

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

(наименование института полностью)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и  
водоотведение»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему «Разработка мероприятий по реконструкции водопроводных сетей  
г. о. Тольятти бестраншейным способом с применением различных  
материалов»

Студент

П.Н. Жирнов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.М. Филенков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

к.т.н., доцент В.М. Филенков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н., доцент В.М. Филенков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕНОВАЦИИ .....	7
1.1 Состояние напорных сетей различного назначения .....	7
1.2 Концепции стратегии восстановления трубопроводных сетей .....	11
1.3 Система выбора аварийных объектов замены трубопровода .....	13
1.4 Выводы по главе 1 .....	15
Глава 2 ВОЗМОЖНОСТИ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ И МАТЕРИАЛАМИ.....	16
2.1 Обеспечение ресурсо- и энергосбережения восстановленных водопроводных сетей .....	16
2.2 Исследование бестраншейной технологии протаскивания нового трубопровода в старый с его разрушением и без разрушения.....	19
2.3 Исследование восстановления путём сплошного набрызгивания покрытия на основе цементно-песчаных растворов .....	24
2.4 Исследование технологий реновации трубопроводов путём протягивания сплошных полимерных покрытий (метод Феникс) и полимерных труб технологией «Swagelining».....	29
2.5 Выводы по главе 2 .....	32
Глава 3 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ Г.О. ТОЛЬЯТТИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	33
3.1 Материалы, применяемые для реконструкции водопроводных систем бестраншейным способом .....	33
3.2 Сравнительные показатели материалов, применяемые для реконструкции водопроводных сетей бестраншейным способом .....	64

3.3 Рекомендации по выбору материала для реконструкции водопроводной сети г. Тольятти.....	67
3.4 Выводы по 3 главе .....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы:** В современных городах предотвращение старения и преждевременного выхода из строя водопроводных сетей, а также реновация последствий их проявления является главной задачей коммунальных служб, большинства городов мира. Особенно это актуально для России, где в коммунальном хозяйстве старение подземных трубопроводов и оборудования различного назначения достигают критических величин, более 50% подземных коммуникаций исчерпали свой нормативный срок службы.

«Непринятие оперативных мер повышения эффективности, работоспособности и реновации подземных водопроводов усугубляет ситуацию многочисленными негативными последствиями для населения и окружающей природной среды.

Водопроводные сети должны обеспечивать гарантированный физический барьер от загрязнений подаваемой воды и поддерживать в ней требуемые санитарно-гигиенические показатели.» [1].

Задача предотвращения быстрого выхода из строя водопроводных сетей должна быть реализована в долгосрочных социальных и экологических программах современного города.

Актуальность бестраншейного восстановления водопроводной сети, заключается в сохранности инфраструктуры города Тольятти. Именно эта технология позволяет исключить необходимость перекрытия дороги, восстановления асфальтового покрытия, нарушения работоспособности существующих коммуникаций, уничтожения садово-парковых насаждений.

Следовательно, бестраншейная прокладка даёт возможность установить магистраль под дорогами, газонами, различными площадками, не разрушая их.

**Объект исследования:** водопроводные сети.

**Предмет исследования:** материалы для восстановления трубопроводов бестраншейным способом.

**Целью работы** является разработка мероприятий по реконструкции и восстановлению водопроводных сетей города Тольятти бестраншейным способом с применением различных материалов.

**Для реализации цели поставлены следующие научно-технические задачи:**

1. Рассмотреть современные методы прокладки трубопровода бестраншейным способом;
2. Подборка материала в зависимости от метода прокладки трубопровода бестраншейным способом;
3. Разработка мероприятий по реконструкции водопроводных сетей г.о. Тольятти.

**Методы исследования:** в процессе работы были применены аналитический, эмпирический методы исследования, анализ нормативно-технической документации.

**Научная новизна заключается в:**

- Теоретическом обосновании методов и материалов для реновации водопроводных сетей г.о. Тольятти;
- Разработке рекомендаций по реконструкции водопроводных сетей г.о. Тольятти, с применением бестраншейных технологий.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что предлагаемые методы и материалы для реновации водопроводных сетей г.о. Тольятти позволят повысить эффективность проводимых работ.

**Личный вклад автора** состоит в обосновании темы, цели, задач и разработке рекомендаций по реконструкции водопроводных сетей г.о. Тольятти, с применением бестраншейных технологий.

**На защиту выносятся:** рекомендации по реконструкции водопроводных сетей г.о. Тольятти, с применением бестраншейных технологий.

**Апробация работы.** Результаты работы представлены в сборниках трудов:

XV Всероссийской научно-практической конференции. Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. (г. Пенза, МНИЦ ПГАУ, 2017).

XVIII-ой Международной научно-практической конференции. Организационно-экономические и инновационно-технологические проблемы модернизации экономики России. (г. Пенза, МНИЦ ПГАУ, 2018).

**Объем и структура магистерской диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов по главам, заключения, библиографии из 40 наименований. Общий объем работы 76 стр., включая 21 иллюстрацию и 4 таблицы.

# **Глава 1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕНОВАЦИИ**

## **1.1 Состояние напорных сетей различного назначения**

«Обеспечение бесперебойной и устойчивой работы систем водоснабжения и водоотведения городов и населенных пунктов во многом определяется надежностью и техническим состоянием ее трубопроводной сети. Это вызвано тем, что напорные трубопроводы водоснабжения и водоотведения относятся не только к наиболее функционально значимым элементам этих систем, но и как показывает практика эксплуатации, наиболее уязвимым.» [1].

Причины понижения надежности городских водопроводных сетей известны и сложились за долгий период их эксплуатации. К этим причинам относятся: изношенность водопроводов (свыше 60%); выбор в качестве материала труб низкоуглеродистой стали, не отвечающих фактическим внешним и внутренним нагрузкам, воздействующим на водопровод; нарушение технологических процессов при укладке и монтаже трубопроводов в период интенсивного роста селитебных территорий в 50-70 годах прошлого века; недостаточное внимание защите трубопроводов от негативных воздействий внешних факторов (коррозия); возрастающие разрушающие нагрузки, гидравлические удары; расхождения качества труб с требованиями ГОСТов. Водопроводные сети воспринимая усилия от грунта, подземных вод, временных и постоянных статических и динамических нагрузок (транспорт, горное давление) находятся под постоянным стрессом.

На рисунке 1.1 показано что при неправильном проектировании и эксплуатации водопроводные и водоотводящие сети подвергаются деформациям, внутренней и внешней коррозии, абразивному износу.

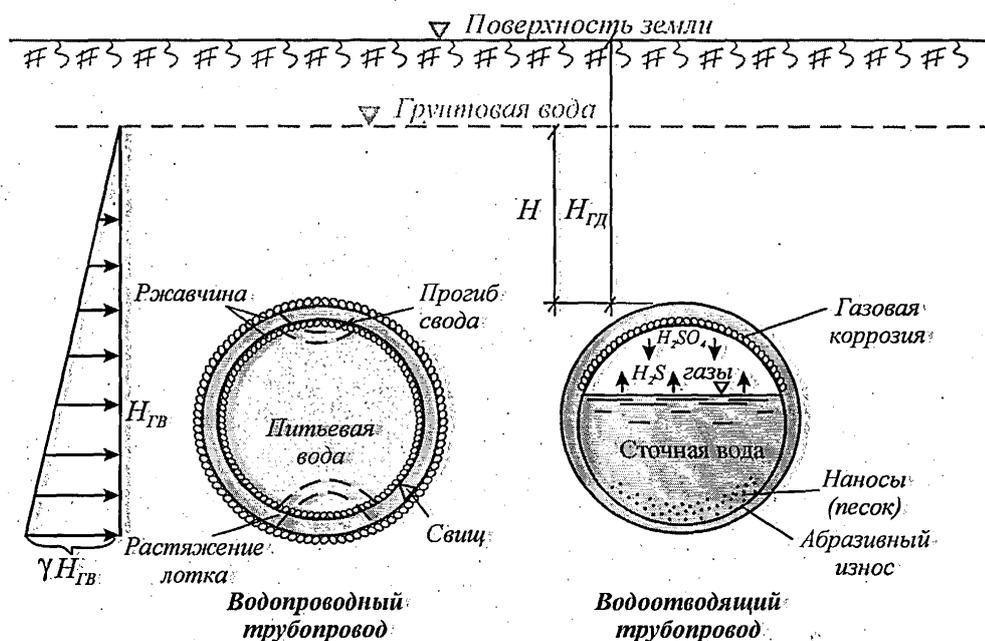


Рисунок 1.1 – Иллюстрация внешних и внутренних воздействий на водопроводы, приводящих к нарушению их работы

Аварийное и предаварийное состояние водопроводов городов приводит к огромным финансовым затратам на ликвидацию последствий, штрафы за причиненный ущерб от изливов воды и перебои в водоснабжении. Экологический ущерб от аварийных ситуаций: измененный гидрогеологический режим территорий, повышение коррозионной активности грунтов. Социальные издержки – снижение качества услуг водоснабжения и водоотведения.

В России более высокая аварийность водопроводных сетей, чем в странах Западной Европы и США.

За весь период капитального строительства на рубеже XX–XXI веков коммуникациям, в том числе водопроводным сетям, не уделялось должное внимание эксплуатации и содержанию трубопроводов, что в свою очередь привело к существующему положению дел в системах жизнеобеспечения в последние годы. Использование стальных труб для водопроводных систем без учета возрастающих требований к надежности по используемым

материалам. В 90 годы прошлого века использование стальных трубопроводов в нашей стране достигло максимальной величины около 24 млн.т., что превышало потребление стальных труб в остальном мире.

Срок службы стальных трубопроводов составляет около 25 лет, что недостаточно в современных условиях. На сегодняшний день срок службы большинства стальных трубопроводов давно истек, и начался их повсеместный выход из строя. К сожалению замена, обновление и восстановление водопроводных сетей не проводится в необходимом объеме. Причин этому множество, в том числе, недостаточное финансирование, отсутствие системного подхода к реновации трубопроводных систем и пр. При этом темп физического и морального износа трубопроводов не соответствует темпу выполнения работ по реновации. Объемы восстановления трубопроводов Тольяттинского водопровода составляют около 1,5% от общей протяженности водопроводных сетей, что конечно же недостаточно для их надежной и бесперебойной работы.

«Планирование восстановления городских водопроводных и водоотводящих трубопроводов представляет важную государственную задачу для оценки размеров требуемых инвестиций по модернизации трубопроводной части систем; водоснабжения и водоотведения и обоснования тарифа на их услуги. Аналогичные задачи актуальны, и для служб водоснабжения и водоотведения большинства стран мира.» [11].

По данным аналитиков свидетельствует, что в сфере теплоснабжения доля ветхих сетей составила 41%, то есть при общей протяженности сетей 670,6 км замене подлежат 274,9 км. В системе водоснабжения процент сетей, эксплуатирующихся и требующих замены, составляет 33% – 365,2 км. (при общей протяженности водопроводных сетей – 1 106,8 км). Доля ветхих канализационных сетей составляет 44% – 517,6 км. (при общей протяженности сетей 1 176,4 км). При этом средний возраст стальных

трубопроводов Тольяттинского водопровода составляет 24 года, а, например, чугунных 34 года.

В таблице 1 систематизированы данные по протяженности трубопроводов Тольяттинского водопровода и ветхих участков, требующих замены.

Таблица 1.1 – Протяженность сетей различного назначения в г.о. Тольятти

Трубопроводная сеть	Протяженность, км			Трубопровод, подлежащий замене, км	Доля ветхих сетей
	Сталь	Чугун	Асбест		
Теплоснабжение	670,6	0	0	274,9	41 %
Водоснабжение	1106,8	0	0	365,2	33 %
Канализация	644,1	301,2	231,1	517,6	44 %
Всего:	2421,5	301,2	231,1	1157,7	

В соответствии с таблицей 1.1 процент стальных водопроводных сетей составляет свыше 80% общего количества трубопроводов.

«Подавляющее большинство трубопроводов водопроводной сети (более 40 %) имеет в настоящее время значительный физический износ, так как они были построены и введены, в эксплуатацию десятки лет назад, причем без учета требований надежности по применяемым материалам и организационно технических возможностей эксплуатирующих организаций. В особенности это касается стальных трубопроводов, основными дефектами которых являются свищи (65 % от общего количества отказов). Необходимо также отметить, что протяженность трубопроводов самортизированных, т.е. отслуживших установленный нормативный срок службы, и не отслуживших нормативный срок находится почти в равных долях.» [34].

«Важную роль в обеспечении высокоэффективной эксплуатации трубопроводов городской водопроводной сети имеет получение объективной информации о техническом состоянии ее участков. При этом постоянно

растущие объемы информации, непосредственно и косвенно связанные с надежностью работы трубопроводов и оборудования городской водопроводной сети, требуют ее оперативной обработки на основе использования современных информационных технологий. Важнейшей частью автоматизированного информационно-технического обеспечения контроля и управления эксплуатацией городской водопроводной сети является сбор, накопление и обработка данных по всем повреждениям на трубопроводах и оборудовании, а также о внешних дестабилизирующих факторах (возрасте труб, грунтах, глубинах залегания, наличии подземных вод над трубопроводом и т.д.)» [1].

## **1.2 Концепции стратегии восстановления трубопроводных сетей**

«Мировая практика эксплуатации водопроводных сетей показывает, что в коммунальном секторе отсутствует чёткая научнообоснованная долгосрочная стратегия реновации подземных трубопроводов, а существующая практика ремонтно-восстановительных работ на них базируется на планировании капитального ремонта, часто не учитывающего реалий современного состояния насыщенной подземной инфраструктуры городов и постоянно меняющейся (в основном ухудшающейся) экологической обстановки (например, подтопления территорий). Вопросы тактики реновации (т.е. перечня обязательных оперативных процедур) также в основном решаются спонтанно без строгого обоснования. Камнем преткновения в подходах и оценках степени ущербности отдельных объектов на сетях, как за рубежом, так и в нашей стране является отсутствие исчерпывающих сведений о трубопроводах (по материалам инвентаризации и исполнительной документации) и окружающей их обстановке.» [1].

«Достаточно глубокое изучение проблемы и обмен опытом показали, что в крупных городах Европы (Гамбург, Дюссельдорф, Лондон, Копенгаген, Ливерпуль и других) на сегодняшний день не существует какого-либо единого и целенаправленного подхода к реновации сетей. Кроме того,

идентичные подходы к стратегии реновации появляются лишь на первых этапах решения проблемы, когда производится инспекция водоотводящих сетей и классификация повреждений. Обращает на себя внимание отсутствие такого важного компонента в системе как ранжирование участков сетей по тому или иному признаку на приоритетность реновации.» [1].

«Препятствием разработки стратегии реновации трубопроводов может служить и достаточно разрозненный характер имеющейся информации, особенно для участков сетей, находящихся в эксплуатации несколько десятилетий. Это можно объяснить: неполной информацией о трубопроводе (включая, в частности, его возраст, интенсивность отказов и т.д.); недостаточной информацией о структуре окружающей почвы, горизонте грунтовых вод (расположением под горизонтом подземных вод или над ним); отсутствием достоверных и полных данных об эффективности эксплуатации за весь период работы трубопровода.» [35].

Тольяттинским водоканалом проводится соответствующая политика в области восстановления городских водопроводных и водоотводящих сетей. При плановых мероприятиях выполняются профилактические работы на сети, в том числе: поверхностный осмотр, технический осмотр, прочистка и дезинфицирующая промывка сети.

«В качестве нового перспективного стратегического направления реновации трубопроводных сетей рассматривается проведение планово-предупредительных работ, т.е. проведение комплекса работ по техническому обслуживанию и реконструкции трубопроводной системы через заданные интервалы времени. В большинстве случаев они могут проводиться регулярно, например, за рубежом практикуется 4-х летний цикл для оборота распределительных сетей и 2-х летний для оборота гидрантов. Однако из-за дороговизны на замену наружных сетей эта практика не распространяется. В качестве другого стратегического направления может являться профилактический ремонт с учётом реального состояния участков

трубопроводов по сравнению с заданным для них состоянием. В этом случае ориентация на проведение восстановительных мероприятий может опираться на ухудшение гидравлических параметров потока жидкости (например, из-за образования на стенках труб различных отложений, существенно уменьшающих живое сечение труб), ухудшение качества воды (например; увеличение мутности, появление цветности), снижение надёжности (появление повреждений), рост издержек на эксплуатацию (например, по причине возросшего объёма работ персонала, занимающегося прочисткой сильно заросших отложениями трубопроводов) и т.д.» [1].

Анализ концепций в стратегии восстановления трубопроводов выявил, отсутствие в мировой практике эксплуатации водопроводных сетей четкой научно обоснованной долгосрочной стратегии реновации подземных трубопроводов.

### **1.3 Система выбора аварийных объектов замены трубопровода**

Для г. Тольятти и многих других городов РФ основной проблемой является отсутствие единой базы данных о состоянии коммуникаций. Это усугубляется их большей протяжённостью, а также различными материалами труб применяемых в разное время и в процессе частичного ремонта или замены участков сети.

«Для автоматизированного ввода, хранения, обработки и выдачи необходимой информации по оценке и прогнозу уровня надёжности трубопроводов и оборудования водопроводной сети, требуется использование автоматизированного информационно – технического обеспечения, включающего в себя базы данных (БД):

- паспортов участков сети;
- паспортов водосчетчиков;
- паспортов колодцев и камер;
- паспортов водопроводного ввода;
- эскизов детализировки запорной арматуры колодцев и камер;

- графического изображения водопроводной сети;
- схем водомерного узла;
- текущего состояния трубопроводов (результаты диагностического контроля);
- прочих эксплуатационных параметров (напоры в сети, данные группы гидроизмерений и т.п.);
- качества воды в распределительной сети;
- по повреждениям и восстановлению участков трубопроводов и арматуры;
- выданных технических условий на водоснабжение объекта, перекладку, реновацию, проектирование.» [39].

Подобный опыт применения и внедрения подобных баз данных и облачных хранилищ имеется у ОАО «ТЕВИС».

Для создания системы выбора аварийных объектов замены трубопровода необходимо создать такую автоматизированную базу данных, в которой будет осуществляться ввод, хранение, обработка и выдача необходимой информации по оценке и прогнозу уровня надежности трубопроводов и оборудования водопроводной сети. В свою очередь, «такая база данных позволит выбирать из общего объема амортизированных трубопроводов первоочередные объекты восстановления, к которым относятся объекты, имеющие наибольший риск аварий и в ближайшее время с экономической и с технической позиций окажутся непригодными для дальнейшего нормального функционирования, то есть потребуются их скорейшее восстановление.» [39].

Если же имеются разрушения стенок труб, сдвиги, разрывы и т.п. дефекты, не позволяющие восстановить трубопровод, а также необходимо увеличение диаметра трубопровода, проводится его реконструкция, т.е. замена на новую конструкцию. Реконструкция может проводиться как бестраншейным способом, так и открытым. Последний вариант

тождественен новой прокладке (с дополнительными работами по разборке старого трубопровода) и целесообразен только при наличии целого ряда условий:

- возможности открытой прокладки,
- необходимости существенного увеличения диаметра трубопровода, которое не может быть достигнуто путем бестраншейной реконструкции.

Принятие того или иного решения должна основываться на технико-экономическом обосновании.

#### **1.4 Выводы по главе 1**

1. Выполнен анализ текущего состояния городских напорных и безнапорных сетей водоснабжения и водоотведения, который показал, что износ и старение коммуникаций достигает 60%, при этом многие коммуникации полностью исчерпали нормируемый срок службы и требуют ремонта или замены.

2. В настоящее время концепция по оптимизации стратегии реновации, а также тактики реновации объектов городского водопровода, до конца не проработана.

3. Для создания системы выбора аварийных объектов замены трубопровода необходимо создать автоматизированную базу данных на основе облачных систем с доступом в интернет

4. Выявлены направления реновации водопроводных сетей г. Тольятти на основе бестраншейных технологий реновации трубопроводов.

## **Глава 2 ВОЗМОЖНОСТИ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ И МАТЕРИАЛАМИ**

### **2.1 Обеспечение ресурсо- и энергосбережения восстановленных водопроводных сетей**

«Решение проблем эффективной транспортировки воды в напорных трубопроводах систем водоснабжения, связанных с ресурсосбережением и обеспечением энергосбережения, прежде всего, зависит от их технического состояния. Для обеспечения сохранности воды и уменьшения затрат на электроэнергию при её транспортировке водопроводная сеть должна удовлетворять следующим требованиям: обладать достаточной степенью надежности для бесперебойной подачи воды потребителям; иметь высокую коррозионную стойкость к воздействию воды, агрессивных грунтов, блуждающих токов; выполняться по возможности из долговечных материалов; иметь внутреннюю поверхность или защитные покрытия с малыми коэффициентами гидравлического трения, при которых потери напора в сети должны быть минимальными; обладать герметичностью, т.е. не иметь дефектов (трещин, свищей, неплотностей в стыковых соединениях труб и т.д.). Кроме того, сеть должна быть запроектирована наиболее экономично, т.е. обеспечивать наименьшую величину приведенных затрат на ее строительство и эксплуатацию. Выполнение этих требований в большей степени зависит от правильного выбора материала и диаметра сети.» [37].

В РФ основными миспользуемыми материалами труб были сталь и чугун при этом по Тольятти, то из них 72% приходится на стальные трубы, а 26% - на чугунные трубопроводы (рис. 2.1).

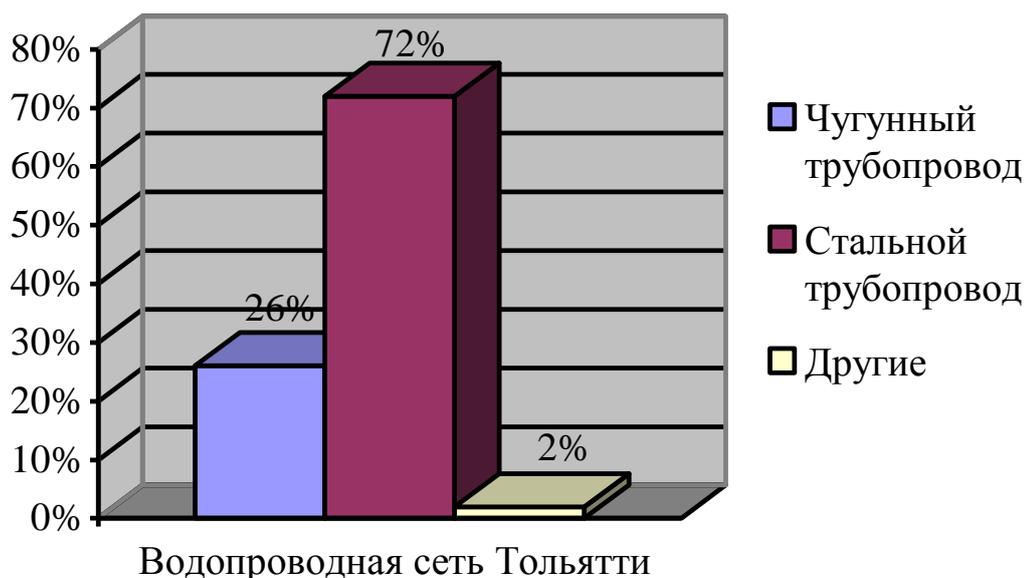


Рисунок 2.1 – Соотношение материалов в водопроводной сети г.о. Тольятти

«Большинство российских городских водопроводных сетей, проложенных из стальных или чугунных труб, эксплуатируются и на сегодняшний день находятся в ветхом (аварийном) состоянии, приводящим к огромным утечкам, достигающим до 30% от суточной производительности системы водоснабжения, и, соответственно, не удовлетворяющим требованиям ресурсов и энергосбережения. Вследствие чего требуется глобальная модернизация городских водопроводных сетей, реконструкция с обеспечением энергоэффективности восстанавливаемых и вновь строящихся трубопроводных систем. Отсюда применение бестраншейных технологий реновации трубопроводов с использованием альтернативных ремонтно-строительных материалов, позволяющих оперативно восстанавливать работоспособность трубопроводов, является неизбежным требованием времени, способным предотвратить переход системы трубопроводного транспорта из аварийного состояния в катастрофическое.» [37].

«Водопроводная сеть должна быть запроектирована экономично, т.е. обеспечивать наименьшую величину приведённых затрат на её строительство и эксплуатацию, а в последующем на санацию и модернизацию. Выполнение

этих требований в большой степени зависит от правильного выбора материалов и диаметров сети.» [38].

«На основании опыта строительства, реконструкции трубопроводов, особенностей эксплуатации подземных сетей водоснабжения, выполненных из различных материалов, сформулированы специальные требования к защитным покрытиям и арматуре для эффективной и надежной работы.» [38].

«Выполняя вышеизложенные требования можно констатировать, что на практике выход из строя и нарушение эффективности работы водопроводов являются частым явлением. Не исключается, что периодически появляются проблемы в работе трубопроводных сетей, подвергнутых восстановлению полимерными трубами или рукавами, что может быть вызвано рядом факторов, а именно:

- неправильный выбор материала труб (защитных покрытий) для восстановления ветхих водопроводов. Например, несоответствие необходимого качества трубопроводов требованиям ГОСТ;

- отсутствие обоснований требуемого слоя защитного покрытия и расчетов, которые дают надежную и долговременную работу двухслойных трубопроводных конструкций и отвечают фактическим внешним и внутренним нагрузкам, влияющим на водопровод;

- отсутствие или недостаточное внимание к обеспечению требований гидравлической совместности старых и новых участков, отремонтированных водопроводов из-за значительного уменьшения сечения труб (при протяжке в старый трубопровод новых меньшего диаметра) или необоснованного увеличения сечения (как результат протаскивания в свободное пространство после разрушения старого трубопровода нового с большим диаметром).

- частичного (локального) отслоения защитных оболочек в виде полимерных рукавов, провоцирующих образования складок, что пагубно

действует на потокораспределение и гидравлический режим течения жидкости;

- несоблюдение регламентированного принципа производства работ по монтажу и укладке защитных покрытий во время ремонта, и других требований обеспечения условий работы термопласты.» [38].

«Также необходимо отметить следующие глобальные аспекты энергосбережения. Анализ специалистов Минэнерго России свидетельствует о том, что потенциал энергосбережения в ЖКХ не превышает 25 % всего потенциала по отраслям хозяйства.» [38].

«Для обеспечения сохранности воды и уменьшения затрат на электроэнергию при её транспортировке водопроводная сеть должна удовлетворять требованиям:

- достаточная степень надёжности для бесперебойной подачи воды потребителям;

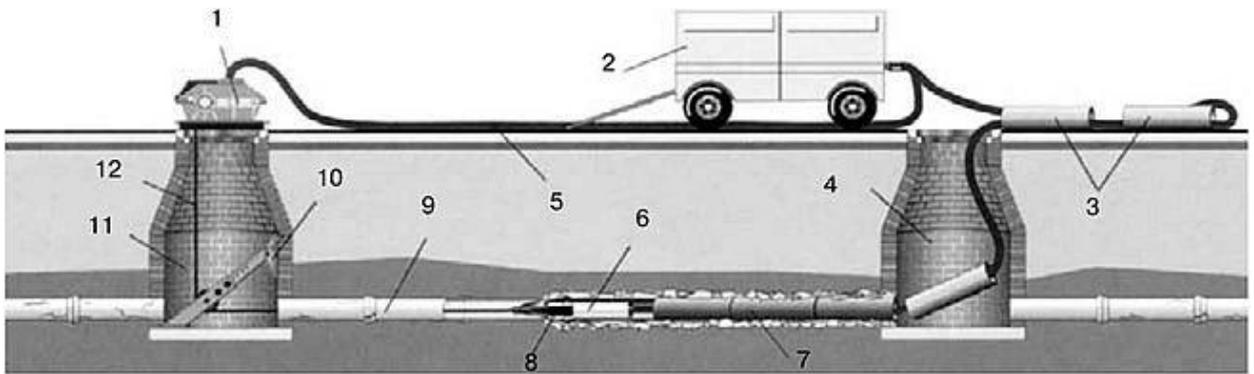
- высокая коррозионная стойкость к воздействию воды и долговечность за счёт качественных характеристик, применяемых для ремонта материалов;

- герметичность и минимальные потери напора при транспортировке воды.» [38].

## **2.2 Исследование бестраншейной технологии протаскивания нового трубопровода в старый с его разрушением и без разрушения**

В отечественной и зарубежной практике нашёл широкое применение метод прокладки трубы в старый трубопровод, с его последующим разрушением (рис. 2.2).

После разрушения старых трубопроводов их место могут занимать новые из различных материалов, как правило, несколько большего диаметра, чем вышедшие из строя.



- 1 — пневмолебедка; 2 — компрессор; 3 — прокладываемый трубопровод; 4 — рабочая камера; 5 — шланг воздухоотводной; 6 — пневмоударная машина; 7 — новый участок трубы; 8 — расширитель; 9 — старый разрушаемый трубопровод; 10 — анкер; 11 — приемный колодец; 12 - трос лебедки

Рисунок 2.2 – Схема разрушения старого трубопровода и протаскивания нового с помощью пневмоударной машины

Протягивание нового трубопровода с параллельным разрушением старого может осуществляться с помощью пневмоударных машин или пневмопробойников, оснащённых спереди разрушающими гильзами с соответствующими ножами (рис. 2.3).



- 1 - трос, 2 - направляющая штанга, 3 - разрушающая гильза-нож, 4 - расширитель, 5 - клеммы, 6 - шланг высокого давления

Рисунок 2.3 – Комплект пневмопробойника с разрушающей гильзой и расширителем

Бестраншейная замена старых трубопроводов на новые может производиться и без их разрушения: схема протаскивания нового полимерного трубопровода в старый представлена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Восстановление участка ветхой водопроводной сети без разрушения с помощью полимерных труб

Могут применяться специальные короткие пластмассовые сегменты и рейки, которые надеваются на протягиваемый трубопровод через определенный интервал для предотвращения повреждения протаскиваемого трубопровода (рис. 2.5).

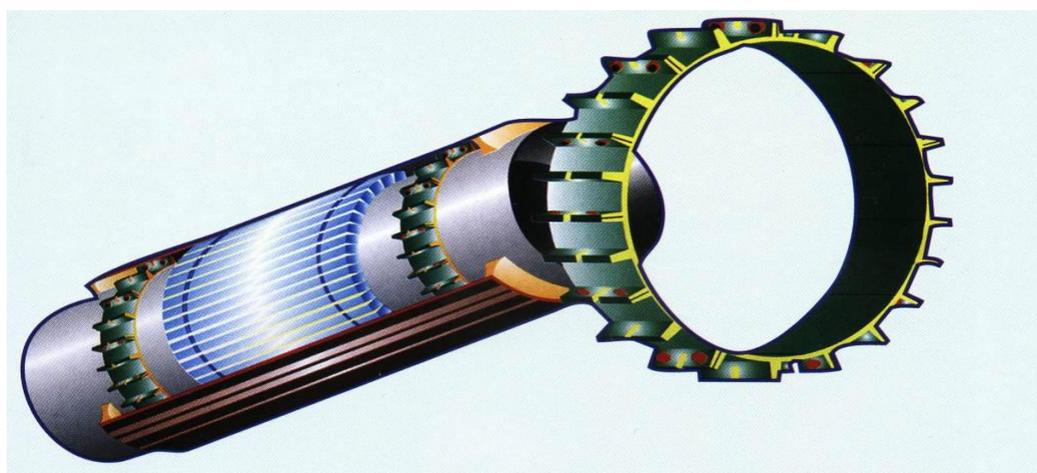


Рисунок 2.5 – Пластмассовые сегменты и рейки отечественной фирмы ОАО «Метафракс» для защиты трубопроводов при протягивании

Другими способами защиты полиэтиленовых труб от пореза наружной поверхности служат: нанесение в заводских условиях утолщенной внешней оболочки, чтобы возможные повреждения затронули только ее; использование полиэтиленовых труб со стойкой к механическим повреждениям наружной полипропиленовой оболочкой (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Полиэтиленовая труба с защитной оболочкой

На рис. 2.7 показан аппарат для сварки труб до 900 мм в плетъ в условиях строительства.

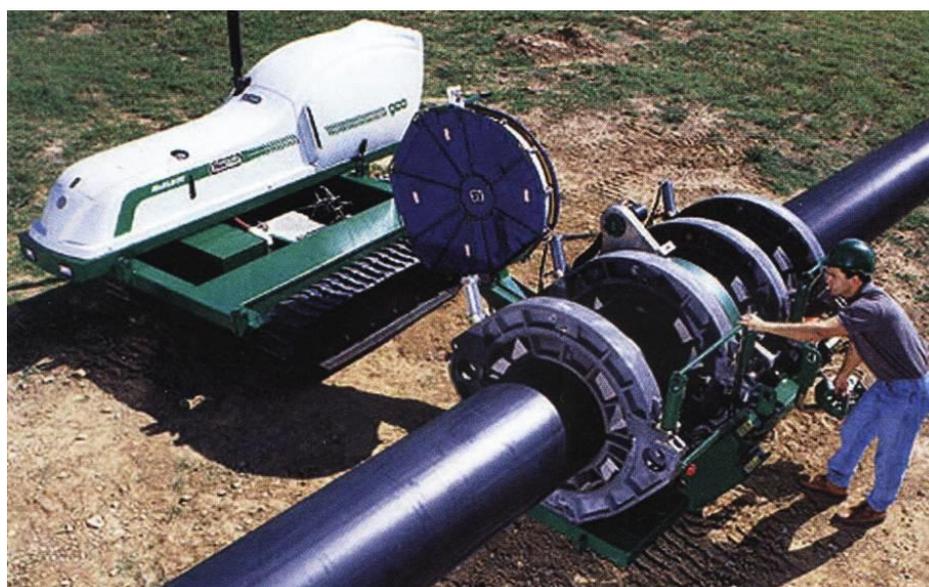


Рисунок 2.7 – Фрагмент подготовки полимерных труб для сварки

Основными достоинствами описанных методов восстановления путём протаскивания труб является:

- высокая долговечность и гибкость отремонтированного трубопровода;
- минимальные земляные работы (пилотный котлован, демонтаж одного колодца);
- монтаж из колодца в колодец, что может и вовсе исключить земляные работы;
- производство работ в колодцах любых диаметров;

- широкий диапазон длин заменяемых участков от нескольких десятков до сотен метров, это зависит от диаметра, кривизны, состава грунта, материала ремонтируемого трубопровода и т.д.);
- применяется для любых дефектов ремонтируемого водопровода;
- на время проведения ремонтных работ не затрагивается городская инфраструктура;
- малый риск повреждения коммуникаций в сравнении с открытыми способами ремонта водопроводов.

Однако недостатком метода является уменьшение внутреннего диаметра после реновации.

### **Восстановление с использованием мерных или коротких труб.**

Формируемая непосредственно перед введением в поврежденный трубопровод плеть труб размещается в восстанавливаемом трубопроводе.

Трубопровод с помощью троса перетягивается, либо с помощью домкрата проталкивается в сторону следующего колодца.

Для восстановления могут быть использованы как полиэтиленовые трубы, так и трубы с ВЧШГ со специальными покрытиями.

Подсоединять отрезки полиэтиленовых труб возможно:

- путем сварки, либо посредством раструбного или муфтового соединения в предварительно выкопанной траншее;
- соединением на резьбе (либо на муфтах) коротких отрезков полиэтиленовых труб непосредственно на дне существующего канализационного колодца.

Трубы из ВЧШГ защищают двухслойным покрытием. Для труб DN до 700 мм используется оцинкование, с вторым слоем в виде полиэтиленового усиленного покрытия, для труб DN 800-1200 рекомендуется наружное покрытие PUX (полиуретан толщиной 900 мкм, защищенным эпоксидным покрытием толщиной 300 мкм). Трубы должны иметь усиленное соединение (замок).

Технические и экономические преимущества Максимальная простота из всех методов, практически не требуется оборудование, за исключением лебедки и бетонососа. Одни из самых долговечных методов (наряду с методом рукава).

При использовании полиэтиленовых труб диаметр saniруемого трубопровода уменьшается на 100 мм.

Аналогично другим подобным методам – к недостаткам можно отнести необходимость заделки межтрубного зазора.

### **2.3 Исследование восстановления путём сплошного набрызгивания покрытия на основе цементно-песчаных растворов**

«Одним из основных методов санации является нанесение цементно-песчаных покрытий (ЦПП), которое является надежным средством ликвидации различного рода дефектов на внутренней поверхности стальных и чугунных труб, а также антикоррозионным материалом. Работы проводятся путем нанесения цементно-песчаных покрытий на стальные и чугунные трубы независимо от давления воды, и является удачной альтернативой дорогостоящей перекладки водопроводных сетей.» [36].

#### **Область применения:**

Применяется на стальных и чугунных трубопроводах систем хозяйственно-питьевого, сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения.

При введении в цементно-песчаный раствор специальных модифицирующих добавок, которые придают пластичность покрытию – этот метод можно применить для санации трубопроводов транспортирующих горячую воду.

Диапазон диаметров обрабатываемых труб составляет от 114 мм. и практически не имеет верхнего предела.

Нанесение покрытия может производиться как на действующих трубопроводах, так и на вновь строящихся.

Нанесение покрытия может производиться как в стационарных (цеховых) условиях, так и в условиях плотной городской застройки с большим насыщением инженерных коммуникаций.

Толщина слоя цементно-песчаного покрытия зависит от диаметра обрабатываемых труб и составляет от 4 мм. до 13 мм.

### **Основные технологические операции:**

**Механическая очистка** от илообразных отложений, рыхлых слоёв ржавчины и удаление остатков воды, при этом применяется очистная установка.

**Телеинспекция внутреннего состояния трубопровода.** При этом определяется точное местоположение и характер дефекта, определяется состояние трубопровода вокруг дефекта для принятия решения о локальном ремонте или замене участка трубопровода.

Результаты телеинспекции – документируются для приложения к акту приёма-передачи заказчику.

**Приготовление цементно-песчаного раствора.** Для приготовления раствора применяется песок кварцевый обогащенный с модулем крупности 1,5 по ГОСТ 10268 и портландцемент марки ПЦ500 или ПЦ600 по ГОСТ 10178.

Приготовление цементно-песчаного раствора производится в специальном агрегате для приготовления и подачи раствора.

### **Нанесение цементно-песчаного покрытия.**

Машину для нанесения раствора устанавливают на противоположном конце ремонтируемого участка трубопровода и при непрерывном поступательном перемещении назад наносится покрытие.

Принцип нанесения основан на центробежном набрызге раствора на стенки трубопровода. Под действием центробежных сил раствор равномерно распределяется по периметру и длине трубопровода.

Требуемая толщина покрытия достигается за счёт регулировки скорости движения машины.

**Заглаживание цементно-песчаного покрытия.** Заглаживание покрытия производят специальным устройством перемещающимся по трубе с машиной нанесения покрытия.

**Отверждение покрытия.** Для создания правильных условий отверждения покрытия концы труб ремонтируемого участка трубопровода герметично закрывают полиэтиленовой плёнкой.

**Телеинспекция.** При телеинспекции определяется визуально качество цементно-песчаного покрытия. Результаты документируются для приложения к акту приёма-передачи и передачи заказчику.

**Контроль качества покрытия.** Производственная лаборатория определяет качество покрытия на соответствие требованиям технических условий ООО «РемСтройМонтаж» ТУ 1390-001-2783154-2006.О

**Обобщённая схема очистки и нанесения цементно-песчаного покрытия (рис. 2.8).**

1. Очистная установка.
2. Машина для нанесения цементно-песчаного покрытия.
3. Конус для заглаживания цементно-песчаного покрытия.

Метод характеризуется сокращением диаметра восстановленного трубопровода. Для некоторых разновидностей это свойство выражено минимально, для некоторых – весьма существенно. Но, как правило, это сокращение в значительной степени компенсируется увеличением пропускной способности за счет снижения шероховатости восстановленной трубы.

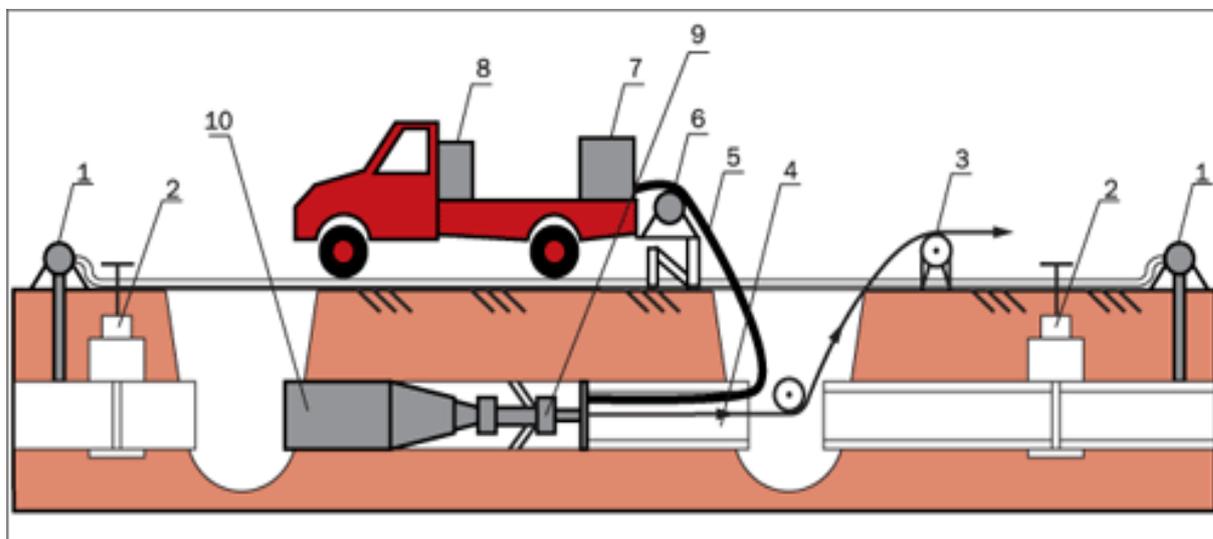
Метод имеет ограничение, связанное с состоянием трубопровода. Не могут быть восстановлены трубопроводы, имеющие серьезные разрушения.

Технология внутренней цементно-песчаной облицовки труб эффективно применяется при восстановлении работоспособности

(санировании) изношенных подземных стальных и чугунных трубопроводов хозяйственно-питьевого и горячего водоснабжения.

«Данный метод предотвращает коррозию внутренних стен труб, минеральных отложений и биологических обрастаний, увеличивает пропускную способность, устраняет утечку воды за счет герметизации свищей и не плотностей стыковых соединений.» [36].

Нанесение цементно-песчаных покрытий на внутренние стенки трубопроводов с целью восстановления их работоспособности может выполняться методом центробежного набрызга с использованием разглаживающих устройств (рис. 2.8).

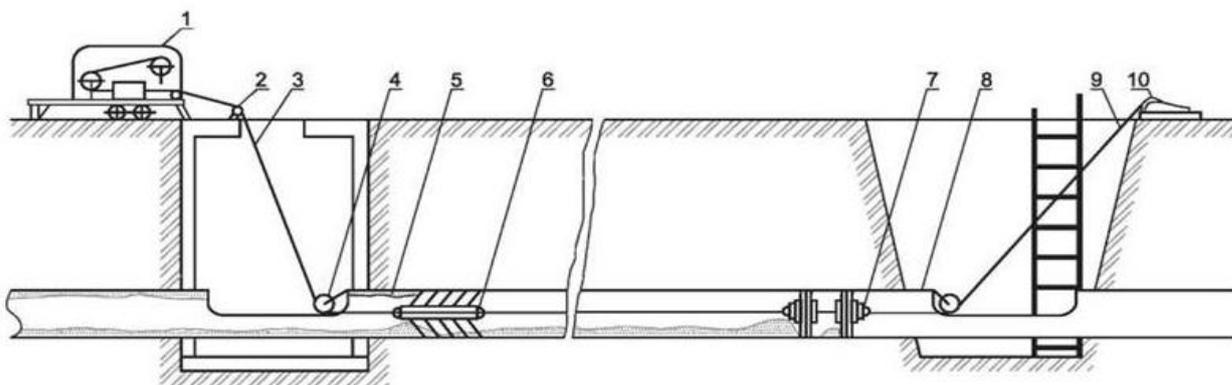


«1 – насос для временного отвода сточной жидкости; 2 – временный запорный орган (задвижка); 3 – лебедка; 4 – подлежащий обработке трубопровод; 5 – трубопровод транспортировки раствора; 6 – дозировочный насос для цементного раствора; 7 – емкость для цементного раствора; 8 – электрошкаф; 9 – разбрызгивающее устройство; 10 – обработанный участок трубы» [36].

Рисунок 2.8 – Схема нанесения внутреннего цементно-песчаного покрытия

Для проведения ремонтно-восстановительных работ по нанесению цементно-песчаных покрытий в качестве исходных материалов необходимо использовать портландцемент марки М500 и мелкозернистый кварцевый песок.

Внутренняя поверхность трубопровода должна быть тщательно очищена специальными устройствами (рис. 2.9).



1 – тяговая лебедка; 2,4 ролики; 3 – рабочий трос; 5 – отложения на внутренней поверхности трубопровода; 6 – скребковый снаряд; 7 – манжетный снаряд; 8 – прочищенный участок; 9 – вспомогательный трос; 10 – вспомогательная лебедка

Рисунок 2.9 – Схема прочистки трубопровода

«С течением времени на границе раздела слоя цементно-песчаного покрытия и воды остаётся всё меньше пор и борозд, и оно становится более плотным. Таким образом, транспортируемая вода контактирует с плотным, похожим на камень минеральным материалом, что обеспечивает наилучшие условия в плане гигиенического и бактерицидного воздействия на питьевую воду.» [40].

«К достоинству метода нанесения цементно-песчаных покрытий можно отнести: относительную простоту технического исполнения и низкую стоимость ремонтных работ, которая составляет около 30 % стоимости нового строительства. Тонкая и гладкая поверхность облицовки после её затирки обеспечивает снижение гидравлического сопротивления и потерь напора в трубопроводах при незначительном уменьшении его внутреннего диаметра.» [41].

Недостатки данного метода:

- при интенсивной эксплуатации трубопровода может происходить разрушение защитного слоя;
- избыточная проницаемость покрытий;

- появление трещин (в основном в следствии несоблюдения технологии приготовления и нанесения покрытия);
- эрозия;
- воздействие щелочей;
- биологическая коррозия с образованием сероводорода.
- прочистка трубопровода механическим и гидродинамическим методом перед санацией.

#### **2.4 Исследование технологий реновации трубопроводов путём протягивания сплошных полимерных покрытий (метод Феникс) и полимерных труб технологией «Swagelining»**

Сущность данного способа — это протягивание в восстанавливаемый трубопровод гибкого полимерного рукава, выполненного из мягкого материала, пропитанного тем или иным видом смолы, с последующей полимеризацией и отверждением пропиточной композиции. Данный тип покрытий получил широкое распространение в России.

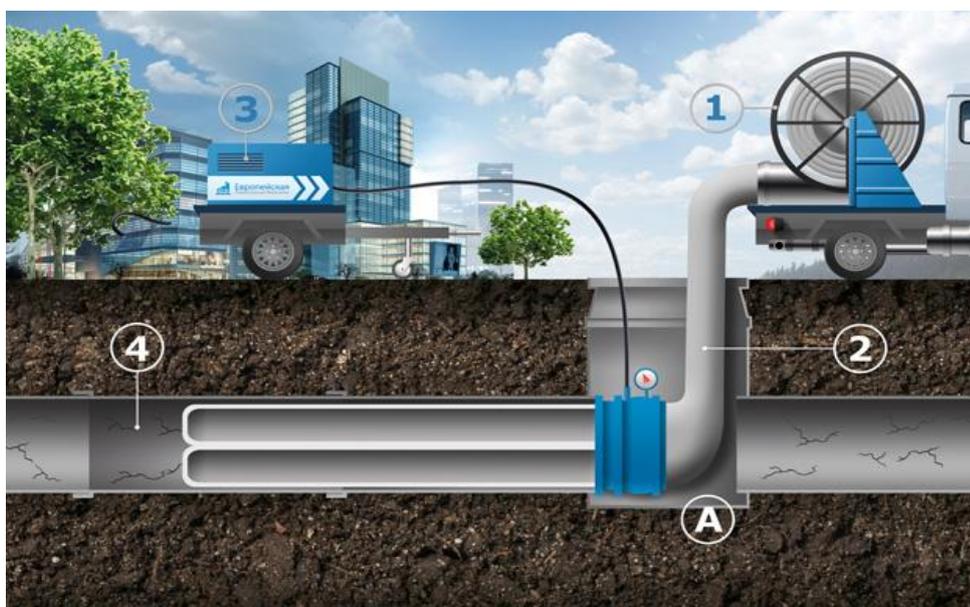
Перед началом восстановлением трубопровода внутренняя поверхность трубы должна быть очищена до металлического блеска, многократным протаскиванием скребкового снаряда с металлическими гребенчатыми и радиальными скребками, специального манжетного снаряда для сбора отложений и поролонового поршня для удаления остатков отложений, а также использованием гидродинамической очистки (рис. 2.10).



1 – механическая очистка; 2 – гидродинамическая очистка

Рисунок 2.10 – Способы прочистки трубопровода

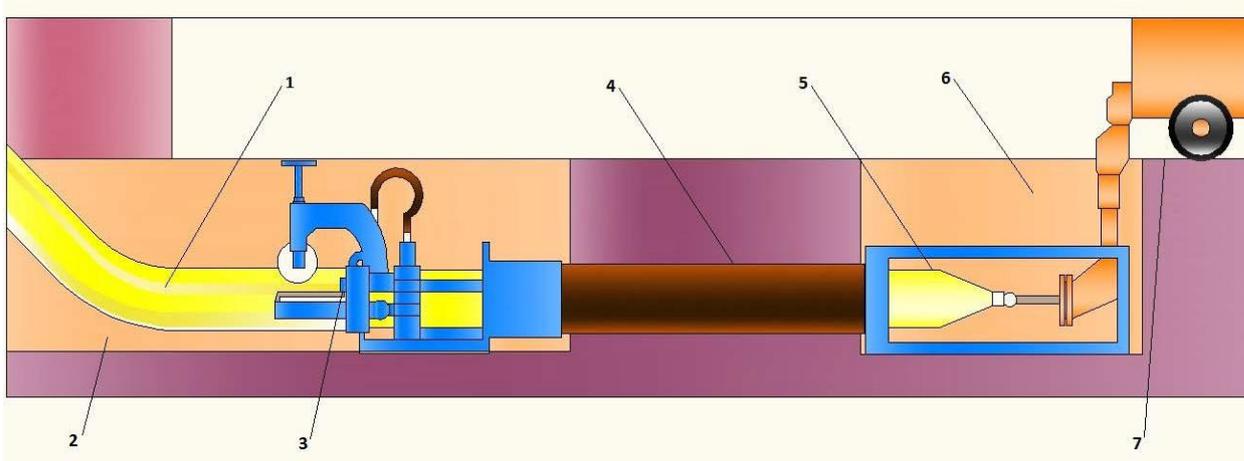
Процесс восстановления трубопровода начинается с закреплением у торцов старой трубы бесшовного полимерного рукава, «в который затем начинает подаваться сжатый воздух, под воздействием которого рукав, намотанный на бобину, начинает выворачиваться из находящегося на конце сосуда фланца так, что пропитанный смолой слой рукава оказывается снаружи, а покрытый полиэтиленовой оболочкой – внутри. Начало рукава заводится в существующую трубу, и он продолжает выворачиваться дальше до самого конца saniруемого отрезка. После того как конец рукава выйдет из второго конца трубы, подача воздуха прекращается и в рукав вставляются концы металлических труб, соединенных шлангами с приемным резервуаром. Постепенно воздух, которым заполнен рукав, начинает прогреваться паром, вырабатываемым парогенератором. Остатки воздуха удаляются через металлические трубки на конце рукава. Происходит прогрев рукава, смола твердеет и крепко приклеивается к старой трубе. Этот процесс занимает от одного до шести часов. Далее рукав медленно остывает. Для того чтобы чулок не дал усадку, по прошествии еще нескольких часов концы рукава обрезаются, и участок готов к подключению» [43] (рис 2.11).



1 – автомобиль с оборудованием для установки рукава; 2 – полимерный рукав; 3 – компрессор; 4 – saniруемый трубопровод

Рисунок 2.11 – Процесс восстановления трубопровода методом «Феникс»

«Технологический процесс по методу Swagelining заключается в пропуске подлежащего сжатию полимерного трубопровода (например, полиэтиленовой трубы ПЭ 100 или ПЭ 80) чуть большего диаметра, чем старый трубопровод через топочную камеру, где происходит ее нагрев до 70-80 С° (см. рис. 2.12) и специальное приспособление – сужающую коническую матрицу (рис. 2.13), которая уменьшает внешний диаметр трубы на 10–15% и более.» [37].



1 – полимерная труба, подлежащая термомеханическому сжатию, 2 – стартовый колодец, 3 – устройство для протягивания трубопровода с топочной камерой и сужающей матрицей, 4 – участок восстанавливаемого трубопровода, 5 – деформированный полимерный трубопровод, 6 – финишный колодец, 7 – площадка для установки оборудования для реализации процесса

Рисунок 2.12 – Общая схема технологии протягивания по методу Swagelining



Рисунок 2.13 – Сужающая коническая матрица «Swagelining»

## 2.5 Выводы по главе 2

1. Превышение нормативных сроков службы трубопроводов городских систем водоснабжения, как следствие этого, неудовлетворительное техническое состояние участков трубопроводных сетей, настоятельно требуют оперативного вмешательства в процесс реновации с использованием бестраншейных технологий, способных предотвратить переход системы трубопровода из аварийного состояния в катастрофическое.

2. В результате анализа альтернативных технологий реновации водопроводных сетей, и ремонтных материалов защитных покрытий, явилось определение диапазона возможностей бестраншейных методов и защитных покрытий, по локализации дефектов, а также выявление численных значений гидравлических показателей, играющих главную роль для достижения эффекта энергосбережения.

3. Используемые материалы, которые были рассмотрены для восстановления трубопроводов, обладают высокой коррозионной стойкостью и сроком эксплуатации, по сравнению со стальными трубами, что с уверенностью позволяет прогнозировать их длительное и эффективное использование, без изменения исходных гидравлических характеристик трубопроводов, за счет исключения коррозии и других отложений.

4. Для обеспечения потенциального эффекта энергосбережения, при реконструкции ветхих трубопроводов г.Тольятти бестраншейным методом, наиболее перспективными и подлежащими рассмотрению варианты реновации: протаскивание нового трубопровода, в повреждённый старый (с его разрушением и без разрушения); протягивания сплошных полимерных покрытий (метод Феникс), и полимерных труб технологией «Swagelining»; покрытий на основе цементно-песчаных растворов; метод, горизонтально направленного бурения. (ГНБ).

## Глава 3 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ Г.О. ТОЛЬЯТТИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### 3.1 Материалы, применяемые для реконструкции водопроводных систем бестраншейным способом

При реализации технологий бестраншейного восстановления и прокладки подземных инженерных сетей широко используются материалы, в частности: цементно-песчаная смесь, полиэтилен, полимеры.

**Цементно-песчаные смеси.** Материалом являются жидкие цементно-песчаные растворы. Для приготовления смеси используется портландцемент М500 и мелкозернистый кварцевый песок. Фрагменты трубопроводов с нанесенным цементно-песчаным покрытием показаны на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Фрагменты труб с нанесенным цементно-песчаным покрытием

Технология подготовки компонентов смеси включает в себя следующие операции:

- просеивание песка и цемента через сито;
- затаривание в водонепроницаемые емкости.

Минимальная толщина защитного слоя должна определяться диаметром и материалом труб, толщиной их стенок и физическим состоянием (износом).

Эллиптичность труб не должна превышать 0,5% от диаметра, а поражение коррозией не свыше 10% толщины трубы.

Требуемая толщина слоя цементно-песчаного покрытия для стальных трубопроводов, должна соответствовать Техническим Условиям (ТУ) согласованным с заказчиком (эксплуатирующей сети организацией) в установленном порядке (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Минимальные толщины защитного слоя с допусками, в зависимости от диаметра трубопровода

Диаметр трубы, мм	Минимальная толщина слоя, мм	Допуск по толщине слоя, мм
76	4	+2
89	4	+2
102	4	+2
108	4	+2
114	4	+2
133	4	+2
159	5	+2
219	5	+2
273	5	+2
325	6	+2
377	6	+2
426	7	+2
530	7	+2
630	7	+2
720	7	+2
820	9	+2
920	10	+2
1020	11	+2
1220	12	+2
1420	12	+2
1620	14	+2
2020	16	+2

Помимо антикоррозийного защитный эффекта цементно-песчаная покрытие (ЦПП) улучшает и гидравлические свойства трубопровода, т.к. отсутствует наростообразование, отложение. При длительном использовании происходит возникновение на поверхности покрытия гидрофильного скользкого слоя (образован мельчайшими частицами глины и железо-марганцевыми соединениями), который и улучшает гидравлические свойства.

Кроме защиты трубы от разрушения ЦПИ покрытие снижает в содержание оксидов железа в воде, что является не маловажным фактором качества питьевой воды.

**Полиэтиленовые трубы.** Современные технологии не стоят на месте, вследствие чего появляются более надежные и эффективные материалы и способы работы с ними. Рынок полимерных труб в этом смысле не исключение, именно поэтому с каждым годом внедряются всё больше новых систем пластиковых трубопроводов для достижения требуемых результатов водо- и газоснабжения.

На сегодняшний день полиэтиленовые трубы все активнее входят в нашу повседневную жизнь, заменяя старые стальные трубы. Они пользуются такой популярностью благодаря техническим характеристикам, долговечности и надежности. Постоянно растет количество предприятий, которые изготавливают полиэтиленовые трубы, удовлетворяя потребности сегодняшнего рынка. Эти трубы используются также при строительстве питьевых трубопроводов, газопроводов, и т.д.

**Экструзия полиэтилена.** Метод экструзии подразумевает технологический процесс, при котором исходное сырье в жидкообразном состоянии формуется при помощи продавливания через специальную формующую головку – фильеру. Основным предназначением метода экструзии является производство таких погонных изделий как: листы, пленки, профили, трубы и прочее.

Для обеспечения данной процедуры применяются как одношнековые, так и двухшнековые экструдеры. Однако для производства полиэтилена используются только одношнековые экструдеры.

Благодаря своей гладкости полиэтиленовая труба не создает лишних препятствий для потока воды в середине трубы. Их надежность и экологическая безопасность является дополнительными плюсами для выбора именно такого рода труб.

Следует отметить, что спектр использования полиэтиленовых труб на сегодняшний день является очень широким: система канализации в помещениях и под землей, дренажные системы стока, система отвода промышленных сточных вод, при газификации и т. п. Это далеко не полный перечень тех сфер, где используются полиэтиленовые трубы.

Однако большинство разновидностей полиэтиленовых труб сводятся к следующим разновидностям: напорные для холодного водоснабжения, газовые, канализационные, изоляционные.

Важно также, что монтаж или скорее сварка полиэтиленовых труб происходит двумя способами: стыковка (труба к трубе без муфты) и сварка с электронагревателями (труба+муфта+труба). Первый способ считается экономнее, поскольку не нуждается в дополнительном оборудовании. Для сварки же необходимы фитинги и применение электронагревателей.

Полиэтиленовые трубы должны отвечать стандартным требованиям: гладкая внутренняя и внешняя поверхность, незначительная волнистость и продольные полосы, что не выводит толщину стенки трубы за пределы предельных отклонений. На внутренней и внешней поверхности полиэтиленовых труб не допускаются трещины, посторонние включения, раковины, пузыри и т.д.

Очевидными плюсами полиэтиленовых труб в сравнении с другими материалами являются химическая стойкость к агрессивным веществам. Вес

полиэтиленовых труб приблизительно в 7 раз меньше от металлических аналогичного диаметра. Также данные трубы характеризует:

- простота и легкость монтажа (ведь не нужно использовать тяжелую землеройную технику),
- высокая герметичность соединения за счет полифузии,
- сравнительно низкая стоимость строительства трубопроводов,
- высокая морозоустойчивость, ведь замерзшая в трубе вода не разрушит ее, длительный срок эксплуатации,
- невозможность проникновения в воду тяжелых металлов из инсталляции,
- идеально гладкая внутренняя поверхность уменьшает сопротивление потока и предотвращает наросты, что свойственно металлическим трубам,
- высокая эластичность, пластичность и прочность на разрыв.

Современное решение для транспортировки жидкости и природного газа — напорные полиэтиленовые трубы с защитным покрытием (оболочкой) PROSAFE (производитель ЗАО «Техстрой») и ПРОТЕКТ (производитель ГК «Полипластик»). Идея данных трубопроводов заключается в применении более прочного и износостойкого наружного слоя, защищающего «тело» трубы от механических повреждений, причем внутренняя поверхность защитного покрытия и наружная поверхность основной трубы не имеют между собой адгезионной (прим. сцепление поверхностей разнородных твердых и/или жидких тел) связи и при монтаже на необходимых участках трубы может быть легко удалена. К примеру, ранее стандартные пластиковые трубы ПЭ 80, ПЭ 100 ГОСТ 18599-2001 прокладывали как открытым, так и бестраншейным способом, протягивая внутри существующего изношенного трубопровода, либо проколом, при этом на наружной поверхности ПНД-труб зачастую образовывались царапины и задиры. Порезы и царапины в ходе дальнейшей эксплуатации под действием

внутреннего давления приводят к образованию трещин и в конечном итоге — прорыву.



Рисунок 3.3 – Полиэтиленовые трубы с защитным покрытием ПРОТЕКТ и PROSAFE

Применение полиэтиленовых труб с защитным покрытием PROSAFE/ПРОТЕКТ целесообразно в следующих случаях:

- открытая прокладка трубопровода в траншею без использования песчаной засыпки;
- прокладка труб в подвижных и неустойчивых грунтах;
- прокладка методом ГНБ (горизонтально-направленное бурение);
- плужная и роторная укладка;
- релейнинг и других методах реновации.

Основными регламентами при проектировании, строительстве и

эксплуатации полимерных трубопроводов с защитным покрытием (PROSAFE/ПРОТЕКТ) служат аналогичные СНиП и СН предъявляемые к трубам выпущенным по ГОСТ Р 50838-2009 и/или ГОСТ 18599-2001 с учетом некоторых особенностей. Примечательно, что наличие защитного слоя не изменяет характеристик рабочей (основной) трубы.

Полиэтиленовые трубы с защитной оболочкой могут быть использованы при траншейной укладке без использования песчаной засыпки в скальных, крупнообломочных (за исключением валунных), гравийно-галечных, щебенистых и других грунтах с включением вышеуказанных грунтов.

Соединение полиэтиленовых труб с защитным покрытием между собой и фитингами по средствам стыковой сварки в соответствии с действующей нормативной документацией, которая регламентирует процесс сварки полиэтиленовых труб.

При проведении работ по замене существующих трубопроводов с их разрушением, существенно снижается вероятность повреждения новой полиэтиленовой плети острыми металлическими частицами. Еще одним преимуществом защитного слоя является светоизоляция полиэтиленовой трубы, в которой материал оболочки стоек к ультрафиолетовым лучам. Этот факт снижает риск потери эксплуатационных характеристик напорных труб при хранении под открытым небом.

Также трубы с защитным слоем из специального минералонаполненного полиолефина могут быть использованы при протаскивании с разрушением старого трубопровода.

Защитное покрытие трубы позволяет увеличить запас прочности, а значит сопротивляемость нагрузкам, вызванным внутренним давлением, на 15-20%. Кроме этого за счет дополнительного защитного покрытия снижаются пики напряжения на внутренней поверхности трубы, причем величина этого снижения может достигать 50% от напряжения,

наблюдаемого на обычной ПЭ трубе без покрытия. Наружная поверхность защитного слоя гладкая. Для труб, транспортирующих воду (ГОСТ 18599), цвет защитного слоя синий. Для газовых труб (ГОСТ Р 50838), цвет защитного слоя желтый.

Труба с покрытием обладает следующими преимуществами:

- небольшой вес труб, легкость транспортировки;
- сокращается стоимость строительно-монтажных работ, даже при традиционных методах укладки трубопроводов;
- высокая стойкость к любым видам коррозии и отсутствие отложений;
- повышенная, по сравнению с обычной полиэтиленовой трубой, термо- и светостойкость;
- срок эксплуатации до 100 лет;
- высокая стойкость к воздействию точечных нагрузок (камни, щебень и т. п.);
- возможность применения бестраншейных технологий;
- прочность сварных соединений равна или превосходит прочность самих труб;
- компенсация подвижек грунта, вплоть до сейсмических.

Труба идеально подходит для бестраншейных технологий.

**Полимерные рукава.** В 1971 г. в районе Хакни (Лондон) под руководством Э.Вуда был произведен монтаж первого гибкого полимерного рукава.

В 1975 г. в Европе подана заявка на патент «Технология **Insituform**» следующего содержания: Метод облицовки пропускной трубы негнущейся трубой, которая формируется пропитанным смолой войлоком, который является несущим материалом.

Пропитанный смолой войлочный каркас формирует гибкий рукав, который соответствует внутреннему диаметру ремонтируемой трубы. Смола затвердевает и формируется прочная, негнувшаяся труба.

В 1977 г. в США был выдан патент на технологию **Insituform**.

В 1982 г. была впервые выполнена санация дюкера с применением гибкого полимерного рукава в г. Любек (Германия).

В 1985 г. был произведен монтаж первого полимерного рукава для промышленного применения, отверждающегося при воздействии УФ-излучения (Ludwigshafen/Rhein), разработанного совместно BASF и kebaco (Insituform).

Сегодня в распоряжении инженеров-строителей, специализирующихся на ремонте трубопроводов, находятся различные типы гибких полимерных рукавов с различной полимерной основой и различными технологиями затверждения. Прежде всего, различают:

- полимерные рукава на основе синтетического войлока;
- полимерные рукава, армированные стеклотканью;
- полимерные рукава, армированные специальными структурами (комплексами) из стекловолокна.

Родоначальником технологии применения гибких полимерных рукавов для ремонта трубопроводов стал Эрик Вуд (Eric Wood) – английский инженер, работавший в сельском хозяйстве.

Полимерной основой современных рукавов являются:

- ненасыщенные полиэфирные смолы (UP-Harz);
- смолы на основе сложных виниловых эфиров (VE-Harze);
- эпоксидные смолы (EP-Harze).

Отверждение рукава производится в результате фотохимического (ультрафиолетовое излучение) или температурного воздействия (пар или горячая вода).

Благодаря многообразию исходных компонентов и технологических приемов мы имеем на рынке многообразие полимерных рукавов, которые при детальном рассмотрении могут отличаться друг от друга в большей или меньшей степени.

Поэтому, выбор конструкции рукава и технологии отверждения необходимо производить с учетом состояния и технических характеристик санируемого трубопровода, не упуская из виду стоимостной аспект.

Очень часто на выбор типа полимерного рукава оказывает влияние скорость производства работ, поскольку часто организация стройплощадки оказывает серьезное влияние на дорожное движение, работу магазинов и комфорт населения.

Полимерный рукав – композитный материал. Представленные на рынке рукава – это продукты химической промышленности, поскольку практически все используемые при их производстве материалы выпускаются предприятиями химической промышленности или предприятиями-смежниками. Полимерный рукав является композитным материалом, поскольку здесь имеет место механическое соединение волокон и полимерной смолы.

В результате затвердевания смолы образуется полимерный материал (дуромер), который выполняет функцию связующего (обволакивает и защищает волокна).

#### **Используемые волокна и текстильное сырье. Полимерные рукава на основе искусственного войлока.**

Для производства искусственного войлока используются текстурированные волокна из полиэтилентерефталата (PES- или PET-Faser) длиной 50 – 80 мм. Вес отдельной нити: 6 – 28 дтекс (что соответствует 6 – 28 г/10000 м); диаметр 25 – 50 мкм (плотность PET-волокна 1,38 г/см<sup>3</sup>).

Из этой нити можно получить искусственный войлок плотностью 0,1 – 0,25 г/см<sup>3</sup> (100 – 250 г/л).

Волокна составляют 10 – 20 % объема искусственного войлока. Оставшийся объем может заполняться полимерной смолой.

Искусственный войлок, используемый для изготовления гибких полимерных рукавов большой длины, для защиты от механического истирания покрывается либо полиолефиновым, либо полиуретановым (PUR) покрытием. Покрытия наносят толщиной 200 – 500 мкм.

При производстве рукавов малых диаметров доминируют полиуретановые покрытия, поскольку они более мягкие и хорошо гнутся.

При производстве рукавов больших диаметров применяют, обладающие большей химической и механической прочностью полиэтиленовые покрытия.

#### **Полимерные рукава на основе стекловолокна.**

В случае полимерных рукавов на основе стекловолокна достигается ярко выраженное механическое усиление конструкции.

При производстве рукавов используют стекловолокна Е-Типа (Elektro-Glas) и ECR-типа (E-Glass Corrosion Resistant), которые отличаются по химическому составу, химической стойкости и, часто на порядок, по стоимости.

Стекловолокно типа ECR в большинстве сред существенно устойчивее, чем стекловолокно Е-типа. Наиболее явно эти свойства проявляются в кислотной среде: Если опустить два образца стекловолокна на 24 часа в 10% раствор серной кислоты (предварительно удалив наружные органические слои), то стекловолокно Е-типа теряет 24 – 41% массы, а ECR-типа всего лишь 2%. Поэтому при производстве гибких полимерных рукавов стекловолокну ECR-типа отдают предпочтение.

Стекловолокно применяется в виде армирующей стеклоткани или комплекса — различных по технологии изготовления изделий из стекловолокна с заданной структурой. Конструкция комплекса обеспечивает

эластичность рукава перед отверждением и его механические свойства после затвердевания.

Желательно, чтобы в исходном состоянии рукав обладал эластичностью в радиальном направлении и, по возможности, сопрягался с поврежденной коррозией и ударными воздействиями поверхностью старого трубопровода. Растяжение в осевом направлении, напротив, должно быть минимальным, чтобы исключить остаточные деформации, обусловленные нагрузками при затягивании рукава в старый трубопровод.

Механические свойства рукава на основе стекловолокна существенно зависят от согласованности технических характеристик смолы и стекловолокна, качества пропитки, коэффициента армирования и качества монтажа.

Необходимо отметить, что при производстве рукавов на основе стекловолокна также используются полиэтиленовые волокна и полиэтиленовые ткани. Так стеклоткань и стеклотканевые комплексы прошиваются в основном полиэтиленовыми волокнами. Кроме того, конструкция некоторых рукавов предусматривает наличие внутреннего полиэтиленового слоя, выполненного из нетканого полиэтиленового холста, который увеличивает устойчивость рукава к гидродинамическим нагрузкам.

### **Полимерная основа рукавов.**

Применяемые при производстве гибких полимерных рукавов смолы, позволяют производить пропитанные в заводских условиях рукава с длительным сроком хранения для всех технологий затвердевания, что позволяет избежать пропитки рукавов на стройплощадке и, как следствие, связанных с этим трудоемким процессом проблем.

Применяемые сегодня в Германии смолы на основе изофталевой кислоты и неопентилгликоля (“Iso-Neo-Harze”, тип А) и смолы на основе ортофталевой кислоты и неопентилгликоля (“ortho-Neo-Harze”, тип В)

отличаются высокой устойчивостью к большинству коммунальных сточных вод (в большинстве своем кислотным).

Отметим, что смолы на основе изофталевой кислоты и пропиленгликоля в большом количестве используются в США. Американцы отказываются от относительно дорогого неопентилгликоля и используют смолы с меньшей химической стойкостью и устойчивостью к гидролизу.

Причиной кислотного характера сточных вод является образование серной кислоты бактериями (биогенная серная кислота). По этой причине ненасыщенные полиэфирные смолы стали «рабочими лошадками» для гибких полимерных рукавов. С точки зрения химической устойчивости смолы типа А и В одинаковы; они отличаются только в деталях:

Смола типа А более вязкая. При испытании на растяжение материал демонстрирует существенно более высокую способность к растяжению и прочность на растяжение.

Смола Типа В затвердевает быстрее и оценивается незначительно дешевле.

Эпоксидные смолы, по сравнению с содержащими стирол ненасыщенными полиэфирными смолами и смолами на основе сложных винилов, обладают более слабым запахом. Они выделяются своей отличной устойчивостью к химическим нагрузкам и отличной адгезией к большому количеству субстратов. Поэтому они незаменимы при ремонте примыканий к коллекторам. Тем не менее, композиции эпоксидных смол и аминов обладают коротким временем жизни (несколько часов), которое, тем не менее, позволяет приготовить композицию и произвести пропитку рукава на стройплощадке.

Другим слабым местом эпоксидных смол, которое следует упомянуть: у многих людей после многолетних контактов с эпоксидными смолами выявляют аллергические болезни.

Винилэфирные смолы (VE) с точки зрения структурной химии – соединения ненасыщенных полиэфиров и эпоксидов. Их устойчивость к химическим нагрузкам существенно выше, чем у ненасыщенных полиэфиров. Устойчивость не хуже, чем у эпоксидных смол.

Это очень важно при контакте с:

- щелочными средами;
- горячими сточными водами;
- отбеливающими составами;
- алифатическими и ароматическими углеводами.

При всех этих воздействиях они мало склонны к впитыванию/набуханию и демонстрируют незначительные потери жесткости и прочности. Поэтому эти смолы используются в основном для пропитки рукавов, предназначенных для ремонта сетей промышленных предприятий, и в особенности нефтеперегонных заводов и предприятий по производству сахара.

Их устойчивость к образованию трещин, например, при длительном воздействии вибраций, является дополнительным аргументом для использования в промышленности.

Винилэфирные смолы требуют в качестве реактивного разбавителя стирол. Они затвердевают по радикальному механизму. При этом можно использовать все известные технологии, используемые для затвердевания ненасыщенных полиэфиров.

Использование винилэфирных смол, как и ненасыщенных полиэфиров, позволяет производить пропитку рукавов в заводских условиях.

#### **Инициаторы (катализаторы), наполнители и добавки.**

Типовая рецептура смолы, которая используется для пропитки искусственного войлока и стеклоткани имеет приблизительно следующий вид:

Ингибиторы предназначены для обеспечения стабильного состояния смолы до и после пропитки рукава, чтобы исключить нежелательное гелеобразование перед температурным или фотохимическим затвердеванием. Для этих целей применяют в первую очередь небольшие количества производных гидрохинонов и пара-бензохинонов. В качестве акцепторов-радикалов ингибиторы являются «противниками» инициаторов, которые под воздействием тепла или фотохимической реакции становятся источником радикалов.

Радикалы – это высокореактивные химические соединения с коротким временем жизни с одним непарным электроном, которые необходимы для затвердевания ненасыщенных полиэфирных и винилэфирных смол.

В качестве температурных инициаторов используют так называемые пероксиды. А из следующих классов материалов часто применяют перэфиры, перкарбонаты, перкеталы и акриловые пероксиды. В большинстве случаев используют два химически разных пероксида, чтобы быть уверенным в том, что при использовании для отвердевания горячей воды (55 — 85°C) и водяного пара (55 — 115°C) будут выделяться активные радикалы. Кроме того, радикалы должны образовываться после затвердевания, когда еще поддерживается максимальная температура, чтобы обеспечить по возможности уменьшить остаточное содержание стирола.

Эта задача решается с помощью двух пероксидов, один из которых начинает функционировать при низких температурах, а второй — при высоких.

Фотоинициаторы используются для затвердевания при ультрафиолетовом излучении.

Здесь также используют два пероксида: акрилфосфиноксид является источником радикалов при воздействии излучения длиной волны 370 – 420 нм, другой инициатор выделяет радикалы при длине волны 370 – 420 нм.

Широко используется комбинация инициаторов Irgacure 819 (BASF/Ciba) и Irgacure 651 (BASF/Ciba).

Главная задача производителя состоит в том, чтобы согласовать количество используемых инициаторов, поскольку от этого зависит качество затвердевания рукава.

В случае термически отверждаемых рукавов необходимо использовать химически устойчивые наполнители. Они служат, прежде

всего, для снижения максимальной температуры при затвердевании. Причина: при термическом затвердевании за счет выделения тепла при химической реакции пиковые значения температуры могут достигать значений более 230°C, что может привести к термическому повреждению дуromера (появлению трещин).

Этого избегают за счет добавления ограниченного количества (максимум до 50 частей) наполнителя. Наполнитель должен препятствовать самонагреву рукава и, как простое вещество, нагреваться от отверждаемой смолы.

Кроме того, наполнители выполняют и другие функции:

- Наполнители с малым размером зерна в количествах до 30 единиц повышают устойчивость отверждаемого вещества к образованию трещин.
- Правильный выбор наполнителя позволяет повысить модуль упругости, что для полимерных рукавов на основе синтетического войлока имеет большое значение, поскольку полиэфирные волокна не добавляют механической прочности рукаву.
- Наполнители уменьшают усадку рукава при затвердевании, и связанные с этим внутренние напряжения.

Наполнители снижают стоимость композиции пропорционально их процентному содержанию в объеме. Поскольку их объемное содержание не высоко и при производстве рукавов используются относительно дорогие материалы (ввиду требований к высокой химической устойчивости), то

«стоимостной» выигрыш от применения наполнителя незначителен. Кроме того, наполнители замедляют и затрудняют пропитку синтетического войлока и комплексов из стекловолокна, так, что экономия средств на материале приводит к появлению сложностей при монтаже рукава, что сводит на нет все выгоды.

На практике, в качестве наполнителей применяют силикаты алюминия, кварцевую муку и прежде всего гидрат оксида алюминия (АТН).

Очень дешевый, и используемый в виде тонкого помола мел (карбонат кальция), не применяется в виду нестабильной химической устойчивости.

Если говорить о добавках, используемых для управления технологическим процессом, то это полимерные субстанции, активные на пограничных поверхностях, которые улучшают сшивку стекловолокна, синтетических волокон и наполнителей, и вентиляционных аддитивах, облегчающих выход воздуха из текстильных слоев и войлока, а также ускоряющих этот процесс.

В группу других добавок входят:

- Аддитивы, улучшающие тиксотропные свойства смол. Они используются для регулировки вязкости смолы при хранении;
- Ускорители для повышения реакционной способности температурных инициаторов при низких температурах.
- Небольшие добавки стирола, которые добавляются в смолу для понижения вязкости (облегчение пропитывания).
- Загустители  $MgO$  или  $Mg(OH)_2$  переводят жидкие ненасыщенные полиэфирные смолы (с помощью медленной кислотно-щелочной реакции) в материал, напоминающий кожу.

Сегодня ремонт трубопроводов трудно представить без специальных полимерных пленок и рукавов.

Эти материалы призваны решать следующие задачи:

- Защита рукава от внешних воздействий

(Preliner).

- Облегчение протягивания рукава в старый трубопровод.
- Наружное и внутреннее обрамление рукава.

Везде, где пленка вступает в непосредственный контакт со смолой, используется полиамид-полиэтиленовая пленка или полиэтилен – полиамид – полиэтилен пленка.

Обычно толщина пленки колеблется в интервале 80 – 250 мкм. В качестве альтернативы полиамиду в качестве изолирующего от стирола слоя в пленке может использоваться полиуретан.

Часто рукава на основе стекловолокна выпускаются с двумя изолирующими слоями пленки: сначала полиамид-полиэтиленовая, а затем механически прочная защитная пленка, которая в случае рукавов, отверждаемых ультрафиолетовым излучением обеспечивает дополнительную защиту от проникновения излучения, и которая может иметь дополнительный отражающий экран.

Очевидно, что большая часть ноу-хау производителей рукавов лежит в плоскости выбора материалов, рецептур и технологии монтажа.

Важнейшие аспекты технологии:

- Выбор и согласование инициаторов.
- Выбор и согласование рецептуры.
- Производство и выбор стеклотканевого комплекса.
- Выбор различных пленок, а также технологии пропитки и производства рукава.
- Оптимизация рукава в части скорости прокладки, скорости затвердевания, герметичности, разгрузки-погрузки на стройплощадке и т.д.
- Разработка технологических карт применительно к конкретному объекту.

**Технологии отверждения полимерного рукава.**

Полимерные рукава на основе синтетического войлока практически всегда оснащены термическими инициаторами. Раньше отверждение полимерных рукавов производилось почти всегда с использованием горячей воды температурой 80-85°C. Сначала вода выполняет функцию нагревания, а после начала экзотермической реакции – функцию охлаждения – тем самым она управляет реакцией отверждения. В последние годы отверждение рукавов на основе синтетического войлока все чаще используется водяной пар (максимальная температура пара около 110-115°C). Для этого разрабатывают специальные комбинации инициаторов. Целью этих мероприятий является сокращение времени затвердевания. При использовании горячей воды на затвердевание требуется более 24 ч, а с помощью пара это время можно сократить до нескольких часов.

Для отверждения рукавов с использованием ультрафиолетового излучения сегодня используют (пока) исключительно ртутные газоразрядные лампы (легированные железом или галлием, чтобы смещать длинноволновый спектр излучения). В большинстве случаев отдельные лампы имеют мощность 400 Вт или 1000Вт.

Новые системы управления лампами позволяют адаптировать облучение к конкретному рукаву.

*г. Гамбург. Монтаж полимерных рукавов на основе искусственного войлока (пропитка – эпоксидная смола)*

В течение последних лет проводятся обширные исследования со светодиодами, излучающими в ультрафиолетовом диапазоне спектра (длины волн 365 нм или 395 нм).

Одним из преимуществ этих источников излучения является то, что они излучают холодный свет и благодаря этому термические нагрузки на внутреннюю пленку, а также энергозатраты источника электрического тока уменьшаются.

Кроме того, светодиоды позволяют производить модули источников излучения по индивидуальному заказу. С появлением на рынке этих модулей в ближайшее время можно будет рассчитывать на их использование в областях, где не требуется использования высоких и очень высоких мощностей излучения, поскольку в этих областях еще долго будут использоваться ртутные газоразрядные лампы.

Отверждение с использованием ультрафиолетового излучения имеет целый ряд преимуществ по сравнению с температурным воздействием:

- Высокая скорость затвердевания, в особенности при малых и средних толщинах рукава.

- Затвердевание рукава без возникновения статических напряжений. Затвердевание производится от одного конца к другому, а поэтому большая часть аксиальной усадки, обусловленной затвердеванием, (в осевом направлении рукава), за счет растяжения или «подтягивания» еще не отвержденной части рукава выравнивается. При температурном затвердевании это невозможно, поскольку затвердевание рукава почти всегда производится по всей длине.

- Относительно меньше помех отверждению при искривлении трубопровода относительно линии горизонта. При отвердевании с использованием горячей воды воздух может собираться в местах верхних изгибов трубопровода (местах, где трубопровод или часть трубопровода находится выше всей остальной трубы). В результате передача тепла затрудняется. При затвердевании паром аналогичный эффект наблюдается в нижней точке трубопровода (там собирается конденсат и вызывает охлаждение пара, чем замедляет затвердевание). Тем не менее, следует отметить, что предприятия, имеющие опыт монтажа рукавов с термическим затвердеванием, разработали ряд технологических приемов, используя которые можно существенно снизить негативное воздействие данного эффекта.

- Технологическое оборудование размещается чаще всего на одном грузовике, на котором монтируется источник ультрафиолетового излучения, автономный источник бесперебойного питания и система управления излучением.

- При ультрафиолетовом отверждении к цепи источников излучения присоединяется, как правило, ТВ-камера, которая протягивается внутри рукава, проверяет наличие складок и позволяет внести коррективы в процесс.

- При ультрафиолетовом затверждении не сопровождается образованием дополнительных сточных вод, поскольку для транспортировки тепла вода не требуется.

- Пропитанные смолой «чистые» рукава, отверждаемые ультрафиолетовым излучением, в течение нескольких месяцев могут храниться на складе. Это облегчает экспорт морским путем. Рукава, отверждаемые в результате температурных воздействий, до монтажа необходимо постоянно охлаждать до определенной температуры (0 — 15°C) и хранить, как правило, не более 3 недель.

На основании всех этих фактов использование полимерных рукавов с ультрафиолетовым затверждением для ремонта трубопроводных сетей стало технологией, которой отдают предпочтение. Эта технология все чаще используется, нежели другие технологии затверждения.

### **Свойства композитных материалов.**

Коротко о механических свойствах:

Полимерные рукава на основе синтетического войлока:

- Модуль упругости (в зависимости от наполнителя и его процентного содержания):

3500 – 4000 Н/мм<sup>2</sup>;

- Коэффициент редукации: 2;

- Прочность на изгиб: обычно 36 – 38 Н/мм<sup>2</sup>; • Склонность к текучести через 24 часа: 8-12%.

При сравнении рукавов на основе стекловолокна разных производителей их механические характеристики рукавов можно сравнивать только тогда, если содержание стекловолокна в рукаве одинаково или близко.

Рукава с 35% содержанием стекловолокна:

- Модуль упругости минимум  $7000 \text{ Н/мм}^2$
- Коэффициент редукиции: 1,8;
- Прочность на изгиб: мин.  $60 \text{ Н/мм}^2$
- Склонность к текучести через 24 часа: 6 – 7%;

Рукава с 48% содержанием стекловолокна:

- Модуль упругости минимум  $12000 \text{ Н/мм}^2$
- Коэффициент редукиции: 1,35;
- Прочность на изгиб: мин.  $250 \text{ Н/мм}^2$
- Склонность к текучести через 24 ч: 4,4 %;

**Контроль качества.** Современный процесс восстановления трубопровода на всех этапах производства работ сопровождается контролем качества:

- При закупке сырья (стекловолокно или стеклоткань, смола, наполнители, пленки, холсты и вспомогательные материалы).

- Во время изготовления (герметичность, вес единицы площади, содержание стекловолокна).

- Проверка готовой продукции (длина рукава, толщина стенки, вес единицы площади, характеристики процесса затвердевания, кольцевая жесткость, модуль упругости, твердость по Барколу, герметичность, визуальная оценка).

- Кроме того, производятся стандартные отраслевые испытания рукава после монтажа.

**Актуальные аспекты исследований и разработок.** Усилия исследователей и разработчиков во всех предприятиях направлены

преимущественно на постоянное улучшение компонентов и деталей изделия и технологии. К ним относятся:

- Повышение скорости затвердевания и ускорение монтажных работ.
- Упрощение и облегчение исполнения технологических операций и монтажа на стройплощадке.
- Улучшение герметичности рукава.
- Улучшение надежности используемых пленок.
- Улучшение соотношения цена/качество.

Кроме того, существует большее количество стратегических задач, которые в связи с их комплексным характером могут быть решены только в долгосрочной перспективе и которые должны решаться не на уровне предприятий, а на уровне отрасли.

#### *Монтаж рукава фирмой KMG*

Здесь можно выделить следующие темы:

- Рукава на основе полимерных волокон демонстрируют большое количество волосяных трещин, что является следствием осевых напряжений при отверждении и отсутствия упрочняющего действия искусственного войлока. При использовании для отвердевания пара этот эффект усиливается. За счет оптимизации рецептуры и технологического процесса количество трещин можно существенно уменьшить.

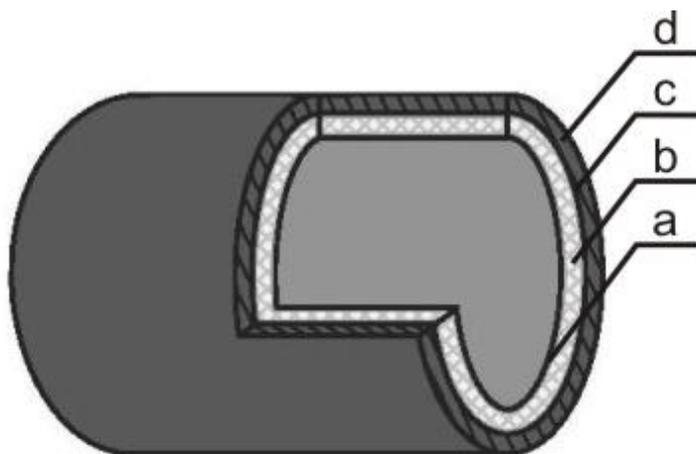
- Отверждаемые ультрафиолетовым излучением рукава больших диаметров хорошо затвердевают внутри и в середине ламината, но не на краях рукава. Поскольку туда доходит меньше излучения, старый трубопровод охлаждает рукав, кислород воздуха воздействует на механизм отверждения с помощью радикалов как ингибитор, если воздух через складки проникает вовнутрь рукава.

- Для устройства примыканий незаменимы эпоксидные смолы, поскольку обладают отличными склеивающими свойствами. Две системные проблемы еще не преодолены: уже озвученная проблема с аллергией

персонала и срок службы/эксплуатации этих соединений, который существенно меньше, чем срок службы устанавливаемого рукава.

*Современные рукава – это тщательно продуманные и детально проработанные строительные продукты. Отрасль уже более 40 лет стремится к упрощению технологии, снижению временных затрат и снижению стоимости при санации трубопроводов.*

Типовая конструкция рукава представлена на рисунке 3.2.



a – внутренняя защитная пленка; b – композитный материал (смола в основе/армирующем слое); c – наружная защитная пленка; d – старый трубопровод

Рисунок 3.2 – Типовая конструкция гибкого полимерного рукава

В настоящее время в г. Тольятти используются различные варианты гибких рукавов, примеры которых представлены на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Гибкие рукава

Применяются относительно недорогие методы прямого протаскивания полимерных рукавов в ремонтируемый трубопровод.

Использование при производстве рукавов современных композитных материалов, имеющих значительно более высокий модуль упругости, чем, например, ПЭ-80 или даже иглопробивные стекломаты ( $10000 \text{ N/mm}^2$  против  $800 \text{ N/mm}^2$  и  $2800 \text{ N/mm}^2$  соответственно) обеспечивает – более низкую потребную толщину стенки. Это влечет за собой снижение веса рукава, что заметно облегчило сам процесс санации.

Метод обеспечивает высокую скорость проведения работ (производительность реконструкции методом рукава достигает 300 м/сут). Отсутствует необходимость создания котлованов и расширения колодцев. Позволяет проводить реконструкцию участков большой протяженности, причем непрерывно.

**Предлагаемая технология.** Для бестраншейного восстановления наружных и магистральных сетей питьевого и технического водоснабжения DN 100-1500 мм в г. Тольятти возможно применение мягкого полимерного рукава Aarsleff CIPP (PAA-PSL-Liner®), пропитанного эпоксидной смолой и армированный стекловолокном. Установка рукава осуществляется при помощи инверсионной вышки и воды или воздуха (рис. 3.4). Например, мягкий полимерный рукав Aarsleff CIPP для труб DN до 550 мм может быть проложен посредством выворачивания с помощью камеры повышенного давления инверсионного робота. Затем в полимерный рукав подается горячий пар для полимеризации.

Применение полимерного рукава Aarsleff возможно при (табл. 3.2):

- стесненной жилой застройке;
- наличии исторических памятников и культурных объектов;
- наличии оживленных автомагистралей и железнодорожных узлов;
- трудных участках с изгибами и изменением диаметра;
- использовании на территории промышленных предприятий.

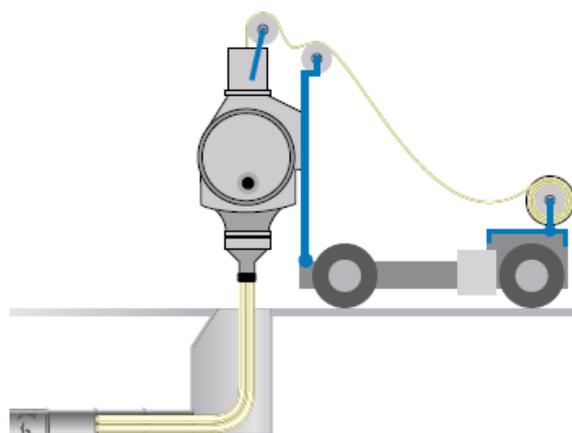
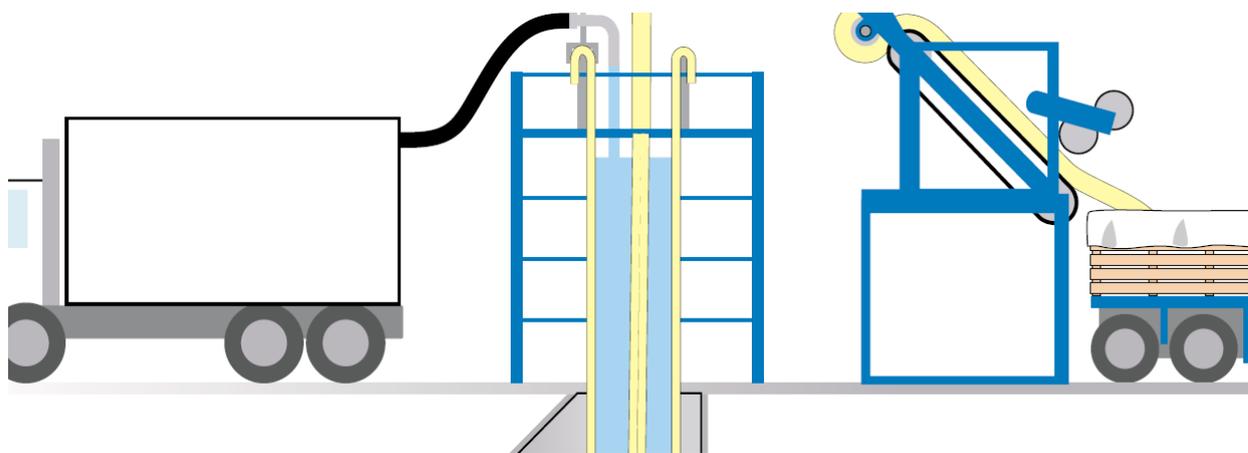


Рисунок 3.4 – Технология выворачивания мягкого полимерного рукава Aarsleff CIPP

Таблица 3.2 – Технологические особенности санации водопроводов рукавом Aarsleff CIPP

№ п/п	Основные характеристики	Значение параметра
1	Назначение трубопровода	Техническое и питьевое водоснабжение
2	Материал восстанавливаемого трубопровода	Сталь, чугун, ж/б, пластик и др.
3	Рабочее (при испытании) давление	До 10 (13) бар
4	Толщина стенки рукава	До 27 мм
5	Применяемые диаметры	200-1500 мм
6	Длина участков	20-300 м
7	Сечение трубопровода	Круглое, эллипсообразное, прямоугольное и пр.
8	Углы поворота	15°-45°

Полимерный рукав Aarsleff CIPP представляет собой пропитанный смолой мягкий рукав, который посредством выворачивания вводится в старую изношенную трубу. После размещения рукава в трубопроводе производится его полимеризация (отверждение) с помощью пара или воды. Полимерный рукав Aarsleff CIPP имеет расчетный срок службы – 100 лет.

С помощью мягкого полимерного рукава Aarsleff CIPP восстанавливается целый участок водопровода (от колодца до колодца). Данные рукава являются независимыми несущими конструкциями и учитывают параметры нагрузки грунтовых вод, грунта и дорожного движения над ними.

Полимерные рукава выполняются из нескольких слоев кислотоупорного полиэфирного волокна (войлока). Полиэфирное волокно поставляется в виде широких рулонов, которые разрезаются по ширине с тем, чтобы они соответствовали окружности конкретных полимерных рукавов. Разрезанный нетканый войлок затем вводится в специально сконструированную швейную машину, в которой он складывается и прошивается. **Конечный внешний слой рукава представляет собой войлочный слой с полипропиленовым покрытием.**

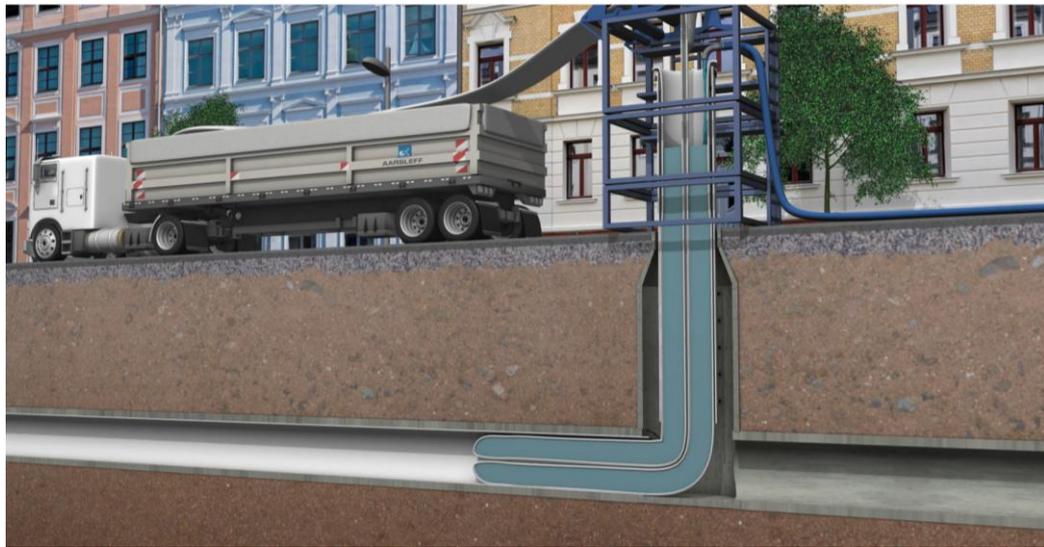
Пропитка рукавов полиэфиром, винилэфиром или эпоксидной смолой выполняется под вакуумом. Тип смолы выбирается по эксплуатационным характеристикам трубопровода с новым полимерным рукавом. В смолы добавляются различные химикаты для обеспечения надлежащей полимеризации и длительного срока службы нового полимерного рукава. Когда соответствующая смола будет смешана и ее качество проконтролировано, начинается процесс пропитки. С помощью соответствующего датчика точно отмеренное количество смолы медленно закачивается в полимерный рукав, который уже находится под воздействием вакуума. Затем эпоксидная смола равномерно распределяется по всему рукаву посредством протягивания (выжима) этого рукава через систему

валиков. После пропитки полимерные рукава упаковываются в лёд для замедления процесса полимеризации при хранении. Весь производственный процесс проходит под лабораторным контролем специалистов контроля качества (рис. 3.5).

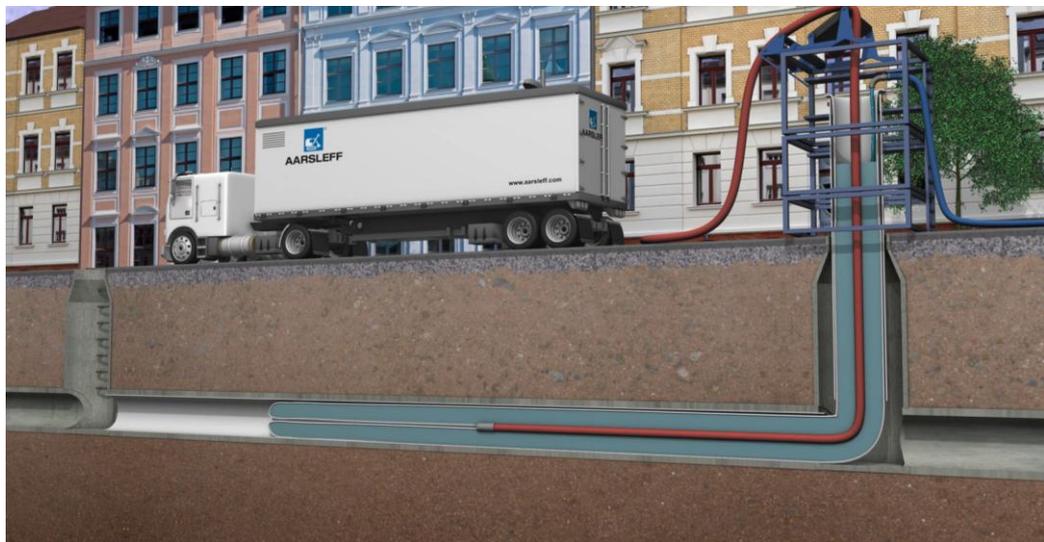


Рисунок 3.5 – Процесс производства полимерного рукава

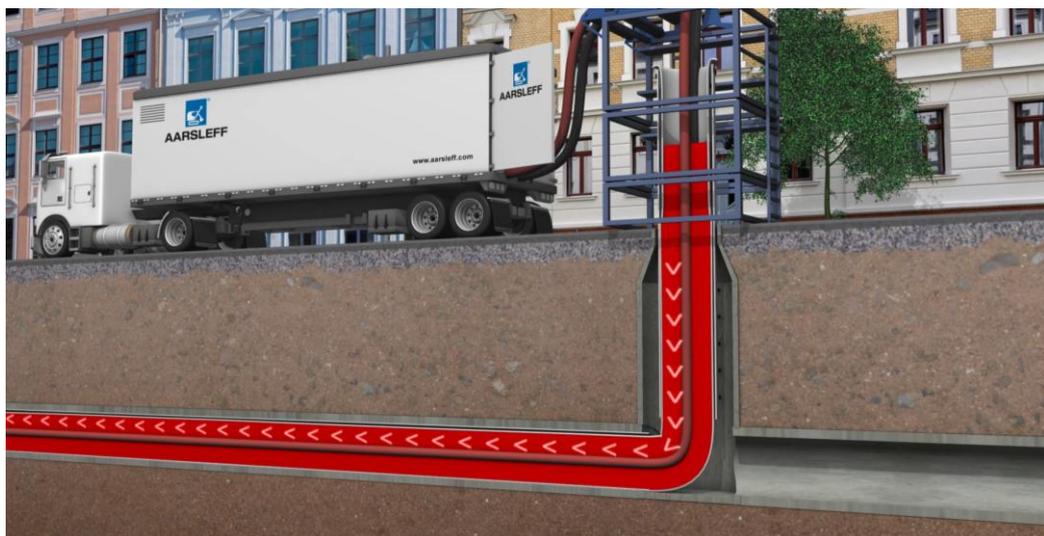
**Технология установки.** Для установки полимерных рукавов Aarsleff CIPP применяется принцип выворачивания полимерного рукава в уже существующий изношенный трубопровод с помощью давления воды или воздуха. Процесс выворачивания, в противоположность протягиванию полимерного рукава через трубу, позволяет избежать отрыва или смещения сегментов старой изношенной трубы (кусков ржавчины, частиц бетона и пр.), следствием чего может стать деформация самого полимерного рукава. Полимеризация (отверждение) материала гибкого полимерного рукава происходит с помощью горячей воды или пара (рис. 3.6).



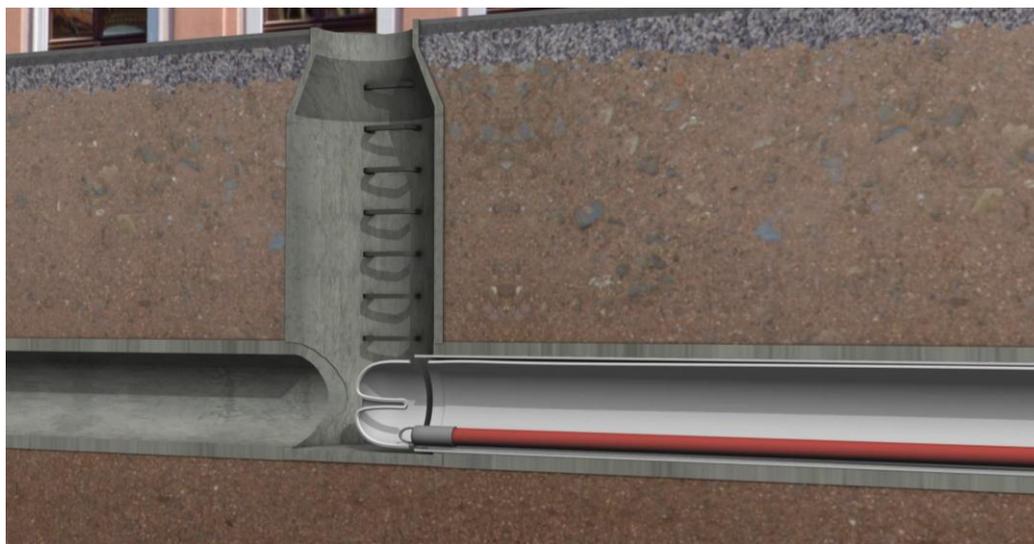
Процесс выворачивания гибкого полимерного рукава



Процесс протягивания нагревательного трубопровода



Полимеризация гибкого полимерного рукава нагревом воды



### Обрезка рукава и снятие нагревательного трубопровода

Рисунок 3.6 – Производство работ по ремонту участка водопровода

Длина поставляемого рукава может быть изготовлена до 900 м для одной установки, что соответствует почти максимальной нормативной длине магистрального ремонтного участка водопроводной сети. С помощью гибкого полимерного рукава Aarsleff CIPP можно восстанавливать трубы всех видов профилей – круглые, овальные и короба. Способ установки рукава выбирается в соответствии с конкретными условиями на месте производства работ по требованиям соответствующего проекта. В случае труб большого диаметра или трубопроводов, где просачивание грунтовых вод вызывает охлаждение полимерного рукава, рукав обычно выворачивается и полимеризуется с помощью воды. Дюкеры на дне рек, каналов или в акватории порта всегда ремонтируются посредством выворачивания рукава с помощью давления воды. Рукава в других трубопроводах могут выворачиваются с помощью давления сжатого воздуха.

### **Лабораторные исследования при производстве.**

Гибкие рукава Aarsleff CIPP исследуются в современной лаборатории, в которой проводятся испытания как сырьевых материалов, так и конечных изделий. Применяются сырьевые материалы только высокого качества. Процедуры испытаний, выполняемых в лаборатории, включают в себя, например, тесты на вязкость и время затвердевания смол, на их прочность, на

растяжение полиэфирных нетканых материалов войлока рукава. Так же, испытывается прочность и устойчивость уже затвердевшего полимерного рукава. Испытания проводятся произвольно выбранных проб из уже восстановленных труб с реализованных объектов.

Расчетный срок службы мягкого полимерного рукава Aarsleff CIPP (около 100 лет) документально подтвержден результатами испытаний, выполненных лабораторией, в сотрудничестве с муниципалитетом г. Орхус и Датским институтом технологий, а также долгосрочными испытаниями вновь установленных полимерных рукавов, и взятием проб от полимерных рукавов, находящихся в эксплуатации более 15 лет. Более чем 20 000 часов испытаний, проведенных в течение трех лет, документально подтвердили расчетный срок службы изделий (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Испытание рукава на разрыв и прочность после полимеризации

**Качество продукции и воздействия на окружающую среду.** К продукции компании Aarsleff Pipe Technologies предъявляются жесткие требования по качеству, по защите окружающей среды и соблюдению надлежащих производственных условий. Система контроля качества сертифицирована по стандартам ISO качества независимыми экспертами и в соответствии с Датскими стандартами. Постоянно обновляются системы контроля и управления по сети интранет (внутренней корпоративной сети), в которой каждый работник компании может найти подробные технические характеристики всех процессов, касающихся, например, самих изделий, производства, организации, защиты окружающей среды и безопасности.

Компания Aarsleff Pipe Technologies сертифицирована в полном объеме: по коммерческим продажам, продукции, производству и менеджменту выполнения проектов «под ключ» в соответствии с требованиями DS/EN ISO 9001. Помимо этого, Aarsleff Pipe Technologies обладает сертификатом по защите окружающей среды в отношении разработки своих изделий, производству, проведению лабораторных анализов и по логистике для бестраншейного ремонта и восстановления трубопроводов в соответствии с требованиями DS/EN ISO 14001. В Дании Aarsleff Pipe Technologies является членом организации CSPR (Схема контроля для восстановления трубопроводов), а в России — членами РОБТ (Российского общества по внедрению бестраншейных технологий). Это означает, что мягкие полимерные рукава Aarsleff CIPP отвечают всем требованиям подлежащим декларированию, соответствуют контролю как краткосрочных, так и долгосрочных свойств материалов изделий, текущим испытаниям производственных процессов и т.д. Документирование и отслеживание (оперативный контроль) процессов обеспечиваются регистрацией всех данных с производственных участков, а также с результатов лабораторных испытаний, которые хранятся в центральной базе данных для последующей обработки и анализа. Aarsleff Pipe Technologies является международной компанией, и поэтому мягкие полимерные рукава Aarsleff CIPP соответствуют положениям как международных, так и национальных требований, и стандартов тех стран, в которых применяется данная технология. Такими странами являются, например, Швеция, Финляндия, Польша, Россия, Эстония, Латвия и Литва.

### **3.2 Сравнительные показатели материалов, применяемые для реконструкции водопроводных сетей бестраншейным способом**

Обеспечение надежности водопроводной сети является важнейшей задачей при осуществлении выбора и обосновании вариантов реновации в условиях эксплуатации. При этом важнейшую роль играют технические,

экономические, эксплуатационные и социальные факторы.

Целесообразность дальнейшей эксплуатации водопровода обусловлена сроком окончания экономического периода службы, вне пределов которого затраты на его эксплуатацию начинают превышать потенциально возможные затраты на его восстановление (перекладку или санацию), при этом уровень надежности уже не соответствует требуемому или принятому нормативу.

Технологическая целесообразность эксплуатации водопровода в его текущем состоянии обусловлена окончанием технического срока службы, при котором его техническое состояние, прочность и гидравлика, а также показатели качества подаваемой воды уже недостаточны и не соответствуют требованиям или принятым нормативам.

Сравнительные показатели материалов, применяемые для реконструкции водопроводных сетей бестраншейным способом представлены в табл. 3.3.

В настоящее время рынок предлагает разнообразные материалы для восстановления трубопроводов. Инженерные коммуникации являются особой сферой, требующей более детальной и тщательной проработки при принятии окончательного решения по реновации. При неправильном выборе или даже малейшей ошибке в решении вопроса реновации многократно возрастают финансовые и материальные затраты на реконструкцию и восстановление водопроводных сетей. Поэтому необходима тщательная диагностика рассматриваемого участка трассы водопроводной сети, в результате и на основе которой выбирается метод и требуемые материалы для восстановления водопровода.

При невозможности ремонта участка водопроводной сети осуществляется его замена наиболее экономически целесообразным методом. Существует множество методов и соответствующие оборудование, позволяющее заменить трубопровод бестраншейным способом с разрушением старого трубопровода из любого материала с заменой на новый даже с увеличением сечения.

Таблица 3.3 – Сравнительные показатели

Технологические, технические и эксплуатационные показатели	Цементно-песчаная смесь	Полиэтилен	Полиэстер	Пропитанный смолой мягкий рукав
Диапазон диаметров, мм	80—2200	100—1600	100—1500	100—1500
Максимальная протяжённость, м	180	150	300	300 (возможно до 900 м)
Виды повреждений (дефектов)	Мелкие трещины, коррозия, износ	Любые повреждения	Крупные трещины, сколы, малая деформация по сечению	Крупные трещины, сколы, малая деформация по сечению
Технологические, технические и эксплуатационные показатели	Нанесение цементно-песчаных покрытий	Протаскивание нового твёрдого трубопровода в старый или замена на новый	Использование гибкого комбинированного рукава (чулка)	Использование мягкого полимерного рукава
Термостойкость, °С	Без ограничений	45	50	50
Требования к подготовке внутренней поверхности трубопровода	Очистка скребками и швабрами, TV контроль	Не требуется	Очистка водой под давлением, контроль дисками, TV контроль	Очистка водой под давлением, контроль дисками, TV контроль
Требования к водоотливу	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется
Минимальное монтажное отверстие (проем)	Люк колодца	Люк колодца	Люк колодца	Люк колодца
Продолжительность технологического цикла при ремонте участка длиной 100 м, рабочих смен	3-5	1	1	1
Срок службы ремонтного покрытия, лет	20-30	50-100	30-50	100
Потери диаметра трубопровода после ремонта, %	5-10	Нет	3-5	3-5

Подобные технологии и оборудование позволяют решить сразу несколько проблем: избежать перекладки трубопровода открытым способом,

увеличить пропускную способность, минимально воздействовать на окружающую среду.

### **3.3 Рекомендации по выбору материала для реконструкции водопроводной сети г. Тольятти**

Исходя из данных, приведённых в таблице 3.3 наиболее выгодными, по совокупностям показателей (скорости восстановления, замены трубопровода, долговечности, потери сечения, гидравлическим показателям) являются материал полиэтилен и пропитанный смолой мягкий рукав.

Трубы из полиэтилена обладают высокой химической стойкостью к большинству агрессивных сред, под влиянием которых традиционные материалы корродируют и стареют.

Химическая стойкость труб из полиэтилена является производной температуры, концентрации, давления и типа самого вещества:

- полиэтиленовые трубы для водопровода обладают большей пропускной способностью (до 10—15% выше, чем у стальных) вследствие высокой гладкости;

- отсутствие необходимости применения дорогостоящих методов проверки и контроля качества сварных соединений;

- отсутствие необходимости использования дорогостоящих программ подготовки персонала (технологии сварки, монтажа полиэтиленовых труб для водоснабжения), а также наличие широкого диапазона муфт, соединительных деталей для применения стыковых сварочных аппаратов, электромуфтовых сварочных аппаратов для сварки встык с высокой степенью автоматизации позволяет свести до минимума вероятность ошибки оператора.

Одним из достоинств полиэтилена является его высокая гибкость.

Полиэтиленовые трубы очень гибко реагируют на статическое напряжение так, что нагрузки не концентрируются на трубе, а уравниваются в окружающем грунте. Трубы из полиэтилена показали

наибольшую устойчивость к истиранию. Благодаря свойствам материала и гладкой внутренней поверхности, гидравлические свойства полиэтиленового трубопровода не ухудшаются в течение всего срока эксплуатации.

Однако конкуренцию протягиванию полиэтиленового трубопровода может составить пропитанный смолой мягкий полимерный рукав Aarsleff CIPP, расчетная продолжительность срока службы которого составляет 100 лет. Изменение сечения трубопровода не окажет существенного влияния на гидравлические характеристики трубопровода, а в большинстве случаев улучшит их за счет более гладкой внутренней поверхности.

При проведении реновации водопроводной сети, находящейся в длительной эксплуатации необходимо выполнить следующие мероприятия:

- тщательное обследование подлежащего реконструкции водопровода с применением роботов и TV контроля;
- сравнительный анализ технико-экономических показателей различных вариантов реновации при выборе метода и материала;
- на основе проведенного анализа технологических и экономических показателей выбрать наиболее целесообразный из рассматриваемых вариантов;
- выполнить проект реконструкции в соответствии с выбранным методом реновации;
- осуществить предварительную подготовку трубопровода (очистка от загрязнений, ржавчины и пр.);
- выполнить перечень работ в соответствии с выбранным методом и материалом;
- провести гидравлические испытания;
- ввести восстановленный трубопровод в эксплуатацию.

### **3.4 Выводы по 3 главе**

1. Были проанализированы материалы, применяемые для реконструкции водопроводных сетей бестраншейным способом (полиэтилен, цементно-песчаная смесь, полимеры).
2. Произведены сравнительные показатели материалов, применяемые для реконструкции водопроводных сетей бестраншейным способом.
3. Даны рекомендации по проведению реновации водопроводной сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В г.о. Тольятти около 60% водопроводных сетей исчерпали нормативный срок службы и нуждаются в оперативном ремонте. Утечки воды на отдельных участках могут составлять от 20 до 50%.

2. Требуется создание автоматизированной базы данных, в которой будет осуществляться ввод, хранение, обработка и выдача необходимой информации по оценке и прогнозу уровня надежности трубопроводов и оборудования водопроводной сети для выявления аварийных участков сети требующих немедленного восстановления.

4. Для реновации водопроводных сетей г. Тольятти необходимо осуществить выбор оптимальных ремонтных защитных покрытий для бестраншейной реновации трубопроводов.

5. Превышение нормативных сроков службы трубопроводов городских систем водоснабжения требует оперативного вмешательства в процесс реновации с использованием бестраншейных технологий, способных предотвратить переход системы трубопровода из аварийного состояния в катастрофическое.

6. В результате анализа существующих технологий реконструкции ветхих трубопроводов г. Тольятти бестраншейным методом, наиболее приемлемы: протаскивание нового трубопровода, в повреждённый старый (с его разрушением и без разрушения); протягивания сплошных полимерных покрытий, а также покрытий на основе цементно-песчаных растворов.

7. Для реновации магистральных участков водопроводных сетей возможно использование при соответствующем технико-экономическом обосновании мягкого полимерного рукава Aarsleff CIPP (PAA-PSL-Liner®), пропитанного эпоксидной смолой и армированный стекловолокном.

8. Разработаны рекомендации по выбору материала для реконструкции водопроводной сети г. Тольятти.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Орлов, Владимир Александрович диссертация ... доктора технических наук : 05.23.04 Москва 2009. Режим доступа: <http://www.dslib.net/vodosnabzhenie/sistemnyj-analiz-sostojaniya-i-taktika-renovacii-vodoprovodnyh-i-vodootvodjajawih.html>
2. Орлов В.А., Харькин В.А. Стратегии и методы восстановления подземных трубопроводов - М: Стройиздат, 2001 – 96с.; ил.
3. Орлов В. А. Стратегия восстановления водопроводных и водоотводящих сетей / В. А. Орлов. – М. : Ассоциация строительных вузов, 2001. – 95 с.
4. Орлов В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов / В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Стройиздат, 2001. – 95 с.
5. Орлов Е.В., Шлычков Д.И. / Автоматизированная программа расчета гидравлических параметров трубопровода при его реновации альтернативными покрытиями // Вестник МГСУ. -2010.-№ 1.- с. 231-235.
6. Орлов В.А., Шлычков Д.И., Коблова Е.В. / Оценка эффективности реновации трубопроводов профильными полимерными трубами и защитными оболочками в условиях возможного теплового расширения и дефектов тела трубы // Вестник МГСУ. -2011.- № 6. -с. 615-624.
7. Орлов В.А., Шлычков Д.И., Коблова Е.В. / Реновация трубопроводов как средство энергосбережения при реализации бестраншейных технологий // Вестник МГСУ. -2011.- № 6. -с. 590-595.
8. Орлов В.А., Шлычков Д.И., Коблова Е.В. / Эффективность реновации трубопроводов профилированными полимерными трубами// Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». - 2011.-№ 11.-е. 10-14.
9. Орлов В.А. Санация трубопроводов путем протягивания полиэтиленовых труб строительство и Архитектура, Изд. ВНИИТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 1, 2005, серия, инженерное

обеспечение объектов строительства, 60 с.

10. Орлов В.А., Зоткин С.П., Харькин В.А. / Выбор оптимального метода бестраншейного восстановления безнапорных трубопроводов РОБТ, Изд. ТИМР, 2001, 4, с. 30-34.

11. Орлов, Евгений Владимирович диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Москва 2008. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004068000/rsl01004068435/rsl01004068435.pdf>.

12. Орлов В.А., Харькин В.А. / Систематизация и анализ патологий водоотводящих сетей, подлежащих восстановлению РОБТ, Изд. ТИМР, 2001, 2, с. 13-25.

13. Орлов В.А., Орлов Е.В., Шлычков Д.И. / Защитные полимерные покрытия для трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Вестник МГСУ. -2009.-№4. -с. 168-172.

14. Орлов В.А. Системный анализ состояния и тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей (Автореферат докторской диссертации) //М.: МГСУ. 2009. 34 с.

15. Орлов В.А. Защитные покрытия трубопроводов //М.: АСВ. 2009. 126 с.

16. Орлов В.А., Зверев П.В. Локализация дефектов трубопроводов с помощью местного ремонта //Журнал «Научное обозрение». 2014. № 7. с. 647-650.

17. Орлов В.А. Бионика и бестраншейная реновация трубопроводных сетей //Журнал «Научное обозрение». 2013. № 3. с. 147-151.

18. Отставнов А.А. Дмитриев А.Н., Харькин В.А. / К вопросу минимизации затрат на устройство и эксплуатацию подземных водопроводов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование (СОК). - 2006.-№ 9.- с. 38-43.

19. Отставнов А.А., Устюгов В.А., Примин О.Г. и другие / Энергосберегающие бестраншейные технологии // Сантехника, отопление,

кондиционирование (СОК). - 2010.-№ 8.- с. 14-20.

20. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / К технико-экономическому обоснованию выбора способа бестраншейной реконструкции ветхих трубопроводов // Сантехника, Изд. «Авок-Пресс», 2004, № 3, с. 34-36.

21. Положение о санации водопроводных и водоотводящих сетей (утверждено НТС ГОССТРОЯ РОССИИ от 16.09.2003 за № 01-НС-15/3) // Прима-Пресс- М.- 2003. -40 с.

22. Положение о санации водопроводных и водоотводящих сетей (утверждено НТС ГОССТРОЯ РОССИИ от 16.09.2003 за № 01-НС-15/3) //М.: Прима- Пресс-М. 2003. 40 с.

23. Примин О.Г., Орлов В.А. /Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов //ВиСТ. - 2006.-№ 1.- с. 25-28.

24. Ратников Б.А., Житников О.Д., Шевелёв А.Ф., Яновский Ю.Г. Применение внутренних цементно-песчаных покрытий // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 1988. № 9. с. 24-26.

25. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий / А. П. Рыбаков. – М. : ПрессБюро, 2005. – 304 с.

26. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода: Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы. - М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. - 11 с.: ил. - (Федеральные санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы).

27. Сапожников М. М. Справочник трубопроводчика / М. М. Сапожников. – Ленинград – Москва: ГСИ, 1960. – 213 с.

28. СНиП 2.04.02-84\*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: взамен СНиП II-31-74: введ.01.01.85. - М.: Госстрой России: ГУП ЦПП, 2001. - 128 с.: ил. - (Строительные нормы и правила). - Прил.: с. 95-126.

29. СНиП 2.04.01-85\*, СНиП 21-01-97\*. Водоснабжение, канализация.

Противопожарная безопасность: практические рекомендации по проектированию и строительству трубопроводных систем, в том числе с применением пластмассовых труб (СП 40-102-2000). [Вып. 1] / [Добромыслов А.Я. (рук.), Кирюханцев Е.Е.]. - М.: Авок-Пресс, 2005. - 23 с.: ил. - ISBN 5-98267-010-3: 158-18.

30. Сомов М.А., Журба М.Г. Водоснабжение. Том 1. Системы забора, подачи и распределения воды. Учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 2008 – 262с, 151 ил. – ISBN 978-5-93093-565-3.

31. Сомов М.А., Примин О.Г. / Технико-экономическое обоснование вариантов обеспечения надежности трубопроводов водопроводной сети // Научно-технический альманах «Проблемы, развития транспортных и инженерных коммуникаций». – 2001. -№ 2-3. -с. 29-36.

32. Справочник. Бестраншейные технологии в России. Российское Общество по внедрению бестраншейных технологий – издательство: ТА Инжиниринг, 2006 – 304с.

33. Тевлев Ю.А. Железобетонные трубы. Обобщение опыта проектирования и изготовления / Ю. А. Тевлев. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2003. – 304 с.

34. Орлов, Евгений Владимирович диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Москва 2008. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004068000/rsl01004068435/rsl01004068435.pdf>.

35. Харькин, Владислав Альбертович диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Москва 2003. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002629000/rsl01002629935/rsl01002629935.pdf>.

36. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Развитие инновационных технологий прокладки инженерных сетей и создание новых методов их защиты от опасных и техногенных воздействий» (промежуточный) (стр. 1 ) | Социальная сеть Pandia.ru (3/3). URL: <http://pandia.ru/text/78/042/3003.php#3>.

37. Хренов Константин Евгеньевич. Разработка мероприятий по обеспечению энергосбережения на водопроводных сетях, восстанавливаемых внутренними защитными покрытиями [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / ; науч. рук. В. А. Орлов ; Моск. гос. строит. ун-т. - Москва, 2016. - 203 с. Режим доступа: [http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita\\_dissert/hrenov-konstantin-evgenirvich/Dissertaciya\\_Hrenov\\_KE.pdf](http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/hrenov-konstantin-evgenirvich/Dissertaciya_Hrenov_KE.pdf)

38. Маврина О.И. Особенности методов реновации водопроводов г. о. Тольятти. Магистерская диссертация. ТГУ, Тольятти, 2015. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/123456789/3911>

39. Дремов А.Г. Оптимизация эксплуатационных свойств защитных покрытий, используемых в бестраншейном восстановлении работоспособности водопроводных сетей г.о. Тольятти. Магистерская диссертация. ТГУ, Тольятти, 2016. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/1263/1/Дремов%20А.Г.%20СТРм-1402.pdf>

40. [гл. ред. Грачев С. А.] Водоснабжение. Водоотведение. Оборудование и технологии : [справочник] Москва 2006. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002961000/rsl01002961717/rsl01002961717.pdf>.

41. В. А. Орлов, Е. В. Орлов Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами учебное пособие для студентов средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 270112(2912) "Водоснабжение и водоотведение. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01006000000/rsl01006809000/rsl01006809460/rsl01006809460.pdf>

42. Хантаев, Ислам Саидамиевич диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Москва 2009. Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004296000/rsl01004296197/rsl01004296197>

.pdf.

43. Методика по бестраншейной прокладке и санации инженерных коммуникаций. 01.05.2012 г. Режим доступа <http://kzgov.docdat.com/docs/645/index-549123.html?page=7>.

44. Экологические аспекты использования труб из полимерных материалов для горячего водоснабжения О.В. Нестругина Донецкий Национальный Технический Университет [Электронный ресурс]: Портал магистров Донецкого национального технического университета URL: <http://masters.donntu.org/2011/fmf/nestrugina/library/tez3.htm>

45. 47. Основные преимущества полиэтиленовых труб [Электронный ресурс]: Строительный портал «Совет» URL: <http://sovet-nso.ru/stati/materialy/2069-osnovnye-preimuschestva-polietilenvyih-trub.html>

46. 48. Экологическая безопасность сантехнических труб на полимерной основе. М.В. Мамонтов, старший преподаватель, к.т.н., Воронежский институт ГПС МЧС России, г. Воронеж [Электронный ресурс]: КиберЛенинка — научная электронная библиотека URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-bezopasnost-santehnicheskikh-trub-na-polimernoy-osnove>

47. Khan, Salam, Bennett, David, McCrary, Steven, and Iseley, Thomas. (1994). "Mini-horizontal directional drilling," U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, and Trenchless Technology Center – Louisiana Tech University, Ruston, LA.

48. Sills, George L. (1999). "Cumulative effects of sand boils," U.S. Army Engineer District, New Orleans, New Orleans, LA.

49. Patrick J. Conroy, Carlos A. Latorre, and Lillian D. Wakeley. Installation of Fiber-Optic Cables Under Flood-Protection Structures Using Horizontal Directional Drilling Techniques. 2002. p. 74.

50. Zwierzchowska A. / Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociagowych i kanalizacyjnych// Politechnika swietokrzyska. -

2006. - p. 180.

51. Lemme H. / New construction of a storm water overflow channel DN 1000 in micro tunnel construction using reinforced concrete and glass fibre plastic boring pipes // 6\* International Pipeline Construction Symposium, Berlin March 2009