной сети — наиболее функционально значимых и уязвимых элементов системы водоснабжения города [16, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 42, 53, 55].

По протяженности подземных трубопроводов Россия занимает второе место в мире. В настоящее время в эксплуатации находится свыше 2 млн км наружных трубопроводов, в том числе около 700 тыс. км трубопроводов централизованных систем водоснабжения и водоотведения городов и поселений России и около 3 млн км внутридомовых трубопроводов. Значительная часть труб — стальные [33] (рис. 1.1).

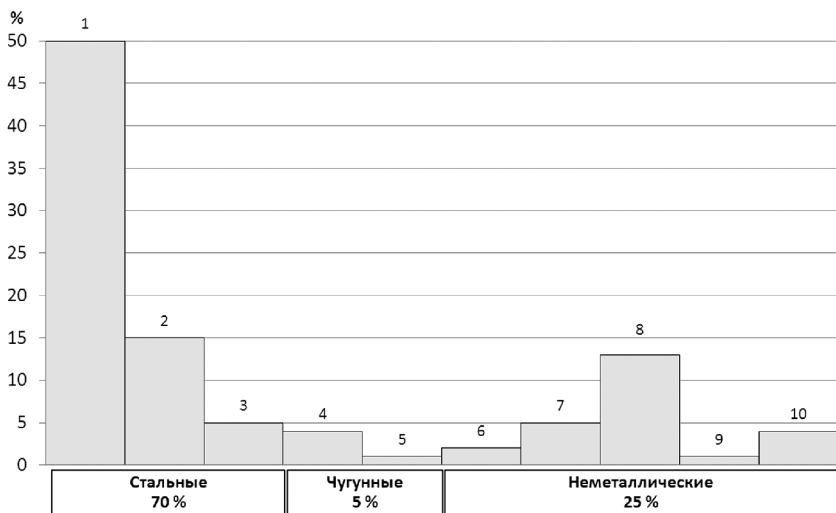


Рис. 1.1. Структура материалов труб  
в системах централизованного водоснабжения России:

1 — с наружной изоляцией; 2 — с внутренней и наружной изоляцией; 3 — с внутренней цементной облицовкой; 4 — чугунные; 5 — с шаровым графитом; 6 — железобетонные напорные; 7 — пластмассовые; 8 — асбестоцементные; 9 — железобетонные безнапорные; 10 — керамические

По данным Минрегиона РФ подавляющее большинство трубопроводов водопроводных сетей городов РФ (более 60 %) имеют на сегодняшний день значительный физический износ, что приводит к большим потерям воды.

В Российской Федерации по статистическим данным одна треть водопроводных сетей нуждается в замене [55] (рис. 1.2) [33].

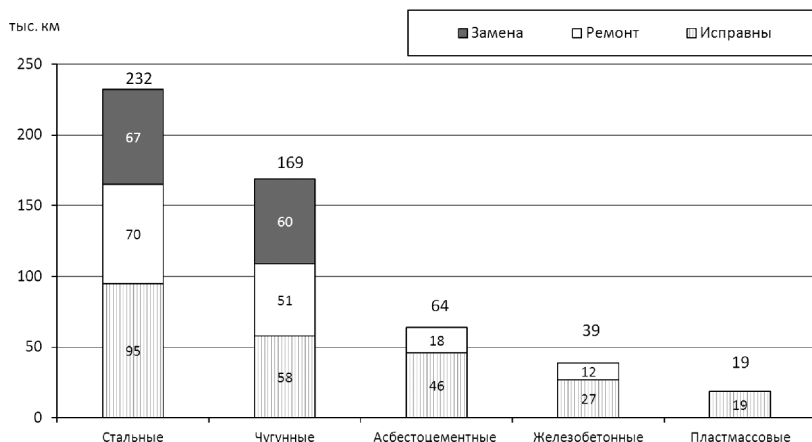


Рис. 1.2. Состояние трубопроводов систем водоснабжения по видам материалов труб

В последние годы наше общество пожинает плоды прежней государственной политики в области строительства и ремонта инженерных систем жизнеобеспечения города. Долгие годы планирование и осуществление строительства трубопроводов водопровода и канализации осуществлялось без учета требований надежности по применяемым материалам и организационно-технических возможностей эксплуатационных организаций [16, 29, 30, 31].

К причинам низкой надежности трубопроводов городов России, известным и появившимся не за один день, относятся:

- износ трубопроводов;
- низкое качество и отсутствие надежных и долговечных труб;
- низкая коррозионная устойчивость значительного числа трубопроводов (материал большинства труб — низкоуглеродистая сталь);
- несоблюдение технологии производства работ по укладке и монтажу трубопроводов в период массового жилищного строительства;
- отсутствие необходимых мер при прокладке стальных трубопроводов по защите трубопроводов от агрессивного воздействия внешней и внутренней среды;



— разрушающее давление, воздействие гидравлических ударов, падение долговременной прочности; несоответствие качества труб требованиям ГОСТов и т.п.

Качество изготавливаемых ранее в СССР стальных, чугунных, железобетонных и асбестоцементных труб и труб из поливинилхлорида (ПВХ) и пластмассы не соответствовало требованиям, которые должны к ним предъявляться при использовании в системах централизованного водоснабжения [31, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 55].

Стоимость пластмассовых труб по отношению к стоимости других видов была выше, изготавливались они в сравнительно небольших объемах и в малом диапазоне сортаментных диаметров, а поэтому в системах централизованного водоснабжения того времени не находили широкого применения [26, 27].

Многие проблемы с низкой надежностью водопроводных труб, применяемых и уложенных в 1960—1990-е гг., в России связаны с тем, что при строительстве трубопроводов водоснабжения широкое распространение в то время получили трубы из следующих конструкционных материалов: электросварные, горячекатные и холоднокатные трубы из не легированной углеродистой стали, напорные трубы из асбестоцемента и железобетона, трубы из ПВХ.

Значительное количество трубопроводов водопроводных сетей и напорной канализации большинства городов России (в том числе и в г. Москве) проложено из стальных труб, изготовленных из наиболее дешевых марок стали, без защиты внутренней и внешней поверхности труб от коррозии [27, 33, 49].

Стальные трубопроводы, не защищенные от коррозии, сравнительно дешевы. Катастрофические последствия их коррозии проявляются лишь через несколько лет эксплуатации. В настоящее время срок службы этих стальных трубопроводов 20...15-летней давности прокладки заканчивается и начался их выход из строя [55].

В этой связи повышение надежности работы подземных трубопроводов водоснабжения и водоотведения, предупреждение их старения и оперативная ликвидация последствий аварий на сетях — одни из главных задач служб эксплуатации инженерных коммуникаций города.

Данный вопрос в настоящее время приобретает особую актуальность в России, где в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигло критического уровня, что обусловило высокую повреждаемость трубопроводов городов России и необходимость их замены и восстановления.

Не только специалистам ЖКХ хорошо известно, какие колоссальные последствия могут произойти вследствие эксплуатации изношенных трубопроводных сетей и оборудования. Они создают реальную угрозу без-

опасности не только отдельным объектам, но и могут перерасти в серьезные техногенные кризисы.

Старение и износ подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения приводит к потерям напора и снижению пропускной способности из-за зарастания труб; ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды (например, цветности) по причине коррозии; возможности повторного заражения вод (в результате свищей, трещин, нарушения стыковых соединений в случае старения сетей питьевого водоснабжения); загрязнению подземных и поверхностных вод, почв, атмосферы (в случае старения нефтяных и газовых коммуникаций, водоотводящих сетей бытовой, дождевой и производственной канализации).

Утечки воды из трубопроводов — также причина поднятия уровня грунтовых вод, подтопления городских территорий, что может привести к интенсивному разрушению эксплуатируемых зданий и действующих сооружений инженерной инфраструктуры.

Величина потерь воды в коммунальных водопроводах России, вызванная повреждениями и авариями с изливом воды из трубопроводов по прежнему весьма высока.

В связи с этим поддержание высокой надежности и экологической безопасности систем транспортирования воды (т.е. своевременное и эффективное техническое обслуживание, ремонт и реконструкция трубопроводов и оборудования по причине их старения или преждевременного износа) остается для городских коммунальных служб приоритетной задачей.

Трубопроводные системы выполняют функции жизнеобеспечения и по совокупной массе перемещаемой продукции (питьевой и сточных вод, теплоносителей, газа) на несколько порядков превышают массу грузов, перевозимых традиционным транспортом. Уже только по этому показателю трубопроводные системы не имеют альтернативы.

Казалось бы, трубопроводы, в отличие от других транспортных средств, в большей степени отвечают представлениям об экологической безопасности.

Перемещение продукции по трубам осуществляется в герметически замкнутом пространстве, без контакта с окружающей средой. Однако на практике из-за неудовлетворительного состояния и многочисленных аварий трубопроводы оказывают пагубное влияние на природные объекты и техногенную структуру территорий городов (едва ли не пропорционально массе перемещаемой продукции).

В последнее время в ряде регионов России (Север, Дальний Восток) крайне неудовлетворительное состояние инженерных систем и сооружений городов, некачественная эксплуатация приводили к повреждению

ям и авариям коммунальных трубопроводов и перерывам в водообеспечении, подаче некондиционной воды, сбросам неочищенных сточных вод на поверхность и в водные объекты, «размораживанию» сетей теплоснабжения, что позволяет говорить об опасности возникновения и развития «коммунальной» катастрофы [55]. Печальную известность получили крупные аварии продуктопроводов, сопровождающиеся человеческими жертвами, несущие экономический и экологический ущерб.

Воздействие эксплуатации трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения на окружающую среду выражается в изменениях основных компонентов экосистемы, к которым относятся: а) подземные и поверхностные воды; б) почвы и грунты; в) растительный и животный мир; г) социальная сфера.

При разгерметизации трубопроводы оказывают, как правило, негативное воздействие на окружающую природную среду, атмосферу, литосферу, человека. На литосферу воздействуют строительство и ремонтные работы, утечки транспортируемой питьевой воды, промышленных и сточных вод, способствующих подтоплению территории и нарушению водообмена в ее пределах. Подтопление вызывает загрязнение грунтовых вод, усиливает коррозионные процессы в подземных конструкциях, вызывает деградацию почв и угнетение растительных комплексов.

Ущерб от подтопления 1 га городской территории (в зависимости от степени ее застройки капитальными сооружениями, наличия исторических и архитектурных памятников, разветвленности подземной инфраструктуры) экспертно оценивается от 15 до 200 тыс. долл. [55].

Кроме непосредственно отрицательного экологического влияния вследствие разлива транспортируемых трубопроводами сред, разгерметизация трубопроводов приводит к необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ. Подобные работы, выполняемые в городских условиях, нарушают нормальный ритм функционирования транспортного хозяйства города. Это приводит к замедлению движения автомобилей, увеличению объема выброса в атмосферу вредных веществ с выхлопными газами, увеличению числа дорожно-транспортных происшествий.

Повышение уровня грунтовых вод в связи с утечками из трубопроводов может активизировать карстово-суффозионные процессы, привести к возникновению гидродинамического и взвешивающего давления и образованию воронок. В некоторых районах эти процессы настолько активны, что становятся опасными не только для зданий и сооружений, но и для людей.

На рис. 1.3 показана структура ущербов от излива питьевой воды в окружающую среду при авариях и повреждениях трубопроводов городской водопроводной и канализационной сети.

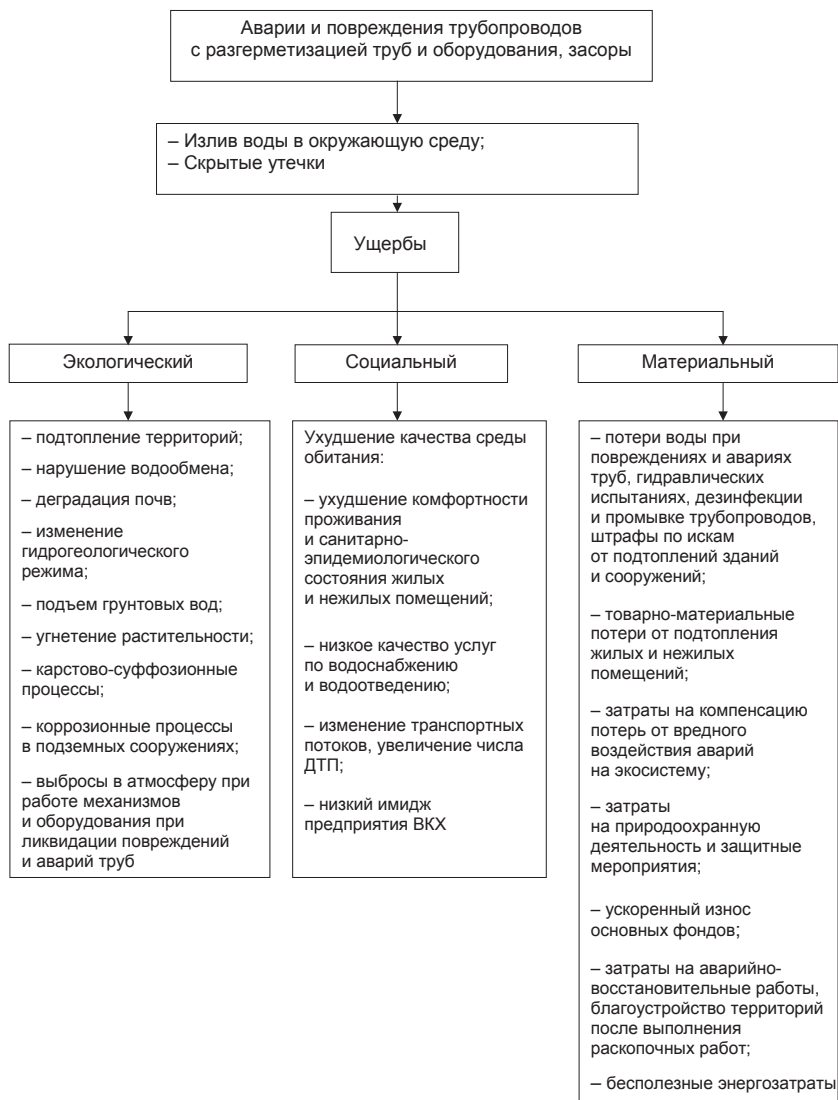


Рис. 1.3. Структура ущербов от излива питьевой воды в окружающую среду при авариях и повреждениях трубопроводов

По оценке ученых, более 80 % болезней связаны с потреблением некачественной воды, в загрязнении которой утечки из канализации при повреждении труб занимают первое место. Суммарный ущерб, наносимый здоровью человека и окружающей природной среде в РФ вследствие разгерметизации существующих трубопроводов, сопоставим с ущербом от всех других функционирующих экологически опасных источников [16, 31].

Из изложенного выше следует важный вывод: один из главных критериев экологической безопасности трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения — их надежность.

Очевидно, что работа по поддержанию водопроводных и водоотводящих магистралей в рабочем состоянии, а также принятие решения о выборе типа труб и их замене должны основываться на реалистичной и самой свежей информации о физическом состоянии систем водоснабжения и водоотведения.

Предельное состояние трубопровода или его конструктивного элемента обусловлено выходом значений функциональных параметров за установленные пределы:

$$\lambda_{\varphi} \leq \lambda_{\text{норм}} \quad \text{и} \\ \delta_t \leq \delta_H < P^* \cdot r_0 / R^*, \quad (1.1)$$

где  $\lambda_{\varphi}$  — интенсивность отказов участка трубопровода (1/год);  $\lambda_{\text{норм}}$  — нормативное (заданное) значение интенсивности отказов (1/год. км);  $\delta_H$  — предельно допустимая толщина стенки;  $P^*$  — давление в трубопроводе;  $r_0$  — радиус трубы;  $R^*$  — расчетное сопротивление материала.

В общем виде толщина стенки трубы  $\delta_t$  в момент времени  $t$  может быть выражена зависимостью:

$$\delta_t = \delta_0 - k \cdot t^u, \quad (1.2)$$

где  $k$  и  $u$  — константы, определяемые опытным путем;  $\delta_0$  — стандартная толщина.

Признаки и критерии предельного состояния труб в зависимости от класса труб и внешних нагрузок содержатся в действующих нормативных документах, а в отношении окружающей среды — в нормативах, определяющих уровни допустимых по условиям охраны окружающей среды вредных выбросов и воздействий.

## **Глава 2**

# **АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И СВОЙСТВ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ И ПЕРЕКЛАДКИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ. ОПЫТ МОСКОВСКОГО ВОДОПРОВОДА**

В настоящее время для производства труб используются самые разные материалы: металлы, пластмассы, керамика, асбестоцемент, бетон и композиции из нескольких материалов. Каждый материал имеет свои достоинства и недостатки [16, 29, 31, 34, 42, 43, 44].

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, так как возникает дилемма: если труба дешевая, то она недолговечна, и наоборот. Ремонт трубопроводов — серьезная проблема, сопряженная с большими затратами. Поэтому может оказаться, что большие единовременные затраты во время строительства помогут сэкономить 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: вид материала определяет эксплуатационные характеристики трубы, ее долговечность, методы монтажа и, естественно, стоимость. Каждый материал, из которого изготовлены трубы, имеет свои достоинства и недостатки. Выбор материала и вида труб должен проводиться инженерами-проектировщиками в зависимости от конкретных условий эксплуатации и технико-экономических расчетов. Какой материал или какие материалы труб в будущем следует использовать при реконструкции и обновлении водопроводной сети города? Для ответа на этот вопрос проведем анализ типов труб, используемых ранее и в настоящее время в централизованных системах водоснабжения.

### **2.1. Стальные трубы**

Среди всех видов труб наиболее широко применяются стальные, что объясняет высокие объемы их производства, а также импорта и экспорта.

В общем объеме трубной продукции в России 93 % составляют стальные трубы, 5 % — полимерные, по 1 % — трубы из чугуна и асбестоцементные. Помимо жилищно-коммунального хозяйства данный вид труб используют в газо- и нефтепроводах, для транспортировки химических продуктов, в машиностроении и строительстве.

К 1990 г. потребление стальных труб в нашей стране достигло астрономической величины — 24 млн т. Это количество превышало потребление стальных труб во всем мире (рис. 2.1) [33].

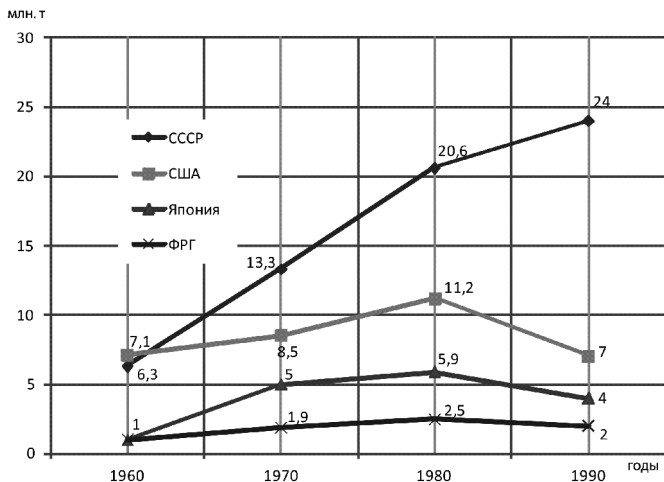


Рис. 2.1. Потребление стальных труб  
в СССР, США, Японии и ФРГ в 1960–1990 гг.

Стальные трубопроводы имеют низкую коррозионную стойкость. Как показывает опыт эксплуатации, срок их службы при отсутствии защиты от внешней и внутренней коррозии не превышает 10...15 лет (при низком расположении грунтовых вод) и 6 лет (при высоком расположении грунтовых вод), они подвержены локальной (питтинговой) коррозии, поэтому строительство водопроводов из стальных труб без защиты от внешней и внутренней коррозии следует признать нецелесообразным.

Трубопроводы из стальных труб с различного рода антикоррозионными покрытиями (оцинкованные, с алюмокерамическими, эмалированными и другими покрытиями) имеют повышенную по сравнению со стальными трубами коррозионную стойкость (до 30 лет). Однако их высокая стоимость, способы хранения, транспортировки, а также монтажные работы требуют особого обращения с подобными трубами. Сварные соединения из труб с покрытиями предписывают также специальные меры защиты от коррозии. Кроме того, различные покрытия, увеличивая коррозионную стойкость стали, одновременно увеличивают стоимость труб.

Основной недостаток стальных труб — их незащищенность от внешней и внутренней коррозии, однако этот недостаток проявляется не сразу после ввода в эксплуатацию. Стальные трубы относительно недороги, по прочности они превосходят чугунные и железобетонные, а также асбестоцементные трубы [27, 29].

Поэтому несмотря на решения Госстроя СССР и требования Строительных норм и правил (СНиП) о необходимости использования, как правило, неметаллических труб, фактически в бывшем СССР на большинстве городских водопроводов в основном использовались стальные трубы. В настоящее время основной недостаток стальных труб (без устройства антикоррозионной защиты) — низкая противокоррозионная устойчивость — проявился в полной мере. Поэтому оказалось необходимым проводить дорогостоящую реновацию стальных труб или их перекладку.

Опыт эксплуатации и расчеты показывают, что прочность стальных труб при их применении в системах водоснабжения может быть обеспечена. Однако сравнительно высокая деформируемость этих труб, не опасная для них самих, может вызывать повреждение внутренних защитных покрытий и приводить в результате незащищенности от коррозии к повреждениям трубопроводов [55].

К одному из эффективных методов обеспечения надежности стальных труб относится нанесение на внутреннюю поверхность труб цементно-песчаных покрытий. Первый опыт применения цементно-песчаных покрытий для капитального ремонта трубопроводов в Москве относится к 1968 г., когда были проведены работы по защите участка стального водовода второго подъема внутренним диаметром 1200 мм и длиной 110 м [30, 31].

Проводимые каждые 10 лет со дня пуска в эксплуатацию водовода комплексные эксперименты по определению качества цементно-песчаного покрытия показывали его стабильность, подтверждая долговечность материала и правильность принятия решения по капитальному ремонту трубопровода путем нанесения цементно-песчаного покрытия [30].

На рис. 2.2 для сравнения приведены фрагменты одного и того же ремонтного участка стального трубопровода соответственно в исходном состоянии (*а*), после интенсивной чистки скребковыми устройствами (*б*) и после облицовки путем нанесения защитного цементно-песчаного покрытия (*в*), на которых заметна существенная разница состояния внутренних поверхностей труб, обуславливающих соответствующие коэффициенты шероховатости.

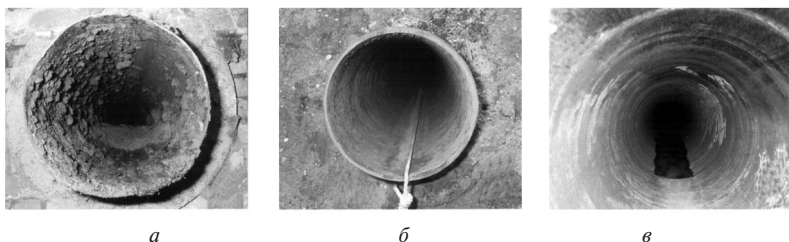


Рис. 2.2. Различные состояния подлежащего реновации ремонтного участка трубопровода: *а* — до реноваций; *б*, *в* — после реноваций



Минимальная толщина защитного слоя должна определяться диаметром и материалом труб, а требуемая — возрастом труб, толщиной их стенок и физическим состоянием (износом). Метод нанесения цементно-песчаных покрытий используется при любой глубине залегания труб (в грунте или непроходных каналах) и не зависит от типа грунтов, окружающих трубопровод. Он целесообразен при таких видах повреждений, как коррозионные обрастания, абразивный износ, и неэффективен при раскрытых стыках труб, смещении труб в стыках и деформации секций труб, сильном абразивном износе, так как не обеспечивает повышения несущей способности трубы.

Требуемая толщина слоя цементно-песчаного покрытия (ЦПП) для стальных и чугунных труб должна соответствовать техническим условиям (ТУ), согласованным с заказчиком (эксплуатирующей сети организацией) в установленном порядке (например, на объектах в г. Москве для стальных труб по ТУ 5745-001-16341648-99 «Внутренняя цементно-песчаная антикоррозионная изоляция стальных трубопроводов») [9].

Параметры толщины слоя ЦПП приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Параметры толщины слоя ЦПП**

| Материал труб | Диаметр, мм | Минимальная толщина слоя, мм | Допуск, мм |
|---------------|-------------|------------------------------|------------|
| Сталь         | Менее 159   | 4,0                          | +2,0       |
|               | 159...273   | 5,0                          | +2,0       |
|               | 325...377   | 6,0                          | +2,0       |
|               | 426...720   | 7,0                          | +2,0       |
|               | 820         | 9,0                          | +2,0       |
|               | 920         | 10,0                         | +2,0       |
|               | 1020        | 11,0                         | +2,0       |
|               | 1220...1420 | 12,0                         | +2,0       |
|               | 1620        | 14,0                         | +2,0       |
|               | 2020        | 16,0                         | +2,0       |
| Чугун         | 250 и менее | 3,0                          | +1,5       |
|               | 250...900   | 5,0                          | +2,0       |
|               | 900 и более | 6,0                          | +2,5       |

Качественно проведенный капитальный ремонт стальных трубопроводов с использованием цементно-песчаного покрытия позволяет достичь следующих результатов:

— предотвратить коррозию металлических стенок трубопроводов за счет пассивного (изоляции стенок) и активного (образования на стенках субмикроскопического покровного слоя из оксидов железа) защитных эффектов;

Конец ознакомительного фрагмента.  
Для приобретения книги перейдите на сайт  
магазина «Электронный универс»:  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru).