

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Орлов Владимир Александрович

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТАКТИКА РЕНОВАЦИИ
ВОДОПРОВОДНЫХ И ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ**

05.23.04 - Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов

**Автореферат диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук**

Москва 2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
Московском государственном строительном университете

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Журба Михаил Григорьевич

доктор технических наук, профессор

Алексеев Леонид Сергеевич

доктор технических наук, доцент

Щербаков Владимир Иванович

Ведущая организация:

ГУП «НИИМосстрой»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2009 г. в ауд. № _____
в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.138.10 при
ГОУ ВПО Московском государственном строительном университете по
адресу: 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО Московского
государственного строительного университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

Волшаник В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

На пороге XXI века из-за ограниченности запасов на планете пресная вода может быть причислена к стратегическому объекту, а задачи безопасной транспортировки питьевой и сточных вод начинают входить в разряд приоритетных задач общества, так как напрямую связаны со здоровьем (а порой и выживанием) населения и комфортабельностью его проживания.

В условиях современного города предупреждение старения и преждевременного выхода из строя подземных инженерных сетей водоснабжения и водоотведения, а также оптимальная локализация последствий их проявления становятся одними из главных задач служб эксплуатации коммунальных объектов подавляющего числа городов мира. Особую актуальность этот вопрос приобретает для городов России, где в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигли критических уровней: более половины подземных трубопроводных коммуникаций исчерпали нормативный срок службы. При непринятии оперативных мер по повышению эффективности работы трубопроводных сетей, реновации и модернизации подземных трубопроводов ситуация может выйти из под контроля с многочисленными последствиями для человека и окружающей природной среды городов и населенных пунктов.

Существующее негативное состояние трубопроводных коммуникаций привело к необходимости принятия на государственном уровне экстренных мер, направленных на исправление сложившегося положения. Этим мерам в первую очередь служит принятая Правительством России Концепция программы «Чистая вода России», а московским Правительством - «Чистая вода Москвы», где прописаны ориентиры и конкретные мероприятия до 2020 года «по гарантированному обеспечению населения чистой питьевой водой по доступной цене, созданию экологически безопасной водной среды, улучшению на этой основе состояния здоровья и продолжительности жизни человека». Таким образом, на трубопроводные сети как элемент непосредственного соприкосновения с человеком (при подаче питьевой воды) должны быть не только возложены, но и усилены ответственные функции обеспечения гарантированного физического барьера от загрязнения транспортируемой воды и поддержания в ней требуемых санитарно-гигиенических показателей.

Одним из превалирующих факторов негативной работы напорных трубопроводных сетей являются многочисленные дефекты: коррозия, свищи, нарушения в стыках, переломы, а безнапорных сетей – засоры, как следствие полученных повреждений, старение материала труб, изначальные заводские дефекты труб или их стыков, низкая культура пользования системой водоотведения и другие обстоятельства. Перечисленные и другие негативные факторы, безусловно, требуют ускорения темпов реновации трубопроводных сетей, чтобы предотвратить переход системы из критического состояния в катастрофическое, однако возможности эксплуатирующих организаций далеко не всегда позволяют это сделать.

Основным подспорьем для решения проблем ремонта и обновления ветхих трубопроводных сетей является применение бестраншейных технологий реновации трубопроводов, в основе которых лежит использование различных внутренних покрытий (труб, облицовок, рукавов, бандажей, клеевых составов на основе органических смол и т.д.), которые рассматриваются в качестве эффективных ремонтных защитных оболочек, локализирующих многочисленные дефекты трубопровода (например, свищи, трещины, нарушения в стыках и т.д.) и предотвращающих явления инфильтрации грунтовых вод в трубопровод и эксфильтрации транспортирующихся жидкостей в природную среду.

Современный строительный рынок, в котором из года в год наблюдается увеличение ассортимента тех материалов, которые способны стать эффективными для реновации подземных трубопроводов различного назначения, также косвенно способствует решению проблемы модернизации инженерных сетей транспорта жидкостей, газов и других веществ.

Обладая специфическими свойствами, соответствующими, с одной стороны, принятой технологии изготовления, а с другой - метода нанесения на внутреннюю поверхность изношенных трубопроводов, защитные покрытия предназначены играть роль эффективного средства для обеспечения физической целостности трубопроводной системы и надежного барьера между транспортируемой жидкостью и окружающей средой, но также способствовать восстановлению прочностных и гидравлических характеристик трубопроводных сетей в целях продления их срока службы и снижения расходов на транспортировку воды.

Говоря о значимости проблемы защиты трубопроводов внутренними покрытиями, необходимо отметить, что на сегодняшний день не выработаны четкие научные подходы к прочностному расчету двухслойных конструкций «материал трубопровода + защитное покрытие», а также не всегда имеются корректные справочные данные о гидравлических параметрах некоторых защитных покрытий, что сужает рамки их более широкого применения для оперативной реновации. Также не изучен вопрос гидравлической совместимости в единой трубопроводной системе старых и новых участков подлежащего ремонту трубопровода.

Практика эксплуатации водопроводных сетей показала, что для выбора первоочередных объектов реновации защитными покрытиями из огромного числа потенциальных, а также оптимального планирования мероприятий по защите трубопроводов, в том числе для поддержания требуемых санитарно-гигиенических показателей питьевой воды, необходим научно-обоснованный подход, учитывающий комплексное воздействие на двухслойную конструкцию трубопровода внешних дестабилизирующих факторов.

Решение комплексной задачи предотвращения раннего старения трубопроводов водоснабжения и водоотведения должно способствовать реализации долгосрочных социальных и экологических проблем, стоящих перед современным городом, а также отказу от стратегии «пожарной команды»,

характерной для коммунальных служб ряда современных крупных городов мира.

Актуальность работы заключается прежде всего в её своевременности, т.е. в момент проведения в нашей стране реформы коммунального хозяйства и в частности, реновации и модернизации трубопроводного транспорта. Результаты работы позволяют внести определённую лепту в решение данной задачи государственной важности.

Работа выполнялась на кафедре водоснабжения ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет в рамках работ по хоздоговорной тематике с МГУП «Мосводоканал» в течение 2002-2008 годов.

Цель работы и задачи исследований. Цель заключается в комплексной оценке технического состояния наружных трубопроводов водопроводной и водоотводящей сети на предмет разработки тактики их оперативной реновации.

В соответствии с поставленной целью основными задачами исследований являются:

- разработка концепции выбора потенциального объекта реновации с ориентацией на восстановление бестраншейными методами и с использованием современных защитных покрытий;
- анализ проявления и классификация повреждений напорных и безнапорных трубопроводных сетей, типов ремонтных материалов (внутренних защитных покрытий) и условий их применения для локализации соответствующих дефектов трубопроводов (по классификатору повреждений);
- разработка научно-обоснованных подходов к прочностному и гидравлическому расчету трубопроводов с внутренними защитными покрытиями, включая вопросы обоснования гидравлической совместимости материала покрытия и трубопровода;
- оценка степени косвенного влияния внутренних защитных покрытий и других обстоятельств на санитарную надежность системы подачи и распределения воды;
- разработка учебно-тренировочных обучающих комплексов по вопросам реновации подземных трубопроводов бестраншейными методами с помощью современных строительных материалов, используемых в качестве внутренних защитных покрытий.

Для достижения поставленной цели решены частные задачи:

- проведен анализ технического состояния трубопроводных сетей МГУП «Мосводоканал» по литературным источникам, архивным данным и личным наблюдениям;
- описаны виды защитных покрытий и составлен классификатор дефектов трубопроводных сетей с рекомендованными типами защитных покрытий для восстановления физической целостности трубопроводов;
- разработаны методические подходы к проведению прочностного расчета двухслойных трубных конструкций «материал восстанавливаемого трубопровода + внутреннее защитное покрытие», где в качестве материала труб используются сталь, чугун, железобетон, асбестоцемент, керамика и кирпич для различных режимов работы трубопроводов (напорный и безнапорный);

- проведены экспериментальные исследования по определению гидравлических характеристик нескольких защитных покрытий (полимерный рукав, цементно-песчаное покрытие и полиэтиленовые трубы) и обоснованы положения по гидравлической совместимости напорных и безнапорных трубопроводов с защитными покрытиями;

- разработаны подходы к оценке влияния дестабилизирующих работу водопроводных и водоотводящих сетей факторов на выбор объекта реновации защитными покрытиями на основе составления математических моделей и ранжирования факторов, а также влияния защитных покрытий на санитарную надежность водопроводной сети;

- разработана концепция выбора приоритетных объектов реновации защитными покрытиями на базе учета внешних факторов, оказывающих влияние на техническое состояние и эффективность работы водопроводной и водоотводящей сетей, с проверкой прочностных и гидравлических характеристик системы, что по совокупности оформлено в качестве тактики реновации;

- составлен перечень из нескольких характерных задач реновации трубопроводов и приведены функции учебного комплекса для студентов вузов и специалистов, занимающихся вопросами восстановления подземных трубопроводов с помощью защитных покрытий.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- впервые разработан системный подход к тактике реновации водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами с использованием защитных покрытий в единой системе учета прочностных характеристик двухслойных трубных конструкций и гидравлической совместимости защитных покрытий и материала трубопровода;

- впервые разработаны методические подходы к вопросам реновации объектов на водопроводной и водоотводящей сетях на основе использования физических моделей взаимовлияния дестабилизирующих факторов, компьютерных программных комплексов поиска приоритетных объектов восстановления и методов бестраншейной реновации на основе учёта стоимостных, технических, технологических и эксплуатационных показателей;

- впервые разработан учебно-тренировочный и обучающий комплекс по вопросам реновации подземных трубопроводов с помощью альтернативных защитных покрытий на базе использования компьютерных программ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- последовательность операций, составляющих основу тактики реновации трубопроводных систем;

- закономерности проявления дефектов на трубопроводных сетях и их классификация; условия применения защитных покрытий для локализации соответствующих дефектов трубопроводов (по классификатору повреждений);

- анализ взаимовлияния внешних дестабилизирующих факторов, воздействующих на техническое состояние и эффективность работы водопроводной и водоотводящей сетей с их рейтинговой оценкой и разработка на данной основе паспортов участков трубопроводов;

- методические подходы к вопросам поиска приоритетных объектов реновации и оптимальных методов бестраншейного восстановления с использованием компьютерных программных комплексов на основе учёта стоимостных, технических, технологических и эксплуатационных показателей;
- разработка научно-обоснованных подходов к прочностному расчету двухслойных трубных конструкций;
- результаты экспериментальных и теоретических гидравлических исследований на перспективных типах ремонтных защитных покрытий и полученные для них унифицированные расчетные зависимости при напорном и безнапорном режиме работы трубопроводов с обоснованием условий гидравлической совместимости;
- учебно-тренировочный и обучающий комплекс по вопросам бестраншейной реновации подземных трубопроводов различными методами и с помощью альтернативных защитных покрытий.

Практическая значимость работы определяется решением в рамках диссертации крупной проблемы, имеющей народно-хозяйственное значение в области развития и совершенствования систем водоснабжения и водоотведения, в частности, реформы ЖКХ и принятой Правительством России программы «Чистая вода России» с реализацией положений до 2020 года.

Практическая значимость заключается во внедрении результатов работы на производственных объектах и в учебных заведениях, в частности, в виде издания автором научно-методической и технической документации, ведомственных и межведомственных Положений, Свода Правил (СП) и регламента, используемых научными, строительными, проектными и эксплуатационными организациями, а также учебно-методических работ для широкого круга специалистов, в том числе студентов вузов и техникумов строительного профиля, слушателей курсов повышения квалификации.

Внедрение в практику состоит в использовании следующих положений диссертации:

а) системного подхода к поэтапному решению тактических и оптимизационных тактических задач реновации водопроводных и водоотводящих сетей путём:

- использования на стадии проектирования расчетных автоматизированных комплексов по прочностному и гидравлическому расчетам, включая вопросы гидравлической совместимости материалов покрытий и исходного трубопровода;
- поиска эксплуатационными организациями на стадии принятия решения приоритетных объектов восстановления трубопроводов с помощью защитных покрытий;

б) разработанных при непосредственном участии автора диссертации рекомендаций в виде нормативно-технической документации по строительству и реновации подземных инженерных коммуникаций, в частности:

- «Положения о проведении санации трубопроводов Московского водопровода». Утверждено распоряжением Генерального директора МГП «Мосводоканал» № 8 от 25 апреля 2000 г., Изд. Прима-Пресс. 36 с.;

- «Положения о санации водопроводных и водоотводящих сетей». Утверждено на заседании НТС ГОССТРОЯ РОССИИ от 16.09.2003 г. № 01-НС-153. Изд. Прима-Пресс. 43 с.;

- «Проектирование и монтаж водопроводных и канализационных сетей с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом». СП 40-109-2006. Федеральное агентство по строительству и ЖКХ РФ. Москва. Официальное издание ФГУП «Центр проектной продукции в строительстве». 2006 год, 48 с.

- «Регламент использования полиэтиленовых труб для реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения». (Рекомендован Саморегулируемой организацией – Российской ассоциацией водоснабжения и водоотведения (СО РАВВ) для применения предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства городов России и организациями, выполняющими работы по строительству, реконструкции и эксплуатации трубопроводов водоснабжения и водоотведения из полиэтиленовых труб на территории России;

в) учебно-методической литературы для студентов вузов и техникумов, в том числе, с грифами Минобразования и Ассоциации строительных вузов в количестве 7 источников (перечень книг в библиографическом списке автора);

г) монографий в количестве 4-х источников с детальным изложением отдельных разделов диссертационной работы.

Апробация работы. Базовые теоретические положения и результаты экспериментальных исследований докладывались:

- на Международной конференции Акватек-2002 (на секции «Бестраншейные технологии») в г. Москве в июне 2002 г.,

- на Семинаре Российского общества по внедрению бестраншейных технологий 27.11.02 в МГУП «Мосводоканал»,

- на Секции НТС ГОССТРОЯ РФ 19.06.2003 г.

- на семинаре-конференции Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды «Экологические аспекты в решении проблем водоснабжения и водоотведения 2-4 декабря 2003 года,

- на научно-практическом семинаре «Системы учёта, подачи и распределения воды в коммунальном и промышленном водоснабжении» в Государственном научном центре РФ «НИИ ВОДГЕО» 25-26 февраля 2004 г.;

- на II-ой международной конференции «Применение бестраншейных технологий на подземных сетях городской инфраструктуры» в Польше, г. Кельце, 19-21 апреля 2006 г.;

- на международной конференции NO-DIG-2008 ISTT в Москве на секции «Санация трубопроводных систем» 1- 3 июня 2008 г.

- на Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное оборудование зданий, наружные сети и инженерные сооружения городов в ГОУ ДПО ГАСИС, Москва, 18-20 мая 2009 г.

Достоверность результатов работы.

Представленные в диссертации задачи решались на основе аналитических и экспериментальных исследований, проводимых в полупроизводственных и

натурных условиях, использовании рекомендуемых положений по гидравлическому и математическому моделированию. Достоверность исследований достигается использованием парка сертифицированных приборов и оборудования, обеспечивающих достаточную точность при испытаниях.

Публикации.

Положения диссертации опубликованы в открытой печати: в 58 статьях, в том числе в 10 статьях рецензируемых журналов, рекомендуемых ВАК для строительной отрасли, в 4 монографиях, 7 учебниках и учебных пособиях, 4 изобретениях, подтверждающих новизну научно-технических решений.

Личный вклад автора состоит в формулировании цели и задач, организации и непосредственном участии в проведении теоретических и экспериментальных исследований, анализе их результатов, формировании выводов, разработки тактических методических подходов к реновации водопроводных и водоотводящих сетей с использованием бестраншейных технологий на базе перспективных ремонтных материалов, формировании и написании нормативно-технической документации и руководства пользователей автоматизированными программами, а также написании статей, монографий и специальной учебно-методической литературы по результатам собственных разработок и анализа предшествующего опыта.

Автор считает своим долгом выразить благодарность заведующему кафедрой Водоснабжения профессору Сомову М.А. и коллегам по кафедре за помощь, оказанную при выполнении работы.

Структура и объём диссертации. Диссертация включает введение, семь глав, общие выводы, список литературы из 151 наименования. Общий объём диссертационной работы: 270 страниц машинописного текста, 49 таблиц, 75 рисунков, приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приводятся результаты комплексной оценки технического состояния трубопроводов водопроводных и водоотводящих (напорных и безнапорных) сетей на предмет интенсификации их реновации на различных объектах РФ, Москвы и за рубежом.

На основании анализа отечественных и зарубежных литературных источников и практики работы МГУП «Мосводоканал» установлено, что в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигли критических уровней: порядка 60 % подземных трубопроводных коммуникаций исчерпали нормативный срок службы и нуждаются в оперативном ремонте. В качестве примера отметим, что из 523 тыс. км городских водопроводных сетей в городах РФ срочного ремонта требуют 92 тыс. км, т.е. около 20 % сетей, а из 163 тыс. км городских безнапорных водоотводящих трубопроводов - 58 тыс. км, т.е. около 30 % сетей.

Водопроводная и водоотводящая сети крупных городов являются одними из самых уязвимых элементов в системах водоснабжения и водоотведения. Подавляющее большинство их находится под постоянным стрессом (рисунок 1).

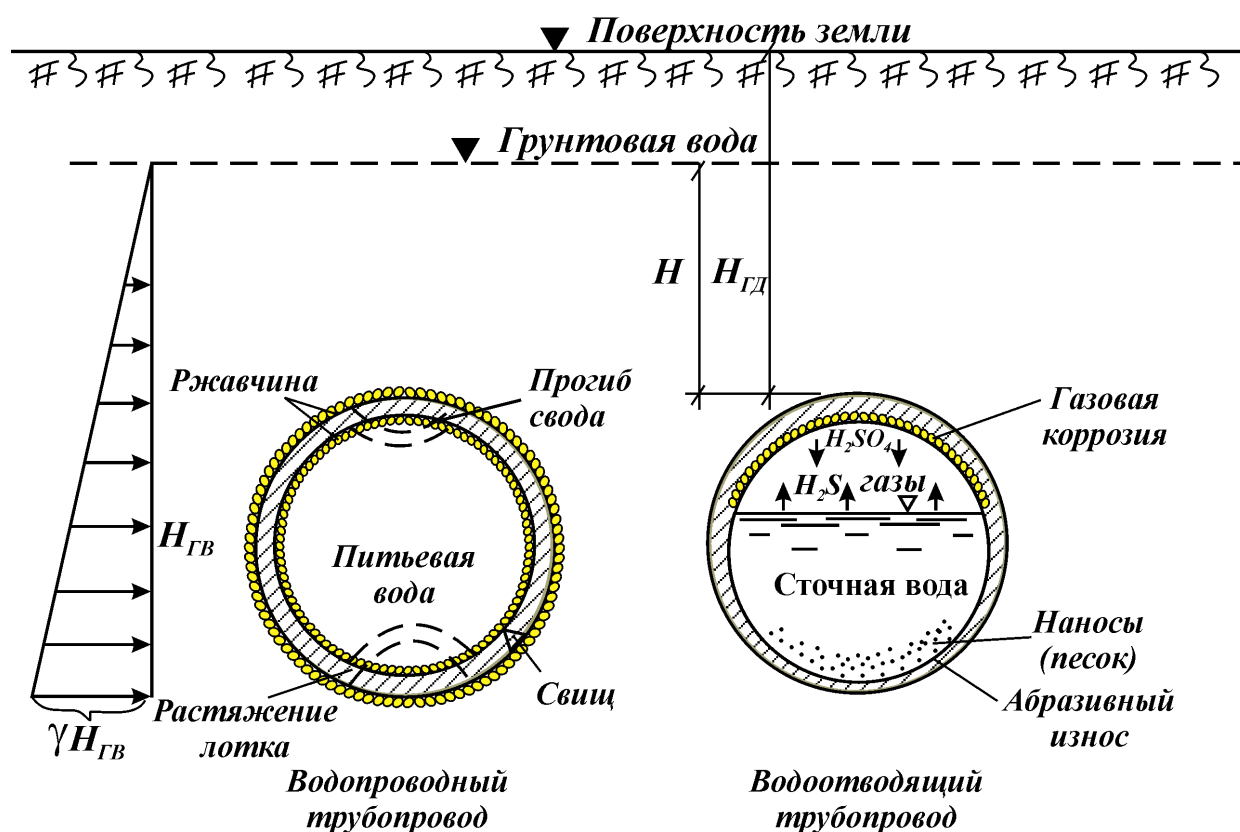


Рис. 1 Иллюстрация воздействия на трубопроводы нагрузок, приводящих к дестабилизации их работы

Особую озабоченность вызывают стальные трубопроводы систем водоснабжения и напорной канализации большого диаметра (800-1400 мм), отслужившие нормативные сроки службы, а также трубопроводы малого диаметра (150-250 мм) независимо от материала изготовления и режима эксплуатации (напорного или безнапорного).

В Москве установленный нормативный срок службы исчерпали около 5,3 тыс. км труб. Ежегодный прирост самортизированных сетей водоснабжения достигает 200 км. Объем реконструкции на сегодняшний день составляет 170 км или 1,5% от их общей протяженности. Для сокращения объема самортизированных трубопроводов потребность в их замене составляет не менее 340 км или 3% от общей протяженности сетей.

Наибольшее количество повреждений происходит на трубопроводах, проложенных в 1960-1980 годы из стали, железобетонных коммуникациях 1980-х годов прокладки и чугунных трубах со сроком эксплуатации более 50 лет. Особую обеспокоенность вызывают трубопроводы из железобетона протяженностью 22,51 км и из серого чугуна протяженностью 3498 км, из которых 55,6 км превысили 100-летний срок эксплуатации. Повреждения на данных инженерных коммуникациях связаны со значительным изливом воды на рельеф местности и нанесением ущерба городу.

Идентичная негативная ситуация наблюдается и на водоотводящей сети столицы. Протяжённость самортизированных сетей, включая каналы большого диаметра (до 3,5 м), составляет 46-69% в зависимости от диаметра. На

сегодняшний день объёмы реконструкции и перекладки канализационных трубопроводов недостаточны и составляют 74 км или 0,95% от общей протяжённости. Для обеспечения устойчивого водоотведения и функционирования канализационной системы города необходимо проведение ежегодной реконструкции канализационных каналов и напорных трубопроводов в объёме 1,5% от общей протяжённости, т.е. порядка 116 км.

Изучен и творчески переработан опыт ученых, занимавшихся вопросами надежности водопроводных и водоотводящих сетей, оценки их состояния и рекомендаций по разработке мероприятий, способствующих высокоэффективной работе и интенсификации эксплуатации сетей. К таким работам в первую очередь относятся труды Храменкова С.В., Примина О.Г., Ермолина Ю.А., Алексеева М.И., Кармазинова Ф.В., Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В. и других.

В результате исследований установлено также, что на сегодняшний день нет завершенных концептуальных положений по оптимизации стратегии реновации, а также не разработаны вопросы тактики реновации объектов городского водопровода и канализации, которые сводятся в большинстве случаев лишь как реакция на повреждение сети, т.е. аварийной ситуации. На основании изучения обстановки выработаны обязательные целенаправленные тактические мероприятия, которые в общем и целом должны сводиться к следующему: мобильному учету дефектов и контролю состояния на участках трубопроводов на основе теледиагностики; регулярному обновлению адресных списков потенциальных объектов реновации на базе их детальной паспортизации; выбору оптимального метода реновации; проверкой на прочность восстановленных участков трубопроводной системы и на гидравлическую совместимость с невосстановленными участками. На этой базе сформулированы задачи исследований по интенсификации реновации водопроводных и водоотводящих сетей, в том числе по созданию учебно-тренинговых материалов, в число которых входит: выявление преобладающих дестабилизирующих факторов и разработка принципов составления списков приоритетных адресных объектов на основе паспортизации участков трубопроводов; классификация дефектов трубопроводов и выбор оптимальных ремонтных защитных покрытий, проведение контрольных прочностных расчетов двухслойных конструкций «материал трубопровода + защитное покрытие» и гидравлических расчетов на проверку совместимости нового и старого трубопроводов; выбор технологии бестраншейной реновации; разработка обучающих комплексов (пособий) по реновации.

Вторая глава посвящена классификации дефектов трубопроводов, анализу статистики повреждений и типам альтернативных внутренних защитных покрытий для их устранения. Отмечено, что для напорных трубопроводов характерны структурные и функциональные дефекты. К структурным дефектам стальных трубопроводов следует отнести: образование свищей (единичных или множественных сквозных отверстий различного размера и формы), вызванных воздействием внешней и внутренней коррозии труб; разрывы швов, образование микротрещин и продольных трещин; истирание лотковой части

трубопровода транспортируемыми твердыми включениями (песком). В качестве функциональных дефектов стальных трубопроводов можно рассматривать появление ржавчины на внутренних стенках труб, что приводит к их утонению и потери несущей способности трубопроводов, биообрастаний, бугристых наростов в виде уплотненных окислов железа, марганца, извести, инородных включений, проникающих в трубопроводы при любом вмешательстве извне (например, сварке, ремонте и замене запорно-регулирующей арматуры).

Наибольшая гамма патологий характерна для безнапорных трубопроводов. По результатам теледиагностических исследований и обработки архивной документации МГУП «Мосводоканал» разработан каталог или классификатор повреждений (дефектов) самотечной водоотводящей сети, в котором представлены и описаны около 50-ти типов патологий. Каталогные данные по дефектам укрупнены по 4-м категориям, которые в свою очередь сориентированы на конкретные методы бестраншейной реновации и на использование соответствующих защитных покрытий.

Для анализа динамики нарушения работоспособности сети от воздействия дестабилизирующих ее работу внешних факторов решалось несколько задач. Одна из них заключалась в выявлении зависимости проявления отдельных дефектов от глубины залегания трубопроводов. В частности, рассмотрению подлежали следующие случаи: места расположения участков, нарушения герметичности труб, нарушения в стыках труб, деформации тела труб, наличие препятствий течению жидкости в трубе. По результатам обработки данных построены математические зависимости, фиксирующие закон изменения исследуемых параметров. На рисунке 2 в качестве примера приведены результаты обработки данных по динамике случаев появления препятствий течению жидкости от глубины залегания трубопровода

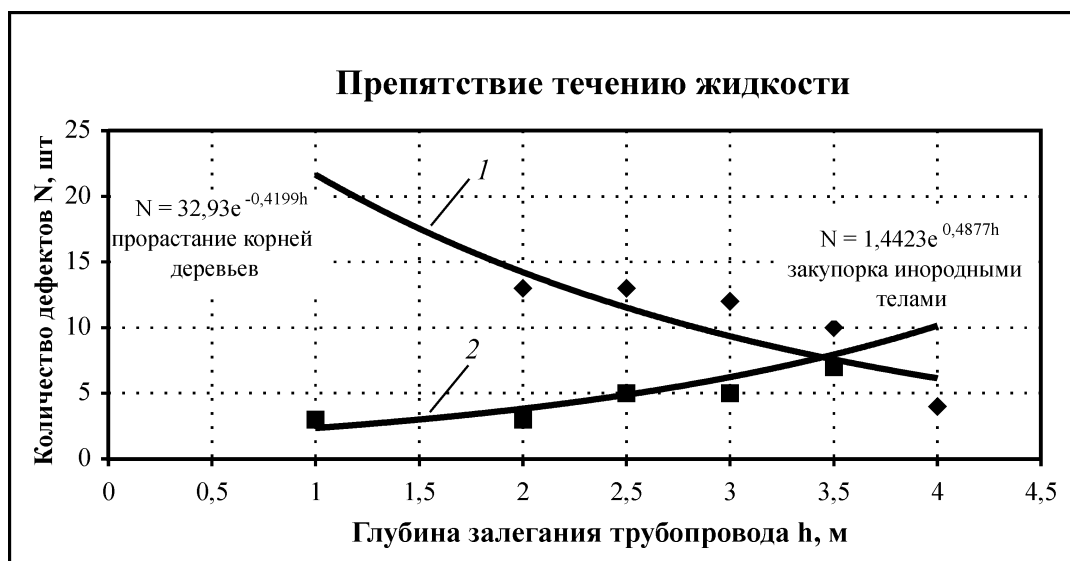


Рис. 2 Динамика случаев появления препятствий течению жидкости от глубины залегания трубопровода

1- прорастание корней деревьев, 2- закупорка инородными телами

Ряд аналогичных зависимостей получен для описания динамики проявления других дефектов от дестабилизирующего фактора глубина залегания, что позволило заложить их в математическую модель ранжирования дестабилизирующих факторов для определения рейтингового балла в паспорте участка.

Во второй главе также проанализированы возможности различных строительных материалов, которые могут быть наиболее эффективными в качестве потенциальных защитных покрытий трубопроводов, обеспечивающих физическую целостность трубопроводной системы. Приведено краткое описание технологий их нанесения на трубопровод.

Проанализированы возможности избежания нарушения санитарно-гигиенической надежности трубопроводов транспорта питьевой воды при нанесении внутренних и внешних изоляционных покрытий (облицовок), которые не только устраняют дефекты трубопроводных сетей, но и являются важнейшими элементами защиты водопроводных сетей от процессов коррозии и проникновения загрязнений в транспортируемую питьевую воду.

Третья глава диссертации посвящена классификации и ранжированию факторов, дестабилизирующих работу трубопроводов, определению величины рейтингового балла, паспортизации участков трубопроводных сетей и автоматизации поиска адресного объекта реновации.

Длительная практика эксплуатации трубопроводов Московского водопровода и обработка результатов статистических исследований последних лет показывает, что условия эксплуатации и критериальные факторы, приводящие к дефектам трубопроводов и дестабилизирующие их надёжность по степени влияния на техническое состояние труб, могут быть представлены в виде следующей последовательности: материал труб и его качество; наличие и качество изоляционного покрытия; возраст трубопроводов; отсутствие защиты от электрокоррозии; диаметр трубы; наличие блуждающих токов и коррозионной активности грунта; число уже прошедших аварий (повреждений) на участке; интенсивность транспортных и пассажиропотоков; качественные характеристики воды; величина и динамика изменения напоров в сети; наличие и глубина залегания подземных вод; тип грунта; глубина заложения участка сети.

В свою очередь для безнапорных водоотводящих сетей перечень дестабилизирующих факторов можно представить в следующем виде (в произвольном порядке): год укладки водоотводящего трубопровода; диаметр трубопровода; нарушения в стыках трубопроводов; дефекты внутренней поверхности; наличие засоров; нарушение герметичности; деформация тела трубы; глубина заложения труб; состояние грунтов вокруг трубопровода; наличие подземных вод над трубопроводом; интенсивность транспортных потоков.

В диссертации отмечается, что наличие представленных перечней не позволяет произвести какие-либо последующие обоснованные действия, не увязав факторы в единое целое и не назначив какого-либо количественного критерия в виде баллов (рейтингов), например, по результатам диагностики. Для выполнения условия увязки факторов в единую систему использовались

результаты комплексного мониторинга показателей, влияющих на состояние и эффективность работы трубопроводов, а механизмом увязки - физическое и математическое моделирование, в частности, положительно зарекомендовавший себя графово-матричный метод, который позволил установить универсальную причинно-следственную связь между всеми дестабилизирующими факторами, а после составления матриц доминирования выйти на определенные диапазоны рейтинговых значений (баллов) ущерба каждого фактора и элементов его состояния.

В результате логического и математического ранжирования каждый перечисленный выше дестабилизирующий фактор (вершина графа) приобрел соответствующий ранг значимости в замкнутой системе с установленным диапазоном изменения численных (балльных) значений, что позволило провести аналогичное внутреннее ранжирование элементов его состояния в зависимости от какого-либо критерия. Например, для фактора «состояние грунтов вокруг трубопровода» таким критерием является скорость коррозии: самая большая в глинистых грунтах (наибольший ущербный балл), самая малая в песчаных (минимальный ущербный балл). Для остальных грунтов баллы назначаются пропорционально, например, с определенным шагом.

В качестве основных результатов внешнего и внутреннего ранжирования дестабилизирующих факторов и элементов их состояния для водопроводных, напорных и безнапорных водоотводящих явилась разработка детальных паспортов участков трубопроводов, т.е. своеобразных «медицинских карт» их состояния, выраженного в баллах. По паспортам трубопроводов специалист может выявить наиболее неблагоприятный в техническом отношении участок трубопровода, который может классифицироваться как потенциально-опасный. К потенциально-опасным (наиболее ущербным) относятся те участки сети, где фиксируется максимальный суммарный балл значимости. Эти участки должны быть рассмотрены в первую очередь на предмет последующей эксплуатации или реновации.

Для упрощения задачи поиска потенциальных объектов реновации на напорной и безнапорной трубопроводной сети разработаны алгоритмы и автоматизированные информационно-поисковые системы планирования восстановления трубопроводов, которые являются основным инструментом пользователей для оценки ситуации на отдельных участках водопроводной и водоотводящей сетях с целью определения адресного списка участков по совокупности показателей ущерба. При этом информационно-поисковая система не претендует на роль «последней инстанции» в определении объекта планирования восстановления сетей, а является лишь советчиком инженера-эксплуатационника в выборе того или иного адресного объекта потенциального ремонта или реновации на трубопроводных сетях, помогая ему принять окончательное решение. В итоговых распечатках, являющихся конечным звеном работы автоматизированной информационно-поисковой системы, по запросу выводится адресная информация о всех рассматриваемых участках сети с указанием баллов всем имеющимся в паспорте участка позициям. Первые диалоговые окна двух программ представлены на рисунках 3 и 4.

Ранжирование участков несанированных трубопроводов

Паспорт ранжирования

Номера колодцев	21 22
1 СКЗ	☐ Есть ☒ Нет
2-а РН	☐ >7 ☐ =7 ☒ <7
2-б Общее железо, мг/л	☒ >0,2 ☐ <0,2
2-в Р-ный кислород, мг/л	☐ >10 ☒ <10
2-г Остаточный хлор, мг/л	☐ >0,3 ☒ <0,3
2-д Хлориды, мг/л	☐ >30 ☒ <30
2-е Сульфаты мг/л	☐ >50 ☒ <50
3 Нал. подзем. вод	☒ Есть ☐ Нет
4 Глубина зал. труб, м	☐ <2 ☒ 2-4 ☐ >4
5 Тип грунта	☐ сугл ☐ с.п. ☐ с.п.п ☐ +г.в ☐ вл.п ☐ в.п.п ☐ +г.в ☒ глин
6 Давление воды, м	☒ >35 ☐ 25-35 ☐ <25
7 Интенс. трансп. пот.	☒ <высокая ☐ средняя ☐ низкая
8 Гидр. х-ки (диам. тр., мм)	☒ <=250 ☐ <=400 ☐ <=600 ☐ <=800 ☐ <=1000 ☐ <=1200 ☐ >=1400
9 Год укладки, лет	☐ >20 ☒ 15-20 ☐ 10-15 ☐ 5-10 ☐ 1-5
10 Плотность населения	☒ <высокая ☐ средняя ☐ малая
11 Диаметр труб, мм	☒ 100-450 ☐ 500-700 ☐ 800-1000 ☐ >1000

Range (c:\range\range.dbf) Record: 1/8 Exclusive

NUM 11:33

Рис. 3 Диалоговое окно одной из программ выбора объекта реновации на напорных трубопроводах

Планирование восстановления канализационных сетей

Паспорт ранжирования

ПРОЕКТНЫЕ ДАННЫЕ

Инвентарный номер	10001	Вид сети	дворовая	Диаметр	200
РКС	1	Материал	чугун	Глубина(м)	10.00
Кол-во засоров/год	0	Протяженность(м)	0.00	Год укладки	1956
Адрес начала	1906 ГОДА УЛ.	Адрес конца			
Дом	5	Дом	0		

ОПЕРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

☐ Внести исправления	1. Наличие (отсутствие) подземных вод
☐ Внести исправления	2. Состояние грунтов вокруг трубопровода
☐ Внести исправления	3. Препятствия течению жидкости
☐ Внести исправления	4. Дефекты внутренней поверхности
☐ Внести исправления	5. Нарушения герметичности
☐ Внести исправления	6. Интенсивность транспортных потоков
☐ Внести исправления	7. Деформация тела трубы и изменения в плане и профиля
☐ Внести исправления	8. Нарушения в стыках

Ранж (c:\номм\документы\ланж 2006\Record: 1/18 Exclusive

16:13

Рис. 4 Диалоговое окно одной из программ выбора объекта реновации на безнапорных трубопроводах

Результатом работы программ являются итоговые таблицы со списком участков по убыванию баллов значимости. Разработанные автором диссертации положения по ранжированию дестабилизирующих факторов явились предметом 4-х изобретений.

В четвертой главе представлены результаты по разработке методик оценки состояния восстановленного участка трубопровода и прочностного расчета трубных конструкций, в том числе с использованием автоматизированных программ. Четвертая глава является логическим продолжением предыдущей третьей главы в русле разработанной тактики реновации, так как после выявления перечня потенциальных объектов восстановления на трубопроводной сети, участки трубопроводов, относящиеся к первоочередным (т.е. имеющие максимальные рейтинговые баллы) должны подвергаться прочностному расчету, в основе которого лежит оценка остаточного ресурса трубопровода с проверкой по трем предельным состояниям (из условий устойчивости трубопровода; по допустимым деформациям и с учетом появления пластических деформаций).

При выполнении научных исследований в рамках четвертой главы автором изучен и творчески переработан опыт ученых, занимавшихся вопросами прочностных расчетов трубопроводов из различных материалов. Данный опыт изложен в трудах отечественных ученых Клейна Г.К., Баклашова И.В., Картозии Б.А., а также зарубежных Kuliczowski A., Zwierzchowska A. и других. Базовыми методиками прочностного расчета являются методики Московского горного университета.

Для стальных городских водопроводных и водоотводящих сетей наиболее приемлемой оценкой состояния является уменьшение толщины (утонение) стенки в результате общей (фронтальной) и язвенной (питтинговой) коррозии, а также эрозионного износа стенок трубопровода транспортируемой жидкостью до величины, ниже которой не обеспечивается запас прочности. Для рейтинговой оценки остаточного ресурса стальных трубопроводов разработана система поправочных коэффициентов пересчета от 1 до 0,05 в обратно пропорциональной зависимости от нормативного срока службы стальной трубы (20 лет). На этот коэффициент умножается значение суммарного рейтингового балла в паспорте участка трубопровода, после чего происходит коррекция результирующего балла и уточнение списка потенциальных адресных объектов реновации.

Для прочностного расчета двухслойных конструкций «материал трубопровода + защитное покрытие» рекомендуется использовать три характерных эксплуатационных состояния: первое, когда исходная труба имеет проектные толщину, удовлетворяющие деформативную и прочностную характеристики (например, наличия несквозных трещин, незначительное нарушение стыков и т.д.) и когда оба материала деформируются, не разделяясь по слоям; второе состояние, когда исходная труба имеет уменьшенную первоначальную толщину стенки, пониженные деформативные и прочностные характеристики, но оба материала деформируются, не разделяясь по слоям; третье состояние, когда может наблюдаться частичное отслоение защитного

покрытия и его параметры определяются из условия общей устойчивости покрытия как самостоятельной конструкции

Для всех эксплуатационных состояний определяется толщина защитного покрытия приведенная к толщине стенки действующего трубопровода. Задача прочностного расчета независимо от эксплуатационных режимов сводится к определению модуля упругости защитного покрытия и его толщины.

В пятой главе представлены результаты по исследованию гидравлических характеристик внутренних защитных покрытий и производится оценка их совместимости с материалами исходных трубопроводов в период реновации.

При выполнении научных исследований в рамках пятой главы автором изучен и творчески переработан опыт ученых, занимавшихся вопросами гидравлических расчетов трубопроводов из различных материалов. Данный опыт изложен в трудах ведущих ученых: Шевелева Ф.А., Яковлева С.В., Альтшуля А.Д., Калицуна В.И., Лукиных Н.А., Камерштейна А.Г., Киселева П.Г., Прадтля Л., Шези А. и многих других.

Составной частью тактики реновации водопроводных и водоотводящих сетей является создание условий максимального обеспечения эффективной совместной работы старых и восстановленных участков. При ориентации на использование бестраншейных технологий строительства и реконструкции трубопроводного транспорта с использованием соответствующих ремонтных материалов (защитных покрытий), требуется обязательная проверка восстановленных и действующих участков напорных и самотечных трубопроводов на гидравлическую совместимость, под которой для водопроводных сетей следует понимать обеспечение и поддержание в период эксплуатации трубопроводов требуемых проектом потерь напора в кольцевых контурах независимо от ремонтного материала и диаметра используемых труб, а для безнапорных обеспечение и поддержание определенных величин скоростей течения сточной жидкости от участка к участку по направлению движения потока, которые должны возрасти от участка к участку.

Для оценки ситуации необходимо наличие сведений о гидравлических характеристиках старых и новых ремонтных материалов (цементно-песчаных покрытий, полимерных защитных покрытий, новых типов полимерных труб и т.д.), тем более, что на сегодняшний день, когда наблюдается широкое внедрение новых строительных материалов в практику ремонта трубопроводов, обнаруживается отсутствие универсальных подходов к определению гидравлических показателей различных типов облицовок и единых методов оценки гидравлической совместимости восстановленных и невосстановленных участков действующих трубопроводных сетей. В некоторых ситуациях практика проектирования вынуждена из-за отсутствия объективных данных по гидравлическим характеристикам новых материалов защитных покрытий руководствоваться методиками гидравлических расчетов, прочностными и гидравлическими показателями, представленными производителями труб, что не может являться объективным аргументом в пользу применяемого покрытия. В связи с этим возрастает роль независимых экспертиз, позволяющих

унифицировать требования и подходы к определению специальных показателей материалов и адаптации их к материалу действующего трубопровода.

Для проведения гидравлических экспериментов использовалась смонтированная в 2006 году по эскизам автора опытно-производственная установка (универсальный поверочный гидравлический стенд), которая позволяет в широком диапазоне показателей исследовать режим течения жидкости при напорном и безнапорном (самотечном) движении и определить при задаваемых параметрах расходов (для напорных трубопроводов), а также расходов и уклонов (для безнапорных трубопроводов) необходимые гидравлические элементы потока, установив между ними соответствующие математические зависимости. Гидравлические испытания также проводились и в натурных условиях на напорных водоотводящих сетях.

Целью проводимых гидравлических экспериментов на напорных трубопроводах являлось выявление закономерностей изменения гидравлических показателей для различных труб (защитных покрытий), получения унифицированных расчетных зависимостей и установки критериев гидравлического подобия, позволяющих производить гидравлический расчет напорных трубопроводов для широкой гаммы используемых на практике диаметров. В качестве исследуемых ремонтных материалов рассмотрены следующие: тонкий полимерный рукав (пленка из эпоксидной смолы, нанесенной на внутреннюю поверхность стального трубопровода диаметром 100 мм); полиэтиленовая труба (ПЭ 80) ГОСТ 18599-03 110С 200 условным диаметром 100 мм; цементно-песчаное покрытие, нанесенное на внутреннюю поверхность стального трубопровода диаметром 100 мм (с учетом защитного слоя внутренний диаметр нового трубопровода составляет 90 мм) и полиэтиленовая труба ПЭ 100 SDR 17 (110×6,6).

Целью проводимых экспериментов на безнапорных трубопроводах являлось: определение гидравлических элементов потока, коэффициентов Шези C для трех типов труб (защитных покрытий) и получение математических зависимостей, позволяющих производить гидравлический расчет трубопроводов из различных материалов для альтернативной оценки эффективности использования их при ремонте ветхих сетей, например, из керамики; использование полученных в период экспериментов опытных значений коэффициента Шези C и других показателей в качестве критерия приближенного гидравлического подобия с последующим построением унифицированных таблиц гидравлического расчета для широкой гаммы трубопроводов с внутренним покрытием из полимерного рукава, цементно-песчаным покрытием и полимерных труб.

Гидравлический стенд включает две накопительные емкости габаритами 2×2×1 м, эстакаду с жестко закрепленными над ней четырем параллельными трубопроводами длиной 18 м и оборудованными пьезометрами и трубками Пито, насосную установку (насосы марки АЦМП-80А/130-3,0/2 и насос GRUNDFOS CRE 90-2-2 с регулируемый компьютерным приводом). Отличительной особенностью гидравлического стенда для безнапорных сетей

является наличие эстакады с жестко закрепленными на ней тремя параллельными трубопроводами (стальным с полимерным покрытием, полиэтиленовым ПЭ 80 и стальным с цементно-песчаным покрытием) длиной 15 м; эстакада выполнена с возможностью изменения уклона трех трубопроводов в диапазоне $i = 0,001 - 0,035$ за счет ручного механического домкрата.

Для опытной эксплуатации напорных трубопроводов использовалась стандартная методика ВНИИ ВОДГЕО, а для безнапорных - специальная унифицированная методика по определению гидравлических элементов потока. Методика обладает элементами новизны, так как для безнапорных сетей использование связки «пьезометр-трубка Пито» практически ранее не использовалось.

В период экспериментов на каждом напорном и безнапорном трубопроводе было проведено свыше 50 серий по отбору давлений при температуре воды 16-18 °С) в широком диапазоне скоростей (0,3 – 1,8 м/с).

По результатам экспериментов на напорных трубопроводах получены эмпирические зависимости изменения потерь напора i от расхода Q для четырех видов трубопроводов: для стальной трубы с полимерным покрытием $i = 5672,3Q^{2,7655}$; для полиэтиленовой трубы ПЭ 80 $i = 190,67Q^{1,9802}$; для трубы с цементно-песчаным покрытием $i = 185,82Q^{1,9395}$; для полиэтиленовой трубы ПЭ 100 $i = 171,96Q^{1,9648}$.

Для расширения области применения, т.е. для перехода к большим диаметрам использовались рекомендации Альтшуля А.Д. по гидравлическому моделированию. Сущность моделирования сводится к тому, чтобы связать коэффициенты гидравлического трения λ , полученные на модели (трубопроводе 100 мм) с величиной эквивалентной шероховатости k_z , рассматривая ее в качестве гидравлической шероховатости, с получением полуэмпирических зависимостей для других диаметров в унифицированной форме. Для унификации результатов разработана специальная методика определения удельного сопротивления «А» для труб из различных материалов (покрытий), базирующаяся на теоретических разработках Шевелева Ф.А.

Конечным результатом расчета явились полуэмпирические зависимости $A=f(d)$ для определения коэффициента удельного сопротивления A трубопроводов различного внутреннего диаметра d после нанесения на их внутреннюю поверхность защитного материала с любой толщиной стенки: для трубы с полимерным покрытием $A_{\text{полимер}} = 5 \cdot 10^{12} \cdot d^{-5,2791}$, для полиэтиленовой трубы ПЭ 80 $A_{\text{полиэт.}} = 9 \cdot 10^{12} \cdot d^{-5,316}$, для стальной трубы с цементно-песчаным покрытием $A_{\text{ЦПП}} = 4 \cdot 10^{12} \cdot d^{-5,2279}$ и для полиэтиленовой трубы ПЭ 100 $A_{\text{полиэт.}} = 6 \cdot 10^{13} \cdot d^{-5,7276}$.

Для анализа характера полученных закономерностей и проверки их достоверности аналогичным трубопроводам из других материалов (сталь, чугун), по результатам расчетных данных (Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб Ф.А. Шевелева) были исследованы идентичные зависимости $A=f(d)$ для чугунного и стального трубопроводов.

Для лучшей наглядности и уменьшения диапазона разброса точек экспериментальные зависимости $A=f(d)$ для четырех типов трубопроводов и расчетные зависимости $A=f(d)$ для чугунных и стальных труб выражены в виде функции $1/|\ln A| = f(d)$ и сведены на единое поле в виде графиков (рисунок 5) в диапазоне диаметров 400 – 800 мм.

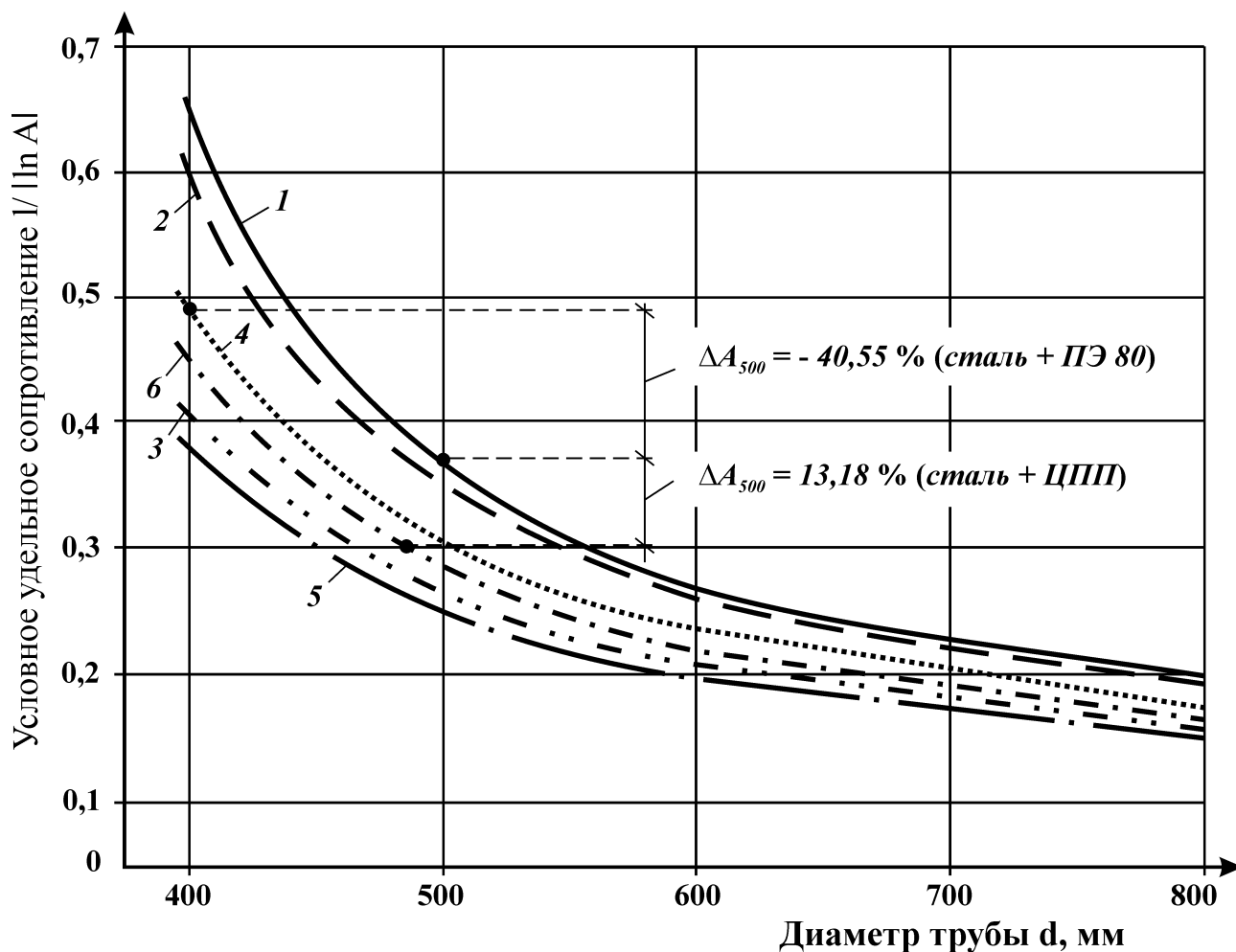


Рис. 5 Сводный график зависимостей $1/|\ln A| = f(d)$ для нескольких типов покрытий (труб)

1 - стальной трубопровод; 2 - чугунный трубопровод; 3 - стальная труба с полимерным покрытием; 4 - полиэтиленовая труба ПЭ 80; 5 - полиэтиленовая труба ПЭ 100; 6 - стальная труба с ЦПП

Как показывают графики на рисунке 5, наименьшие единичные гидравлические сопротивления имеют полиэтиленовая труба ПЭ 100 (кривая 5) и труба с полимерным покрытием, а наибольшими сопротивлениями обладают стальные и чугунные трубы. Это прежде всего свидетельствует о том, что при взаимозамене труб, например, в результате ремонта отдельных участков сети в системе не исключается возможность гидравлического дисбаланса, ведущего к необходимости пересмотра гидравлических параметров работы сети в связи с изменением скоростей течения воды и напоров. Для количественной оценки дисбаланса приведены два примера возможных последствий работ по реновации:

Первый пример: реновация осуществляется посредством нанесения слоя ЦПП на стальную трубу диаметром 500 мм (кривая 1 на рисунке 5); при этом диаметр сужается до 486 мм (минимальная толщина стенки ЦПП 7 мм). В результате образуется трубная конструкция «сталь+ЦПП» и дисбаланс по потерям напора, условно выраженный через величину ΔA (на графиках $\Delta(1/|\ln A|)$) составит в процентах при диаметрах 500 мм для стали и 486 мм для ЦПП:

$$\Delta A = 100 \cdot (0,3508 - 0,30456) / 0,3508 = 13,18 \%$$

Отсюда следует, что дисбаланс положительный, т.е. единичные потери напора при реновации уменьшатся на 13,18 %.

Второй пример: реновация осуществляется посредством протягивания в стальную трубу диаметром 500 мм (кривая 1 на рисунке 5) полиэтиленовой трубы ПЭ 80 внутренним диаметром 400 мм; при этом диаметр сужается до 400 мм. В результате образуется трубная конструкция «сталь+ПЭ 80» и дисбаланс по потерям напора, условно выраженный через величину ΔA (на графиках $\Delta(1/|\ln A|)$) составит в процентах при диаметрах 500 мм для стали и 400 мм для ПЭ 80:

$$\Delta A = 100 \cdot (0,3508 - 0,49305) / 0,3508 = -40,55 \%$$

Отсюда следует, что дисбаланс отрицательный, т.е. единичные потери напора при реновации увеличатся на 40,55 %.

На основании полученных данных по гидравлической совместимости (антоним – гидравлического дисбаланса) проектировщиком может быть принято оптимальное решение о методе реновации.

В результате экспериментов на трех типах безнапорных трубопроводов были определены эмпирические зависимости коэффициента Шези C от уклона, гидравлического радиуса R и наполнения h/d , т.е. $C = f(i)$, $C = f(R)$ и $C = f(h/d)$ в широком диапазоне уклонов (0,005-0,03). Например, для полимерного покрытия зависимость коэффициента Шези C от гидравлического радиуса имеет вид $C = 17,043 \ln R + 129,74$, для полиэтиленового трубопровода $C = 14,245 \ln R + 113,72$; для стального трубопровода с цементно-песчаным покрытием $C = 20,713 \ln R + 142,95$.

Для наглядности изменения коэффициента Шези C от гидравлического радиуса R , оценки степени возрастания скоростей течения жидкости с переходом от керамических труб к защитным покрытиям (трубам), а также определения расчетным путем значения коэффициента относительной шероховатости « n », проведен сопоставительный анализ трех экспериментальных кривых с аналогичной кривой (рисунок 6) для керамического трубопровода (по данным из Таблиц для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле Н.Н. Павловского, авторы А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных).

Как показывают графики на рисунке 6, для расчетных наполнений 0,5 и одинаковых уклонах значения коэффициентов Шези C больше всего для полимерного покрытия и меньше всего для керамической трубы. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что и величины скоростей при одинаковых расчетных наполнениях будут больше в трубопроводе с

полимерным покрытием, которое имеет наименьшую величину относительной шероховатости «n».

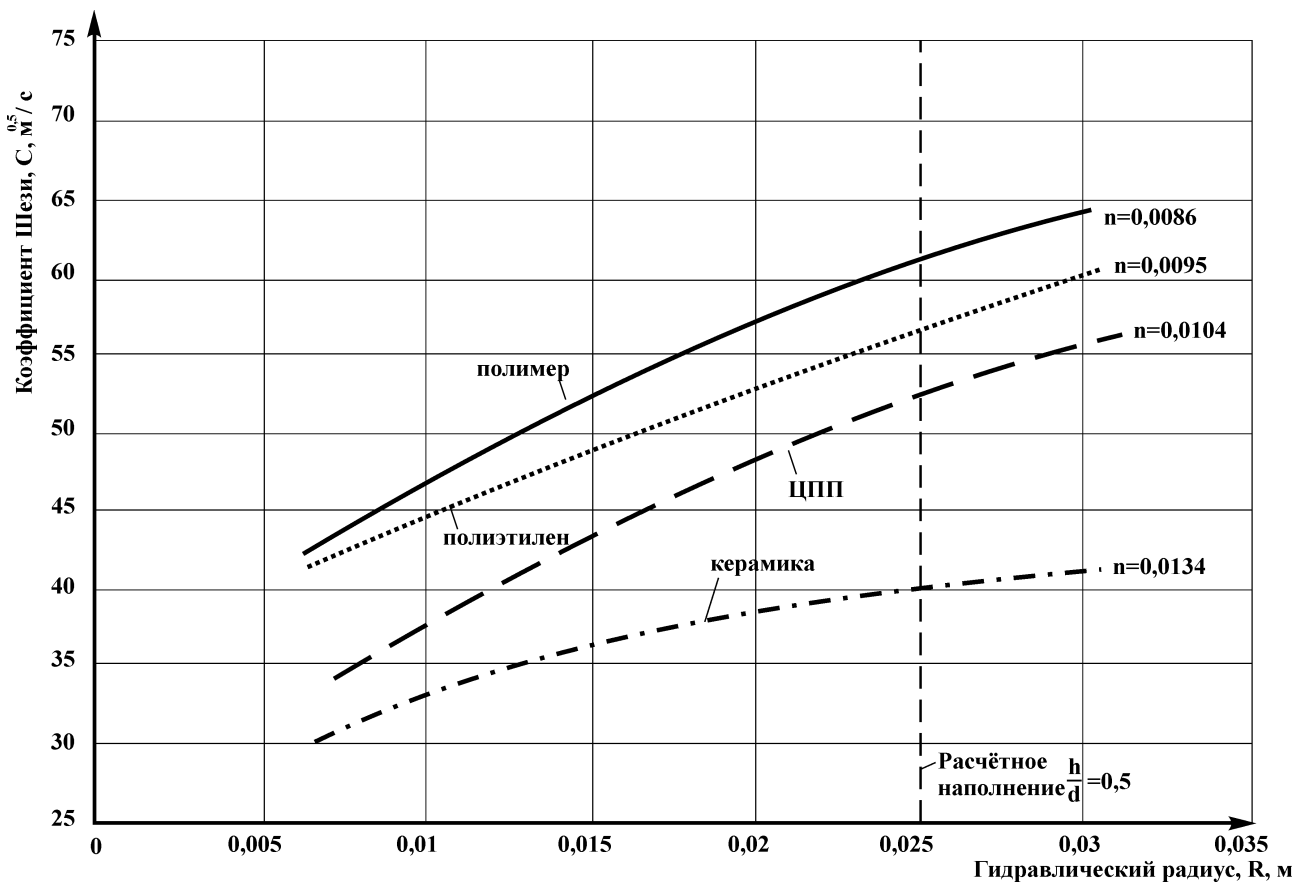


Рис. 6 Сводный график зависимостей $C=f(R)$ для четырех типов трубопроводов

Опираясь на предыдущий научный опыт (Киселев П.Г.), где коэффициенту Шези C может отводиться роль критерия гидравлического подобия для моделирования, были получены расчетные полуэмпирические зависимости $C=f(R)$ для труб любого диаметра d : для полимерного покрытия: $C=17,043\ln R - 17,038\ln(d) + 208,2$; для полиэтиленовой трубы $C=14,245\ln R - 14,239\ln(d) + 179,29$; для цементно-песчаного покрытия $C=20,713\ln R - 19,898\ln(d) + 233,84$. Для адаптации к классическим формулам Н.Н. Павловского и А. Маннинга полученные формулы откорректированы на частный случай общего вида ($1/6$ может быть представлена как «у» в формуле Н.Н. Павловского): $C_{\text{полимер}} = 1/0,0086R^{1/6} = 116,28R^{1/6}$; $C_{\text{полиэтил.}} = 1/0,0095R^{1/6} = 105,26R^{1/6}$; $C_{\text{цпп}} = 1/0,0104R^{1/6} = 96,15,38R^{1/6}$.

В рамках пятой главы также представлены результаты и аналитические исследования транспортирующей способности потока сточной жидкости в местах стыков труб, проведена интерпретация результатов на предмет гидравлической совместимости восстановленных и невосстановленных участков сети.

Для оценки гидравлической совместимости подвергнутых восстановлению и невосстановленных на текущий момент времени участков сети теоретически

и практически (на 40 реальных объектах водоотводящей сети г. Москвы) исследовалась транспортирующая способность потока на стыках труб из разного материала (пластмассовые, керамические, чугунные, асбестоцементные) и диаметра. Натурные эксперименты проводились по специально разработанной методике с использованием видеокамер с высокой разрешающей способностью. Методика включала: комплексную диагностику объекта (двух соседних участков сети - восстановленного и невосстановленного); определение расстояний (участков дисбаланса скоростей) до ближайших преград в виде уплотнённых наносов на невосстановленных участках трубопровода, расположенных после восстановленных, а также определение средних высот гряд наносов.

В результате аналитических исследований и натурных экспериментов получена полуэмпирическая зависимость, подтверждающая наличие участков дестабилизации скоростей после выполнении ремонтно-восстановительных работ и значимость учёта гидравлических показателей в единой системе «восстановленный-невосстановленный участки сети». В частности, в большинстве случаев (свыше 70 %) при обследовании объектов наблюдались явления гидравлического дисбаланса, которые выражались в образовании и перемещении гряд наносов на внутренней поверхности невосстановленных участках водоотводящих сетей по причине разницы скоростей потока при входе сточной жидкости в невосстановленный трубопровод из восстановленного (V_0) и в невосстановленном (V_K), что в свою очередь обусловлено различной шероховатостью труб, косвенно оцениваемой коэффициентом гидравлического трения λ . Отмечено, что полученные в ходе натурных экспериментов значения длин S участка дестабилизации скоростей не всегда укладываются в диапазоны расчётных значений S , полученных по соответствующей формуле для расчётных скоростей, определяемых по формуле Павловского Н.Н. Это предполагает использование формулы для определения S с поправочными коэффициентами K_s при максимальном их разбросе от 0,46 до 1,88 в зависимости от расхода протекаемой сточной воды и уклона участков трубопроводов i :

$$S = K_s \cdot (V_0^2 - V_K^2) / [(\lambda \cdot V_0^2 / 4R) - 2g i],$$

Шестая глава диссертации посвящена вопросам технико-экономической оптимизации выбора метода бестраншейной реновации.

В качестве критерия выбора бестраншейной технологии реновации для конкретного объекта принято руководствоваться техническими, технологическими, эксплуатационными и стоимостными показателями бестраншейных методов реновации. Окончательное решение, как правило, должно приниматься по результатам комплексной экспертизы, в состав которой входят эксплуатационный персонал и разработчики проекта реновации трубопроводной системы.

Учитывая предыдущий научный опыт (труды Алексеева М.И. и Ермолина Ю.А.), где для выбора метода бестраншейного ремонта предложены весьма сложные и нестабильные показатели как «среднее значение функции состояния сети в расчётных сечениях трубопровода» и необоснованные величины

«аттестационного балла», независящие от метода реновации, в основу методического подхода решения задачи поиска оптимального метода бестраншейного восстановления безнапорных трубопроводов положены автоматизированные итерационные операции. Сущность операций заключается в переборе и анализе соответствующего количества указанных выше технических, технологических, эксплуатационных и стоимостных показателей существующих методов бестраншейного восстановления на предмет их использования в конкретной ситуации. Алгоритм решения задачи включает два последовательных базовых цикла: ограничений и оптимизации, где соответственно рассмотрению подлежат виды повреждений (патологий) трубопровода и диаметры (первый цикл) и рассчитывается (второй цикл) минимальное средневзвешенное суммарное значения технических (потери живого сечения при реновации), технологических (продолжительность работ), эксплуатационных (частота замены трубопровода) и стоимостных показателей (стоимость ремонта 1 п.м. трубопровода). Для оперативности выбора оптимального решения разработан алгоритм и автоматизированная программа.

В шестой главе приведены основные тактические задачи, решаемые в период реновации трубопроводных сетей (таблица 1).

Таблица 1

Тактика реновации водопроводных сетей, выполненных
из различных материалов

Объект реновации – стальные трубопроводы	Объект реновации – асбестоцементные, железобетонные и чугунные трубопроводы
1. Разбивка участков трубопроводов на категории по возрасту: -категория Ia: трубы со сроком эксплуатации, превышающим нормативный, -категория Ib: то же без превышения нормативного срока; (приоритет Ia)	1. Разбивка участков трубопроводов на категории по возрасту: -категория Ia: трубы со сроком эксплуатации, превышающим нормативный, -категория Ib: то же без превышения нормативного срока; (приоритет Ia)
2. Отбор объектов на предмет: -внешней защиты от коррозии: - категория IIa – при наличии внешней защиты, - категория IIб – при отсутствии внешней защиты; (приоритет IIб)	2. Определение статической несущей способности (стендовые испытания): - категория IIa – не обеспечивается несущая способность; - категория IIб – обеспечивается несущая способность; (приоритет IIa)
-внутренней защиты от коррозии: - категория IIв – при наличии внутренней защиты,	Условия прочности: -а/ц трубы $R_{ac} \leq 600 \text{ т/м}^2$ (6 МПа);

- категория Пг – при отсутствии защиты; (приоритет Пг)	-железобетонной трубы (бетона В40) $R_{жб} \leq 210 \text{ т/м}^2$ (2,1 МПа); -чугунной трубы $R_{ч} \leq R \cdot 10^4 \text{ т/м}^2$ ($R \cdot 10^2$ МПа), где $R = 2,4 - 4$ в зависимости от диаметра
3. Отбор по степени коррозионного воздействия (общего, желобкового, точечного): -категория IIIa – при наличии коррозии; -категория IIIб – при отсутствии коррозии); (приоритет IIIa)	3. Определение степени деформации труб: -категория IIIa - деформация менее (3 %); -категория IIIб - деформация более 3 %; (приоритет IIIб)
4. Определение остаточной толщины стенки (остаточного ресурса) и статической несущей способности: - категория IVa – не обеспечивается несущая способность; - категория IVб – обеспечивается несущая способность; (приоритет IVa)	4. Увеличение удельного гидравлического сопротивления: -категория IVa – увеличение до 30 %; -категория IVб – увеличение более 30 % (приоритет IVб)
5. Определение степени деформации труб: -категория Va - деформация менее (3 %); -категория Vб - деформация более 3 %; (приоритет Vб)	Удельные сопротивления А для трех материалов труб из: асбестоцемента: $A = 0,0024d^{-4,9384}$ железобетона: $A = 0,0017d^{-5,1901}$ чугуна: $A = 0,0017d^{-5,2558}$
6. Увеличение удельного гидравлического сопротивления: -категория VIa – увеличение до 30 %; -категория VIб – увеличение более 30 % Удельное сопротивление А для стали: $A = 0,0017d^{-5,1716}$ (приоритет VIб)	
7. Минимальные приведенные затраты на реновацию при рассмотрении нескольких альтернативных технологий.	5. Минимальные приведенные затраты на реновацию при рассмотрении нескольких альтернативных технологий.

В седьмой главе диссертации подведены итоги использования результатов научных разработок в учебном процессе, в частности, путем создания учебно-тренировочных комплексов по оптимизации реновации подземных трубопроводов с помощью защитных покрытий. Основной направленностью учебных пособий и монографий является совершенствование учебного процесса. Так впервые разработан компьютерный практикума «Лабораторный практикум

по реконструкции и восстановлению инженерных сетей» для студентов высших учебных заведений по специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» (дисциплина «Реконструкция инженерных систем и сооружений» СД 11), монография «Защитные покрытия трубопроводов»), учебное пособие для студентов техникумов «Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами».

В указанных и других источниках литературы результаты теоретических и практических исследований адаптированы к условиям учебного процесса, способствуя привитию обучающемуся навыков научного подхода к проблеме восстановления и реконструкции городских водопроводных и водоотводящих сетей, раскрытию и осознанию механизма поиска оптимальных решений как при выборе объекта и метода реновации, так и при проверке трубопроводных систем на пропуск расчётных расходов, гидравлическую совместимость после ремонтно-восстановительных или строительных работ, проверку прочностных характеристик двухслойных трубных конструкций. При этом характерной особенностью представленных материалов является наличие тестов автоматизированного самоконтроля обучающегося и контроля приобретенных знаний в области реновации трубопроводов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1) На основании результатов системного обследования и анализа работы наружных трубопроводных сетей водоснабжения и водоотведения установлено, что на сегодняшний день их техническое состояние в целом можно оценить как неудовлетворительное и требующее оперативных тактических мероприятий по реновации и модернизации, что согласуется с программными положениями концепции водной стратегии России, а также Москвы на 2009-2012 и перспективу до 2020 года.

2) В результате проведенных натурных теледиагностических обследований объектов систем городского водопровода и канализации и обработки архивной информации по дефектам безнапорных трубопроводов составлен классификатор повреждений трубопроводов с укрупнением показателей по 4-ем категориям для оптимизации и автоматизации выбора соответствующего бестраншейного метода восстановления трубопроводов.

3) Установлены динамические функциональные зависимости между дестабилизирующими факторами и на основе графового-матричного метода разработаны математические модели ранжирования дестабилизирующих факторов, что позволило составить детальные макеты паспортов участков напорных и безнапорных трубопроводов.

4) Разработан методический подход к прочностному расчету стальных трубопроводов по остаточному ресурсу (из условий устойчивости; допустимых растяжений и деформаций), а также напорных чугунных, железобетонных и асбестоцементных и безнапорных керамических, кирпичных, чугунных, железобетонных и асбестоцементных в условиях их реновации защитными полимерными покрытиями при различных эксплуатационных состояниях

(нарушении и ненарушении несущей способности восстанавливаемых участков трубопроводов).

5) Впервые разработан системный подход к реновации водопроводных и водоотводящих сетей защитными покрытиями в единой системе учета прочностных характеристик двухслойных конструкций и гидравлической совместимости защитных покрытий и материала трубопровода;

6) На основании гидравлических экспериментов на опытно-производственных стендах и в натуре получены расчетные зависимости для четырех типов покрытий, использующихся при реновации напорных трубопроводов; разработаны методики гидравлического подобию по определению удельного сопротивления (напорные сети) и коэффициента Шези (безнапорные сети); получены значения относительного прироста шероховатости для напорных водоотводящих сетей, восстановленных полимерным покрытием и расчетные значения относительной шероховатости для защитных покрытий безнапорных сетей; построены унифицированные таблицы гидравлического расчета для трубопроводов с полимерным покрытием, с цементно-песчаным покрытием и полиэтиленовых труб.

7) Получена полуэмпирическая зависимость по определению зоны дестабилизации скоростей за ремонтными участками и разработана автоматизированная программа гидравлического расчета и проверки на гидравлическую совместимость невосстановленных и восстановленных участков сети из разных материалов.

8) Разработаны положения тактики реновации водопроводных и водоотводящих сетей, которые включают выполнение следующих базовых операций: мобильный контроль изменений в паспортах участков трубопроводов и регулярное обновление адресных списков потенциальных объектов реновации по балльной системе технической ущербности с учетом поправочных коэффициентов (для стальных трубопроводов); проведение диагностики первоочередных объектов реновации по списку с фиксацией и классификацией дефектов трубопровода; выявление степени остаточной несущей способности; выбор оптимального метода реновации; проверка на прочность восстановленных защитными покрытиями участков трубопроводной системы и на гидравлическую совместимость их с невосстановленными участками.

9) Определены критерии технико-экономической оптимизации реновации, в качестве которых использованы относительно равнозначные показатели методов реновации: стоимостной, технологический, эксплуатационный и технический; представлены результаты работы компьютерной программы по автоматизированному выбору объекта реновации.

10) Положения по ранжированию дестабилизирующих работу трубопроводной сети факторов и составлению паспортов участков явились предметом 4-х изобретений: патента на полезную модель № 31137 свидетельств на полезные модели № 41748 и № 21295, патента на изобретение № 2237784.

11) Впервые научно и практически обоснованы и внедрены в учебный процесс результаты теоретических и экспериментальных разработок в виде учебно-тренировочных (в том числе компьютерных) комплексов для студентов

технических вузов строительного профиля и слушателей курсов повышения квалификации по всему спектру технических, технологических и оптимизационных вопросов реновации водопроводных и водоотводящих сетей, что отражено в 4 монографиях и 7 учебных пособиях (учебниках).

12) Результаты диссертации внедрены в практику планирования ремонтно-восстановительных работ МГУП «Мосводоканал», на производственных объектах, в учебном процессе Московского государственного строительного университета и других высших учебных заведений строительного профиля.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Орлов В.А. / Рубашки для трубопроводов // Журнал изд. Наука РАН, «Энергия: экономика техника, экология».- 1994. –2. (0,4 п.л.)

2. Орлов В.А. /Эксплуатация, реконструкция и строительство водопроводных и водоотводящих сетей с учётом экологического фактора / Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства. - 1997. (2,0 п.л.)

3. Орлов В.А. / Бестраншейная реконструкция и техническое обслуживание водопроводных и водоотводящих сетей (учебное пособие) // Издательство МГСУ.-1998. (3,0 п.л.)

4. Орлов В.А. / Бестраншейная технология обновления и техническое обслуживание водопроводных и водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 1, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 1998. (5,5 п.л.)

5. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. / Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей (учебное пособие) // Изд. ТИМР.- 2000.- 179 с. (12 п.л. из них 4 п.л. лично автором)

6. Орлов В.А., Харькин В.А. / Систематизация и анализ патологий водоотводящих сетей, подлежащих восстановлению // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2001.- 2, с. 13-25 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

7. Орлов В.А., Харькин В.А. / Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2001.- 3.- с. 20-28 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

8. Орлов В.А. Зоткин С.П., Харькин В.А. Выбор оптимального метода бестраншейного восстановления безнапорных трубопроводов // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2001.- 4.- с. 30-34 (0,5 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

9. Орлов В.А., Харькин В.А. / Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов (монография) // Стройиздат.- 2001.- с. 96 (6,0 п.л. из них 3 п.л. лично автором)

10. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. / Опыт бестраншейного восстановления водопроводных и водоотводящих сетей г. Москвы // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2001.- 5.- с. 22-28 (0,5 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

11. Орлов В.А., Храменков С.В., Примин О.Г., Зоткин С.П., Шушкевич Е.В. / Устройство для анализа надёжности трубопроводов городской водопроводной сети // Свидетельство на полезную модель № 21295, Бюллетень № 1 от 10.01.2002 (1 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

12. Орлов В.А., Харькин В.А. / Разработка стратегии восстановления водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2001.- с. 15-32 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

13. Орлов В.А., Харькин В.А. / Систематизация и анализ патологий водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 3, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2001.- с. 31-45 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

14. Орлов В.А. / Стратегия восстановления водопроводных и водоотводящих сетей (монография) // Издательство АСВ.- 2001.- 96 с. (6 п.л.)

15. Орлов В.А., Харькин В.А. / Оценка гидравлической совместимости участков водоотводящих сетей при использовании бестраншейных технологий восстановления // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2001.- 8.- с. 19-23 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

16. Орлов В.А., Харькин В.А., Зоткин С.П. / Разработка автоматизированной системы поиска оптимального метода бестраншейного восстановления безнапорных трубопроводов // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 6, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2001.-с. 28-37 (0,5 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

17. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. / Опыт бестраншейного восстановления водопроводных и водоотводящих сетей г. Москвы // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 1, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.-с. 12-25 (0,5 п.л. из них 0,15 п.л. лично автором)

18. Орлов В.А. / Учёт фактора транспортирующей способности и гидравлической совместимости участков водоотводящих сетей при их бестраншейной реновации // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.- с. 4-24 (0,5 п.л.)

19. Орлов В.А. / Современные методы восстановления подземных трубопроводов водоотводящих сетей и анализ их возможностей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып.3, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.- с. 1-18 (0,5 п.л.)

20. Орлов В.А. / Последствия инфильтрации и эксфильтрации сточных вод при повреждении водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 3,

серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.- с. 19-23 (0,25 п.л.)

21. Храменков С.В., Орлов В.А., Харькин В.А. / Оптимизация восстановления водоотводящих сетей (монография) // Стройиздат.- 2002.- 160 с. (10 п.л. из них 4 п.л. лично автором)

22. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А. и др. / Водоснабжение и водоотведение (учебник для вузов, главы 11 и 12) // Стройиздат.-2002.- 335 с. (21 п.л. из них 1 п.л. лично автором)

23. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. / Бестраншейные методы восстановления трубопроводов (учебное пособие) // Прима-Пресс-М.- 2002.- 283 с. (12 п.л. из них 5 п.л. лично автором)

24. Орлов В.А. / Гидравлический расчёт водоотводящих сетей, прокладываемых бестраншейными методами // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР, 2002.- 6.- с. 23-25 (0,3 п.л.)

25. Орлов В.А. / Гидравлический расчёт водоотводящих сетей с помощью диаграмм состояния и компьютерных программ // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР, 2002.- 7.- с. 19-23 (0,3 п.л.)

26. Орлов В.А. / Бестраншейная реконструкция самотечных водоотводящих сетей // Журнал Строительство и архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып.4, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.- с. 1-80 (3 п.л.)

27. Орлов В.А. / Адресная прочистка водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 6, серия инженерное обеспечение объектов строительства, 2002.- с. 7-19 (0,5 п.л.)

28. Орлов В.А., Строков А.В. / Гидравлический расчёт безнапорных водоотводящих сетей с использованием номограмм и компьютерной программы // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 6, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2002.- с. 19-26 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

29. Примин О.Г., Храменков С.В., Орлов В.А. / Опыт бестраншейного восстановления городских водопроводных и водоотводящих сетей // Издательство Прима-Пресс-М, Проекты развития инфраструктуры города, серия Инженерные системы и оптимизация водопользования, выпуск 2. 2002.- с. 42-50 (0,5 п.л. из них 0,1 п.л. лично автором)

30. Орлов В.А. / Бестраншейное восстановление трубопроводов // Журнал изд. Наука РАН «Энергия: экономика, техника, экология».- 2003.- 4.- с. 33-36 (0,4 п.л.)

31. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. и др. / Устройство для анализа надёжности трубопроводов городской водоотводящей сети // Патент на полезную модель № 31137, Бюллетень № 20 от 20.07.2003 г. (0,8 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

32. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. и др. / Устройство для анализа надёжности трубопроводов городской водоотводящей сети // Патент на

изобретение № 2237784, Бюллетень № 28 от 10.10.2004 г. (0,6 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

33. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / Бестраншейное восстановление напорных трубопроводов методом протягивания полиэтиленовых труб // Журнал РОБТ, Изд. ТИМР.- 2003.- 6.- с. 16-25 (1 п.л. из них 0,3 п.л. лично автором)

34. Орлов В.А. / Использование диаграмм состояния и компьютерных программ для гидравлического расчёта водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 1, серия инженерное обеспечение объектов строительства-2003.- с. 74-78 (0,5 п.л.)

35. Орлов В.А. / Подходы к разработке долгосрочной стратегии восстановления и реконструкции сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2003.- с. 88-97 (0,5 п.л.)

36. Орлов В.А. / Лабораторный практикум по реконструкции и восстановлению инженерных сетей (учебное пособие) // АСВ.- 2004.- 120с. (7,5 п.л.)

37. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / К вопросу об интенсификации бестраншейного восстановления ветхих трубопроводов // Журнал Сантехника, Изд. «Авок-Пресс».- 2004.- 2.- с. 48-51 (0,5 п.л. из них 0,2 п.л. лично автором)

38. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / К технико-экономическому обоснованию выбора способа бестраншейной реконструкции ветхих трубопроводов // Журнал Сантехника, Изд. «Авок-Пресс».- 2004.- 3.- с. 34-36 (0,5 п.л. из них 0,15 п.л. лично автором)

39. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / К технико-экономическому обоснованию бестраншейного восстановления ветхих самотечных трубопроводов из традиционных труб полимерными // Журнал Сантехника, Изд. «Авок-Пресс».- 2004.- 4.- с. 30-34 (0,5 п.л. из них 0,15 п.л. лично автором)

40. Отставнов А.А., Орлов В.А., Харькин В.А. / К выбору участков безнапорных трубопроводов для приоритетного бестраншейного восстановления // Журнал Сантехника, Изд. «Авок-Пресс».- 2004.- 5.- с. 44-50 (0,5 п.л. из них 0,15 п.л. лично автором)

41. Орлов В.А. / Технологии восстановления трубопроводов методами силового безвибрационного продавливания и введением рукава из нержавеющей стали // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 4, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2004.- с. 80-83 (0,5 п.л.)

42. Храменков С.В., Орлов В.А., Харькин В.А. / Технологии восстановления трубопроводов бестраншейными методами (учебное пособие) // АСВ.- 2004.- 240 с. (14 п.л. из них 0,6 лично автором)

43. Отставнов А.А., Харькин В.А., Орлов В.А. / О кинетических возможностях реконструированных участков ветхих канализационных

трубопроводов // Журнал Сантехника, Изд. «Авок-Пресс».- 2004.-6.- с. 42-46 (0,5 п.л. из них 0,1 п.л. лично автором)

44. Орлов В.А. / Бестраншейные технологии как новое направление в строительстве и ремонте подземных трубопроводов // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства.-2004.- 41 с. (1,5 п.л.)

45. Орлов В.А., Отставнов А.А., Харькин В.А. / Методика выбора первоочередности реконструкции участков самотечной канализационной сети // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 1, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2005.- с. 82-88 (1 п.л. из них 0,3 п.л. лично автором)

46. Орлов В.А, Саломеев В.П., Побегайло Ю.П. и т.д. / Оценка остаточного ресурса напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Журнал Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций.- 2005.- 3-4.- с. 25-31 (0,5 п.л. из них 0,1 п.л. лично автором)

47*. Примин О.Г., Орлов В.А. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов // Журнал Водоснабжение и санитарная техника.- 2006.- 1.- ч. 1, с. 26—32 (1 п.л. из них 0,5 п.л. лично автором)

48. Орлов В.А., Хантаев И.С. / Функциональные зависимости между факторами, дестабилизирующими техническое состояние водоотводящих сетей // Журнал Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций, 2006.- №13.- с. 30-39 (1 п.л. из них 0,5 п.л. лично автором)

49. Орлов В.А. / Санация трубопроводов путем протягивания полиэтиленовых труб // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Экспресс-информация, вып. 1, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2005.- 60 с. (3 п.л.)

50. Орлов В.А. / Строительство и восстановление водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 2, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2006.- 58 с. (4 п.л.)

51. Орлов В.А., Хантаев И.С. / Анализ дестабилизирующих факторов, влияющих на техническое состояние водоотводящих сетей // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 4, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2006.- 79-92 с. (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

52. Орлов В.А., Орлов Е.В. / Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами (учебное пособие) //Изд. Инфра –М.- 2007.- 221 с. (14 п.л. из них 7 п.л. лично автором)

53. Орлов В.А., Хантаев И.С., Орлов Е.В. и др. / Оценка состояния трубопроводов городских водопроводной и водоотводящей сетей для выбора объекта ремонта или реконструкции // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 6, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2006.- 76-87 с. (1 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

54. Отставнов А.А., Алифференков А.Д. Орлов В.А. и др. / Проектирование и монтаж водопроводных и канализационных сетей с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом СП 40-109-2006 Официальное издание. Федеральное агентство по строительству и ЖКХ Российской Федерации // ФГУП «Центр проектной продукции в строительстве».- 2006.- 48 с. (6 п.л. из них 0,1 п.л. лично автором)

55. Орлов В.А., Хантаев И.С. / Влияние дестабилизирующих факторов на работоспособность водоотводящих сетей урбанизированных территорий Экология урбанизированных территорий.- 2007.- 3.- с. 43-51 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

56. Орлов В.А. Саломеев В.П., Побегайло Ю.П. и др. / Устройство для анализа и повышения надежности напорных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Патент на полезную модель № 41748, Бюллетень № 31 11.11.2004 (0,5 п.л. из них 0,15 п.л. лично автором)

57. Орлов В.А., Хренов К.Е. / Восстановление трубопроводов полимерным рукавом // Журнал Строительство и Архитектура, Изд. ВНИИНТПИ Госстроя РФ, Обзорная информация, вып. 4, серия инженерное обеспечение объектов строительства.- 2007 (3 п.л. из них 1,5 п.л. лично автором)

58. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. / Реконструкция трубопроводных систем (монография) // АСВ.- 2008.- 215 с. (14 п.л. из них 5 п.л. лично автором)

59*. Орлов В.А. / Гидравлические исследования и расчет самотечных трубопроводов из различных материалов // Журнал Водоснабжение и санитарная техника.- 2008.- 8.- с.45-49 (0,5 п.л.)

60. Орлов В.А. / Бестраншейные технологии в учебном процессе // Журнал РОБТ Изд. ТИРМ. –2004.- 5.- с. 5 (0,2 п.л.)

61*. Орлов В.А., Хантаев И.С. / Исследование дестабилизирующих факторов, влияющих на работоспособность водоотводящих сетей // Журнал Вестник МГСУ.- 2008.- 4.- с. 116-121 (0,5 п.л. из них 0,25 п.л. лично автором)

62*. Орлов В.А., Орлов Е.В. / Остаточный ресурс напорных стальных трубопроводов систем водоотведения // Журнал Вестник МГСУ.- 2008.- 4.-с. 122-127 (0,5 п.л. из них лично автором 0,25 п.л.)

63*. Орлов В.А. / Внутренние полимерные покрытия для трубопроводов // Журнал Строительные материалы.-2009.-2.- с. 57-59 (0,5 п.л.)

64. Орлов В.А. / Защитные покрытия трубопроводов (монография) //Издательство АСВ.- 2009.- 128 с. (8 п.л.)

65*. Орлов В.А. / Пути обеспечения санитарной надежности водопроводных сетей // Журнал Вестник МГСУ.- 2009.- 1.-с. 181-187 (0,5 п.л.)

66*. Орлов В.А. / Гидравлические исследования и расчет напорных трубопроводов, выполненных из различных материалов // Журнал Вестник МГСУ.- 2009.- 1.-с. 177-180 (0,5 п.л.)

67*. Баклашов И.В., Примин О.Г., Орлов В.А и др. / Прочностной расчет двухслойных конструкций «трубопровод + полимерный рукав» // Журнал Водоснабжение и санитарная техника.- 2009.- 4.-с. 27-29 (0,5 п.л. из них лично автором 0,15 п.л.)

68*. Орлов В.А. / Программа прочностного расчета трубных конструкций «материал трубопровода + полимерный рукав» и анализ ее работы // Журнал Вестник МГСУ.- 2009.- 2.-с. 162-166 (0,5 п.л.)

69*. Орлов В.А. / Тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей // Журнал Вестник МГСУ.- 2009.- 2.-с. 167-171 (0,5 п.л.)

* статьи в сборниках, рекомендуемых ВАК