

На правах рукописи



ЧУПИН Роман Викторович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЗВИТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ
ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВАРИАТИВНОСТИ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОТВЕДЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД**

Специальность 05.23.04

**Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Пенза 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,
Примин Олег Григорьевич

Официальные оппоненты: **Орлов Владимир Александрович**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»,
заведующий кафедрой «Водоснабжение и
водоотведение» (г. Москва)

Терехов Лев Дмитриевич,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Петербургский университет путей сообщения
императора Александра I», профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение и
гидравлика» (г. Санкт-Петербург)

Игнатчик Светлана Юрьевна,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»,
профессор кафедры «Водопользование и
экология» (г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный
университет имени В.И. Вернадского» (г. Симферополь)

Защита состоится «25» декабря 2020 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.184.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, 1 корпус, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» <http://dissovet.pguas.ru/>

Автореферат разослан “___” _____ 2020 года

Учёный секретарь
диссертационного совета



Бикунова Марина Викторовна

Актуальность работы. Переход к рыночной экономике, реформирование ЖКХ в условиях значительного износа инженерных коммуникаций, отсутствие достаточных материальных ресурсов на их реновацию значительно обострили проблемы надежности и экологической безопасности систем водоотведения городов и населенных мест России. В этих условиях оптимальный путь – четкое понимание проблем с водоснабжением и водоотведением, совершенствование нормативной базы и механизмов финансирования, разработка оптимальных схем их развития и модернизации, с учетом факторов надежности и экологической безопасности.

Для реализации такой стратегии и определения долгосрочной перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения городов и населенных мест России, утверждены ряд основополагающих законов и десятки постановлений. Декларируемая в этих документах государственная политика в сфере водоснабжения и водоотведения включает формирование перспективных схем и их реализацию через инвестиционные программы предприятий коммунального комплекса.

Перспективная схема разрабатывается на срок не менее 10 лет, а инвестиционная программа на срок не менее 3 лет, и эти документы могут ежегодно корректироваться. При этом инвестиционная программа является инструментом для определения объемов финансирования строительства и реконструкции систем водоотведения за счет формирования тарифа на подключения новых абонентов, привлечения государственных вложений и других источников финансирования. Специфика такого финансирования состоит в том, что инвестиции генерируются самим проектом (проектное финансирование).

Современные системы водоотведения (СВО) отличаются значительной аварийностью. Всю чаще наблюдается режимы выхода сточных вод на поверхность земли и попадание их в водоемы. Поэтому вопросы повышения надежности, экологической безопасности и режимной управляемости систем водоотведения при их развитии и реконструкции в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод, снижения водопотребления становятся актуальными и

требуют их учета при обосновании параметров и моделей развития перспективных схем систем водоотведения, что является главной целью диссертации.

Степень разработанности исследования. Вопросам развития и реконструкции систем водоотведения посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов. Большой вклад в это направление внесли: С.В. Яковлев, В.С. Дикаревский, Н.Ф. Федоров, Н.У. Койда, О.Г. Примин, Е.И. Пупырев, М.И. Алексеев, Ю.А. Ермолин, В.М. Васильев, В.И. Щербаков, В.В. Найденко, В.С. Игнатчик, С.Ю. Ильина, В.А. Орлов, В.И. Калицун, Е.М. Гальперин, Ф.В. Кармазинов, И.А. Абрамович, Башару Таофик, М. Роман, Г. Донд, А.И. Грей и др. Многие работы этих авторов являются пионерными и посвящены исследованиям закономерностей движения сточной жидкости, решению отдельных задач расчета и обоснования параметров ливневой, бытовой и промышленной канализации. Однако большинство из них выполнены во второй половине прошлого столетия и ориентированы на ручной расчет и централизованную систему управления развитием систем водоотведения, не учитывают современные принципы формирования инвестиций, неопределенность перспективного водопотребления и водоотведения, сложившуюся тенденцию к значительному снижению водопотребления, требования создания электронных моделей при разработке вариантов их развития и реконструкции. Недостаточно проработаны вопросы оценки и повышения надежности, сейсмостойкости, режимной управляемости, динамики развития, отсутствуют методы оптимизации проектных решений с учетом требований к рациональному распределению выделяемых инвестиций в строительство новых и реконструкцию существующих систем водоотведения с учетом их жизненного цикла. Следует отметить, что все методы расчета систем водоснабжения и водоотведения, разработанные в прошлом столетии, предусматривали, что удельные объемы водопотребления и водоотведения являются неизменными и определяются только степенью благоустройства.

Однако в последние годы произошло значительное снижение общего и удельного объемов водопотребления в городах России, что привело к

корректировки этих значений в СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» до 195-220 л/чел в сутки.

Очевидно, разработанные в прошлом столетии основы расчета систем водоснабжения и водоотведения не соответствуют требованиям времени. Таким образом, актуальна **научная проблема - совершенствование и разработка новых моделей и методов развития и реконструкции систем водоотведения в условиях снижения водопотребления в большинстве городов и населенных мест России**, решение которой имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для страны. Сформулированная научная проблема логически вытекает из актуальности и степени научной разработанности темы и соответствует потребности на нормативном и законодательном уровне в новых методах и моделях развития и реконструкции систем водоотведения.

Объектом исследования являются системы водоотведения населенных мест и городов. **Предметом исследования** – модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод

Целью исследований является разработка теоретических основ и **практическая реализация новых моделей и методов расчёта и проектирования** перспективных схем развития систем водоотведения крупных населенных пунктов, направленных на повышение экономичности, надежности и экологической безопасности отведения и очистки сточных вод.

Задачи исследования. Поставленная цель направлена на разработку теоретических и практических основ и методов оптимизации многоуровневых, развивающихся систем водоотведения и реализуется путем решения следующих взаимосвязанных **задач**:

1. Анализ существующей методологии проектирования систем водоотведения, обоснование необходимости её развития в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод и различных режимов их транспортирования.

2. Совершенствование методологии гидравлического расчета СВО для напорно-безнапорного движения сточных вод, возникающего в связи с превышением расчётных расходов на участках водоотводящих сетей разветвлённых и многоконтурных структур.

3. Совершенствование методов оптимизации проектных решений систем водоотведения для долгосрочных и краткосрочных периодов их реконструкции и развития, отличающихся от известных методов учетом:

- технико-экономических рисков от принимаемых решений;
- фактора надёжности работы СВО;
- вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- жизненного цикла проектируемых сооружений системы водоотведения.

4. Оценка возможности и обоснование эффективности применения разгрузочных, кольцующих самотечных сетей, а также напорных коллекторов и трубопроводов, обеспечивающих повышение пропускной способности СВО.

5. Получение математических зависимостей, позволяющих произвести оценку капитальных и эксплуатационных затрат при различных режимах работы разветвлённых и многоконтурных СВО.

6. Разработка программного комплекса, реализующего новые методологические подходы к расчётам водоотводящих сетей населённых пунктов с учётом перспектив их развития.

7. Определение расчётного технико-экономического эффекта от применения разработанных методик и программ при проектировании развивающихся и реконструируемых СВО населенных пунктов РФ.

В процессе исследований получены **новые научные результаты**, определяющие **научную новизну** диссертационной работы:

1. Разработаны новые методы и модели развития и реконструкции систем водоотведения, которые основываются на использовании информационных технологий и отличаются от существующих учетом проектного финансирования, вариативностью перспективного водоотведения сточных вод, оценкой технико-экономических рисков от принимаемых решений, оптимальностью распределения

инвестиций в строительство новых и реконструкцию существующих сетей и сооружений.

2. Предложен и реализован на практике новый подход к расчету потокораспределения в канализационных сетях, отличающийся учетом напорно-безнапорных режимов движения жидкости в трубопроводах и коллекторах.

3. Впервые в задачах оптимизации развития и реконструкции систем водоотведения предложены и исследованы методы повышения их режимной управляемости, надежности и сейсмостойкости на основе оценки технико-экономических и гидравлических параметров кольцевых напорных и безнапорных трубопроводов.

4. Разработана новая методика оптимизации параметров и функционирования многоуровневых систем водоотведения, отличающаяся тем, что в комплексе учитывает технико-экономические и гидравлические параметры всех уровней сбора и транспортировки сточных вод.

5. Получены новые математические зависимости: изменения капиталовложений и издержек эксплуатации от гидравлических параметров трубопроводов самотечной канализации; объемов сточных вод, выходящих на поверхность земли в результате аварийных ситуаций, от расхода сточной жидкости, транспортируемой по участкам самотечных коллекторов.

6. Впервые в задачах моделирования развития и реконструкции систем водоотведения для обоснования вариантов развития, анализа и оптимизации использована теория принятия решений и модели нечетких множеств и учтён фактор неопределенности информации о прогнозных величинах удельного водопотребления.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Теоретически обоснованы новые модели и методики реконструкции и развития систем водоотведения, отличающиеся учетом финансирования инвестиционных проектов, в условиях вариативности перспективного водоотведения сточных вод, технико-экономических рисков и жизненного цикла системы, с учетом сейсмического районирования.

2. Разработанные и исследованные методы учитывают фактор финансирования инвестиционных проектов, вариативность перспективного водоотведения сточных вод, показатели надежности и сейсмостойкости как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих СВО. Применение данных методов на каждом из этапов моделирования развития систем водоотведения позволяет в комплексе оптимизировать проектные решения и существенно повысить их обоснованность и технико-экономическую эффективность.

3. Предложенные подходы к оптимизации режимов работы систем водоотведения позволяют производить оценку не только эффективности и технической реализуемости принимаемых решений развития систем водоотведения, но и анализировать надежность и режимную управляемость существующих сетей и сооружений.

4. Разработанные модели и методы анализа и оптимизации новых и реконструируемых СВО реализованы в ПК TRACE-VK, который доказал свою вычислительную и экономическую эффективность при разработке программ развития СВО городов Иркутской области, что позволило минимизировать объемы инвестиций и оптимально распределить их по этапам развития, в том числе в строительство новых и реконструкцию существующих сетей и сооружений.

Положения, выносимые на защиту.

1. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения, отличающиеся от существующих учетом системы проектного финансирования, вариативностью перспективного отведения сточных вод, оценкой технико-экономических рисков и учетом жизненного цикла системы, обеспечивающие возможность оценить надежность, управляемость и экологическую безопасность проектируемых и реконструируемых систем водоотведения.

2. Математические модели потокораспределения в разветвленных и кольцевых системах водоотведения, отличающиеся тем, что учитывается их работа в напорно-безнапорном режимах движения сточных вод и варианты аварийного выхода их на поверхность земли.

3. Математические зависимости: изменения капиталовложений и издержек эксплуатации от гидравлических параметров трубопроводов самотечной канализации - объемов сточных вод, выходящих на поверхность земли в результате аварийных ситуаций, расхода сточной жидкости, транспортируемой по участкам самотечных коллекторов, которые обосновывают выбор метода и результаты оптимизации развития и реконструкции систем водоотведения.

4. Методы оптимизации многоуровневых развивающихся и реконструируемых систем водоотведения.

5. Алгоритм и структура программного комплекса TRACE-VK, который в сравнении с распространяемым в России и за рубежом SWMM5 (и ее модификации), позволяет рассчитывать кольцевые системы, оптимизировать структуру и параметры развивающихся и реконструируемых систем водоотведения с учетом обеспечения их надежности, сейсмостойкости и режимной управляемости.

Достоверность результатов диссертационной работы основывается на сборе и обработке с использованием современных вероятностно-статистических методов и вычислительной техники обширных эксплуатационных данных по функционированию трубопроводных систем, сбора и транспортировки сточных вод ряда городов Сибири и разработке на их основе математических моделей функционирования и управления развитием систем водоотведения, применением апробированных на практике научно-методического аппарата теории и практики надежности сложных инженерных систем массового обслуживания.

Численные эксперименты, широкое внедрение результатов работы, сопоставление расчетных и реальных замеров режимов работы систем водоотведения подтверждают достоверность полученных научных результатов.

Внедрение результатов. Результаты диссертационных исследований использованы при разработке перспективных схем развития систем водоотведения в составе программ комплексного развития инженерной инфраструктуры городов Иркутск, Ангарск, Шелехов, Байкальск. При этом экономическая эффективность от применения разработанных методик составила 256.81 млн. руб. (в ценах 2019 г.)

по сравнению с проектными решениями, полученными традиционными методами проектирования.

Программный комплекс TRACE-VK внедрен в Водоканалах указанных городов, а также в городах: Твери, Тбилиси (Грузия), Эрденэт и Улан-Батор (Монголия), где и используется при автоматизации и диспетчеризации, а также при разработке инвестиционных программ предприятий коммунального комплекса. Теоретические и практические положения диссертации применяются в учебном процессе по дисциплинам: Водоснабжение и водоотведение, «Автоматизация эксплуатации и проектирования городских инженерных систем».

Апробация работы. Основные положения диссертационных исследований обсуждались на 16 конференциях, школах и семинарах: На 9-й Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Безопасность-04» (23апреля 2004, Иркутск); На постоянно действующем научном семинаре: «Трубопроводные системы энергетики»: (2004., Минск, Белоруссия), (2010., Ай Петри, Крым, Украина), (2011., п. Кореиз, г. Ялта, АР Крым, Украина), (2012., Москва), (2014., Белокуриха, Алтайский край);(2017., г. Иркутск, Байкал, 2018., г. Иркутск, Байкал); На Международном научном конгрессе: «Энергосбережение и информационные технологии», 2013., г. Евпатория, АР Крым, Украина); На постоянной международной научно-практической конференции: «Ресурсосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве», соответственно, III- 2009., IV- 2011., V – 2013., VI- 2015., Иркутск; На постоянной научно-практической конференции студентов и аспирантов ИрГТУ: « Вода и экология» в 2012., 2013., 2014 гг.; На международной научно-практической конференции «Инновационные системы отведения», Петрозаводск. 12-14 ноября 2014г. На международной научно-технической конференции в онлайн режиме «Строительство, архитектура и техносферная безопасность» с 21.09-22.09.2017. ИРНТУ - Южно-уральский Гос. Университет – Дальневосточный Федеральный университет; 2015, 2017 гг., «Яковлевские чтения», 2018 год.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 74 работах, в том числе в 2-х монографиях и в 34 статьях в журналах из перечня ВАК. Опубликовано 9 работ в БД Scopus.

Личное участие автора состоит: в постановке цели и задач диссертации, обобщении и верификации полученных результатов, формулировки основных научных положений, выносимых на защиту, их опубликовании и апробации, в разработке и практической реализации и обоснования моделей и методов расчёта и обоснования перспективных схем развития систем водоотведения, направленных на повышение экономичности, надежности и экологической безопасности отведения и очистки сточных вод; в получении, анализе и обобщении результатов теоретических и модельных исследований и их внедрение в практику проектирования.

Под руководством автора в этом направлении защищена кандидатская диссертация в 2016 г.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем 260 страниц, в т. ч. 22 таблицы, 170 рисунков. Список литературы содержит 233 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формируются цели и задачи исследования, доказывается научная новизна и практическая значимость, приводятся результаты апробации.

В первой главе произведен анализ исследовательской и нормативной базы в области моделирования и оптимизации систем водоотведения, дана содержательная постановка и предложена методология оптимального управления развитием систем водоотведения в условиях проектного финансирования, вариативности перспективного отведения сточных вод, оценки технико-экономических рисков и учета жизненного цикла системы, обеспечивающие возможность оценить надежность, управляемость и экологическую безопасность проектируемых и реконструируемых систем водоотведения.

Предлагается с учетом разработанных моделей и методов следующая методология и последовательность решения задач по обоснованию параметров перспективных схем развития систем водоотведения.

Этап 1. Назначается временной интервал реализации схемы водоотведения и на основании срока действия инвестиционных программ определяются этапы реализации схемы водоотведения. При этом на основе перспективного развития городской территории осуществляется прогноз объемов отведения сточных вод по каждому этапу развития системы водоотведения, учитывая возможный диапазон изменения удельных нагрузок водоотведения. На этом этапе применяется теория нечётких множеств и формируется нечёткое представление не только об удельных значениях объемов сточных вод, но и по другим, в том числе стоимостным показателям строительства и эксплуатации систем водоотведения.

Этап 2. Определяются участки и сооружения, требующие замены и реконструкции. С учетом развития и застройки новых территорий, а также и внутри застроенных районов, исследуются и формируются коридоры для прокладки новых сетей и для устройства новых сооружений (КОС, КНС, резервуаров). На этом этапе на основе моделей и методов потокораспределения производится оценка пропускную способность сети, ее надежность, управляемость и сейсмостойкость и намечаются пути повышения этих показателей. На основе возможных трасс и устройства сооружений формируется избыточная схема в виде расширенного графа, являющегося основой для оптимизации проектных решений.

Этап 3. Производится оценка инвестиций в строительство каждого этапа реализации схемы развития СВО и определяются источники финансирования (плата за подключение, целевое финансирование, займы и кредиты в банках).

Этап 4. С учетом вариативности водопотребления и других экономических показателей анализируются варианты развития системы водоотведения по всем этапам ее строительства и реализации. При этом для каждого фиксированного значения удельных показателей водоотведения и фиксированных значений инвестиций применяется комплекс оптимизационных моделей и методов поиска оптимального решения на избыточных проектных схемах с учетом факторов

надежности, управляемости и сейсмостойкости. В итоге формируется допустимое локально-оптимальное множество вариантов жизненного цикла системы водоотведения.

Этап 5. Выбирается оптимальный вариант развития и осуществляется строительство первой очереди. На этом этапе на основе полученного множества вариантов жизненного цикла системы формируется матрица рисков и выбирается для строительства первой очереди вариант с наименьшими технико-экономическими рисками. Для выбранного варианта и его первой очереди строительства уточняются параметры системы на основе дискретных моделей оптимизации по схеме динамического программирования.

Этап 6. По мере реализации первой очереди строительства оцениваются целевые и плановые показатели (индикаторы), уточняются стоимости нового оборудования и сооружений, определяются значения фактического удельного водоотведения и формируются интервалы их возможных значений в перспективе. Осуществляется переход к этапу 1.

В итоге реализуется принцип индикативного и адаптивного управления развитием систем водоотведения.

Для капиталоемких и долгосрочных проектов методическими указаниями рекомендуется (МРР-3.2.23-97) применять критерий дисконтированных приведенных затрат, который применительно к СВО можно представить следующим образом:

$$Z_{\tau} = \sum_{v=1}^V \{K_v \cdot (1+E)^{\tau-\theta(v-1)} + I_v \cdot (1+E)^{\tau-\theta v} \cdot [(1+E)^{\theta} - 1]\} + I_n \cdot \frac{(1+E)^{\tau-T}}{E}, \quad (1)$$

где $v = 1, \dots, V$ – индексы и количество очередей строительства; K_v, I_v – капиталовложения и издержки на шаге v ; τ – год приведения затрат; T – период развития системы; θ – шаг дискретизации; E – коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений – обратная величина сроку окупаемости, который рекомендуется определять на основе прогнозных тарифов на коммунальные услуги; $(1+E)^{\tau-\theta(v-1)}$ – коэффициент отдаленности затрат, учитывающий уменьшение значимости затрат, совершаемых через t лет; I_n –

издержки эксплуатации, возникающие после завершения строительства системы водоотведения. Например, согласно ФЗ 416 схема водоотведения, рассчитанная на 15 лет ($T=15$), будет реализована в три очереди ($V=3$) в рамках трех инвестиционных программ по пять лет каждая ($\theta=5$), год приведения затрат ($\tau=15$). Капиталовложения на шаге K_v включают затраты на строительство новых объектов, замену отслуживших свой срок сооружений и при изменении производительности, затраты в их реконструкцию. Издержки эксплуатации I_v , по мимо основных составляющих, включают затраты на ликвидацию аварийных ситуаций, экологические и др. ущербы. Таким образом критерий (1) является комплексным и учитывает затраты жизненного цикла системы.

Для поиска оптимального решения с учетом критерия (1) предлагается методика, основанная на предварительном построении избыточных проектных схем систем водоотведения. Избыточная схема формируется путем назначения или наложения альтернативных вариантов развития систем водоотведения. Например, проектировщики с учетом возможной застройки, проведенных изысканий, рельефа местности и т.п., наметили два варианта трассировки системы водоотведения, которые представлены на рисунке 1а, б. Эти два варианта можно заменить одним графом, представленном на рисунке 1в, для которого уже можно насчитать 8 вариантов трассировки системы водоотведения. В рамках городской застройки можно построить такой граф, который будет содержать множество возможных вариантов.

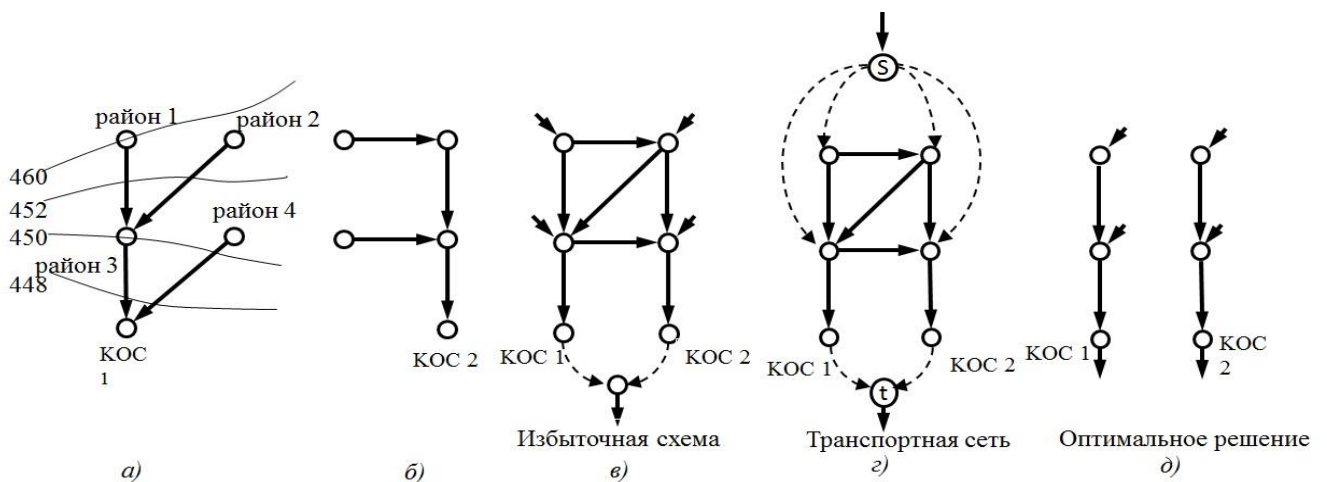


Рисунок 1 – Иллюстрация к оптимизации СВО на графах и сетях

При этом можно обозначить на тех или иных участках сети возможные способы их реконструкции (параллельная прокладка, перекладка, прокладка нового коллектора, устройство насосных станций и др.), а в отдельных узлах и наметить расположение очистных сооружений с различными технологиями очистки сточных вод. Задача будет состоять в отбраковке неэффективных (по критерию 1) участков и узлов избыточной схемы системы водоотведения.

В настоящее время практически во всех городах РФ наблюдается значительное уменьшение удельного водопотребления и водоотведения. Например, для г. Иркутска за последние 17 лет оно уменьшилось с 300 до 191 л/чел в сутки. Возможно, что к концу реализации утвержденной схемы водоснабжения и водоотведения (к 2035г.) оно будет либо уменьшаться и достигнет предельного значения в 100 л/чел в сутки, либо вернется к прежним значениям.

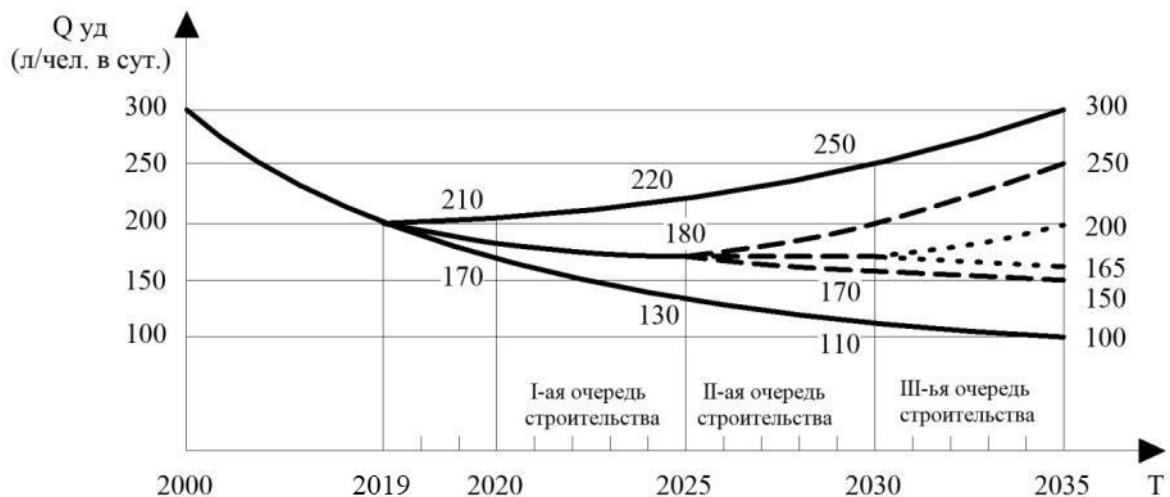


Рисунок 2 - Возможные интервалы изменения удельного водопотребления за период реализации схемы водоотведения

На рисунке 2 показаны возможные интервалы и траектории изменения значений удельного водопотребления по этапам развития системы водоотведения. Для первой очереди строительства возможный диапазон удельных нагрузок составит (130-220 л/чел в сут.), для второй- (110-250 л/чел в сут.), для третьей- (100-300 л/чел в сут.).

Предлагается, используя теорию нечетких множеств, для каждой очереди строительства интервалы возможных нагрузок разбивать на n значений. В итоге с учетом функции принадлежности (предпочтения) формируются n вариантов

развития системы водоотведения. Для каждого варианта производится обоснование (оптимизация по критерию (1)) параметров системы водоотведения сразу для всех (в данном случае трех) очередей строительства. При этом вариант, для которого расчетные инвестиции в строительство первой очереди превышают возможные средства, формируемые в инвестиционных программах, из рассмотрения исключается. Например, для проектируемой системы водоотведения стоков от п. Листвянка (оз. Байкал) до очистных сооружений г. Иркутска протяженностью 72 км, произведена разбивка расходов и получены четыре варианта развития системы водоотведения (см. таблицу 1). Для каждого из исследуемых вариантов развития системы водоотведения оцениваются финансовые риски. Для этого, используя методологию принятия решения, строится «матрица финансовых рисков», которая имеет вид, представленный в таблице 2.

Таблица 1 - Варианты развития системы водоотведения в три очереди

Вариант	ΣQ (л/с)	Q_I (л/с)	Q_{II} (л/с)	Q_{III} (л/с)	Приведенные затраты (млн. руб.)
1	286,4	75,2	95,5	115,7	55,095
2	421,42	92,56	136	192,86	81,512
3	556,5	110	176,5	270	106,037
4	691,5	127,3	217	347,2	128,331

Таблица 2 - «Матрица финансовых рисков»

ΣQ (л/с)	286,4	421,42	556,5	691,5	Σ млн. руб.
286,4	0	29,087	54,021	78,277	161,385
421,42	26,417	0	31,144	51,630	109,191
556,5	50,942	24,525	0	35,936	111,403
691,5	73,236	46,819	22,294	0	142,349
Min max	73,236	46,819	54,021	78,277	46,819

В этой матрице в первой строке и первом столбце представлены значения исследуемых расчетных расходов. На диагонали расположены «нулевые» значения затрат - рисков, что означает совпадения принятого значения расходов с теми, которые будут после реализации проекта (вариант 100% совпадения). Величины

справа от диагонали обозначают значения рисков от того, что фактическое значение расходов сточных вод после реализации проекта будет больше их значений, назначенных в проекте. Например, выбран расход 286.4 л/с, на который запроектирована и построена система водоотведения, а на момент завершения строительства расход оказался 421.42 л/с, т.е. на 135.02 л/с больше. Следовательно, потребуется дополнительная реконструкция с приведенной стоимостью 29.09 млн. руб. в год (см. таблицу 2). Если расход окажется 691.5 л/с, то риск уже будет в 78.277 млн. руб. в год. Слева от диагонали в матрице будут располагаться значения рисков, связанные с завышением параметров и, следовательно, с излишними капиталовложениями. Например, выбран расход 421.42 л/с, а после реализации проекта, он оказался 286.4 л/с. Для варианта с расходом 421.42 л/с затраты составляют 81.512 млн. руб. в год, а при расходе 286.4 л/с затраты будут равны 55.095 млн. руб. в год. Следовательно, величина риска вычисляется как $81.512 - 55.095 = 26.417$ млн. руб. В последнем столбце «матрицы рисков» представлены максимальные риски по каждому варианту принятия расчетного расхода. Последний элемент этого столбца соответствует минимальному значению из максимальных рисков. Следовательно, предпочтительным с позиции суммарных минимальных рисков будет вариант с расходом 421.42 л/с. Если выделяемые для первой очереди строительства инвестиции известны, например, 23 млн. руб., то четвертый вариант из рассмотрения исключается (см. таблицу 3). Если эти инвестиции составят 15 млн. руб. и меньше, то решается задача распределения этих инвестиций в развитие системы водоотведения. Итогом расчета будут величины расходов от абонентов, от которых можно отвести сточные воды за эти деньги. В нашем примере за 15 млн. руб. можно отвести сточные воды от абонентов лишь в размере 213.6 л/с.

Таблица 3 - Капиталовложения по каждому из вариантов строительства

Вариант	Расход, л/с	Капиталовложение, Кв (млн. руб.)		
		I-ая очередь	II-ая очередь	III-ья очередь
1	286,4	17,8	12,0	12,9
2	421,4	20,0	13,2	14,8

3	556,5	22,5	14,3	16,0
4	691,5	23,9	15,1	17,2

Предположим, для строительства первой очереди выбран вариант 2, которому соответствует удельный расход в 160 л/чел в сут. На момент завершения строительства фактический удельный расход может оказаться другим, например, 180 л/чел в сут. С учетом фактического удельного расхода, снова формируются их возможные значения для второй и третьей очереди (см. рисунок 2 штриховые линии). Формируются варианты развития, строится «матрица рисков» и выбирается вариант строительства второй очереди. После завершения строительства второй очереди на основе фактического удельного водоотведения снова производится прогноз объемов сточных вод (см. рисунок 2 пунктирные линии) и снова строится функция принадлежности для третьей очереди строительства и «матрица рисков» и т.д.

В работе на основании проведенных численных экспериментов сделан вывод, что самотечные коллектора можно проектировать на максимальные прогнозные удельные значения водоотведения, а напорные трубопроводы требуется рассчитывать на их минимальные значения. Если СВО имеют напорные и безнапорные участки сети, то ответ можно получить лишь после проведения расчетов по изложенной выше методике.

Во второй главе исследованы закономерности изменения напорно-безнапорного движения сточных вод, которые возникают в связи с превышением расчетных объемов поступления сточных вод, предложена на основе построения циклических схем методика моделирования таких режимов с оценкой образования противотоков и выхода сточных вод на поверхность земли, рассмотрены вопросы моделирования систем водоотведения кольцевой структуры.

Предложенная методика основана на построении циклических схем с выделением пассивных, активных и фиктивных ветвей. Например, для исследуемого варианта, представленного на рисунке 3а, пассивные участки: коллектора 1-2; 2-3; колодцы 4-1; 5-2; 6-3 (см. рисунок 3б). Все колодцы замыкаются фиктивными ветвями на общий узел с атмосферным давлением (узел

0). Фиктивные участки: 0-4; 0-5; 0-6 моделируют поступление сточных вод в систему водоотведения, ветвь 3-0 – сброс сточных вод в приемный резервуар КОС. Каждой фиктивной ветви приписаны действующие напоры, равные геодезическим отметкам верха колодцев.

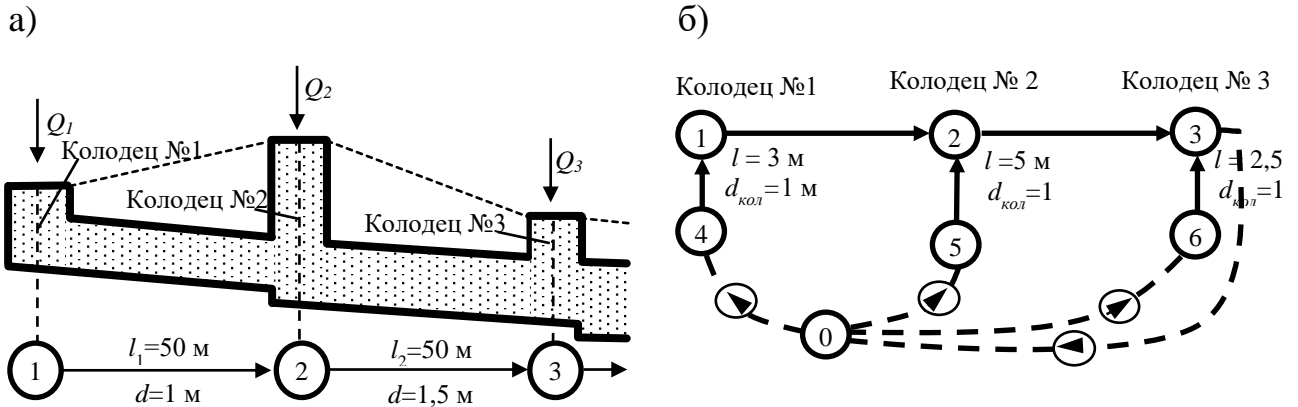


Рисунок 3 - Методика расчета напорных и безнапорных режимов в СВО

В итоге в соответствии с рисунком 3,б получаем гидравлическую цепь в виде циклического графа с весовыми функциями на участках и в узлах схемы. Для данной гидравлической цепи справедливы уравнения – аналоги первого и второго законов Кирхгофа, которые в векторно-матричной форме имеют вид:

$$A \cdot q = 0, \quad (1)$$

$$A^T P = y; \quad y = h - H, \quad h = f(q, I), \quad (2)$$

где: A – матрица соединения узлов и участков схемы, t – знак транспонирования; q, P, h, H, I – вектора расходов сточной жидкости, м³/с, узловых пьезометрических напоров, потерь напоров, действующих напоров по участкам сети, уклонов трубопроводов. Уравнения линейные и квадратичные, и решаются методом Ньютона, в точности как это делается и при расчете водопроводных кольцевых сетей. Итогом решения данных уравнений будут величины расходов и направления их движения на фиктивных и пассивных ветвях. Направление потоков на фиктивных ветвях от узлов – колодцев к нулевому узлу укажет на наличие выхода сточных вод на поверхность земли. Для данного примера в соответствии с рисунком 4, а, б сточные воды будут поступать в колодец 2, перемещаться в обратном направлении к колодцу 1, и будут выливаться на поверхность земли из колодцев 1 и 3. Разработанная методика и ее программная реализация позволяет

смоделировать не только реальную картину движения стоков в системе водоотведения, но и определить её максимальную пропускную способность.

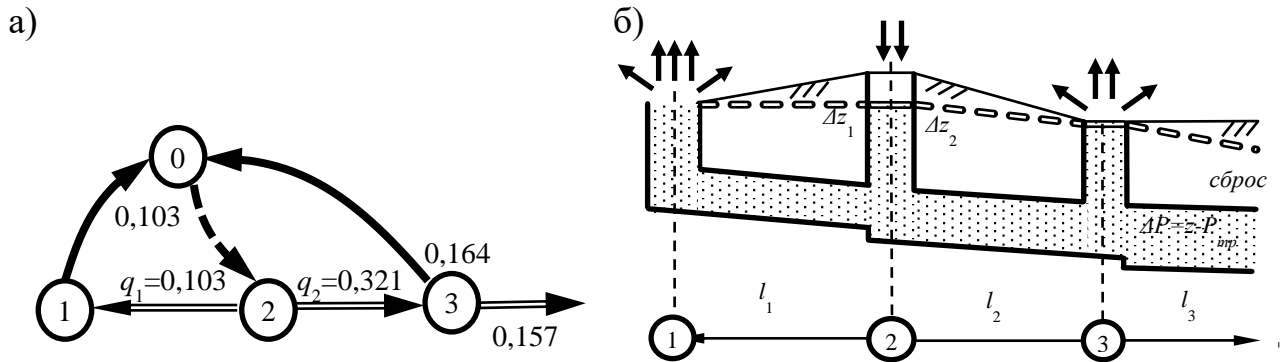


Рисунок 4 – Потокораспределение в СВО

Также с помощью предлагаемой методики для ливневой канализации можно определить не только объемы сточных вод, выходящих на поверхность земли, но и уровень и площади подтопления территории, что очень важно при оценке последствий от сильных дождей и наводнений. Известно, что ливневая канализация проектируется с учетом неравномерного режима формирования поверхностного водостока и времени его движения по коллекторам полным сечением. Вместе с тем, методика расчета ливневой канализации, изложенная в своде правил СП 32.13330.2012, не предусматривает проверку работоспособности систем ливневой канализации даже на случай расчетной интенсивности дождей. Предлагаемая в работе методика позволяет это делать и позволяет смоделировать любую аварийную ситуацию, включая разной степени засоры в коллекторе, и определить колодцы, из которых сточные воды будут выходить на поверхность земли.

В третьей главе. На основе критерия дисконтированных приведенных затрат сформулирована и исследована задача оптимизации развивающихся систем водоотведения. Показано, что оптимальное решение для новых сетей СВО соответствует структуре в виде дерева, а при наличии реконструируемых участков сети, возможны и кольцевые решения.

В диссертации на основании укрупненных нормативов цен на строительномонтажные работы НЦС 81-02-14-2017 и, используя гидравлические соотношения для напорных и безнапорных трубопроводов, получены зависимости

капиталовложений, эксплуатационных затрат, приведенных затрат от расхода транспортируемой сточной воды x , а их удельные показатели на единицу длины и на 1 м³ сточной воды - есть стоимость потока.

К примеру, приведенные расчетные затраты по безнапорному участку сети i , в расчете на 1 км длины коллектора составляют, тыс. руб. в год:

$$C_i = x_i^{0,411} \cdot (1,442 \cdot a \cdot \Gamma^\alpha \cdot N^{0,411} + 0,1 \cdot b \cdot \Gamma^\beta) + 0,116 \cdot b \cdot \Gamma^\beta + 56,25 \cdot x_i^{0,3}. \quad (3)$$

По напорному участку сети i :

$$C_i = 8211,95 \cdot x_i \cdot v_i^{-1} + 1969,8 \cdot x_i^{0,5} \cdot v_i^{-0,5} + 598,9 + 69,34 \cdot Z_{\text{элк}} \cdot x_i^{0,387} \cdot v_i^{2,387} + 56250 \cdot x_i^{0,3} \quad (4)$$

Где: Γ – глубина заложения трубопровода, м; a, b, α, β – коэффициенты, которые зависят от материала труб, от состояния грунтов и способов строительства; N – коэффициент шероховатости трубопровода; v – скорость движения сточной воды м/сек; $Z_{\text{элк}}$ – стоимость 1кВт электроэнергии.

Приведенные расчетные затраты транспортировки сточных вод автоцистернами, тыс. руб. в год:

$$C_i = 86,4 \cdot \frac{x_i}{V_e} \left(\left[(C_m + C_2) \cdot \frac{1}{8} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot L}{45} \right) \right] \cdot E + 365 \cdot L_i \cdot C_{AT} \right), \quad (5)$$

Где: X_i – объем транспортируемых сточных вод, в м³/с; V_e – объём цистерны автомашины, в м³; C_m, C_2 – стоимость автоцистерны и гаража, руб.; C_{am} – тариф на перевозку стоков, м³ на 1 км, руб.

Приведенные расчетные затраты по устройству канализационных очистных сооружений, рассчитанные на рыба хозяйственные нормы сброса сточных вод в водоемы, тыс. руб. в год:

$$C_i = 2080826.0 * X_i + 325.13. \quad (6)$$

На основе полученных зависимостей (3)-(6) и их линейных аппроксимаций сформулирована и решена следующая задача оптимизации новых и реконструируемых СВО:

$$\sum C_i \cdot x_i \rightarrow \min, \quad A \cdot x_i = q_{cp,i}, \quad \text{при} \quad \underline{\theta}_i \leq x_i \leq \bar{\theta}_i, \quad \sum_{i=1}^n C_i \cdot K_{\text{общ}, i} \cdot x_i \leq \bar{C}, \quad (7)$$

где: C_i – стоимость единицы потока, тыс. руб. в год за 1 м³; x_i – искомый поток, м³/сек на i -той ветви транспортной сети; q_{cp} – вектор средних секундных расходов

сточных вод от абонентов; n – количество участков транспортной сети; $\underline{e}_i, \bar{e}_i$ – нижние и верхние ограничения на потоки. Нижнее ограничение назначается из условия не заиливающих скоростей, а верхнее ограничение определяется исходя из недопустимости работы самотечных коллекторов в напорном режиме. $K_{\text{общ}}$ – общий максимальный коэффициент неравномерности движения сточных вод по трубопроводам и коллекторам. Верхнее ограничение на потоки фиктивных ветвей соответствуют расчетным значениям поступления сточных вод от абонентов q_{cp} , а для фиктивных ветвей, моделируемых КОС, верхние ограничения соответствуют их максимальной производительности; \bar{C} – ограничения на выделяемые инвестиции в строительство и реконструкцию системы водоотведения. При решении задачи (7) используется модифицированный алгоритм поиска максимального потока минимальной стоимости. В итоге выделяемые инвестиции оптимально распределяются в строительство новых и реконструкцию существующих объектов водоотведения и определяются трасса и параметры новых участков сети, производительности очистных сооружений.

На примере системы водоотведения одного из микрорайонов г. Иркутска (см. рисунок 5) проиллюстрируем эффективность разработанной методики оптимизации.

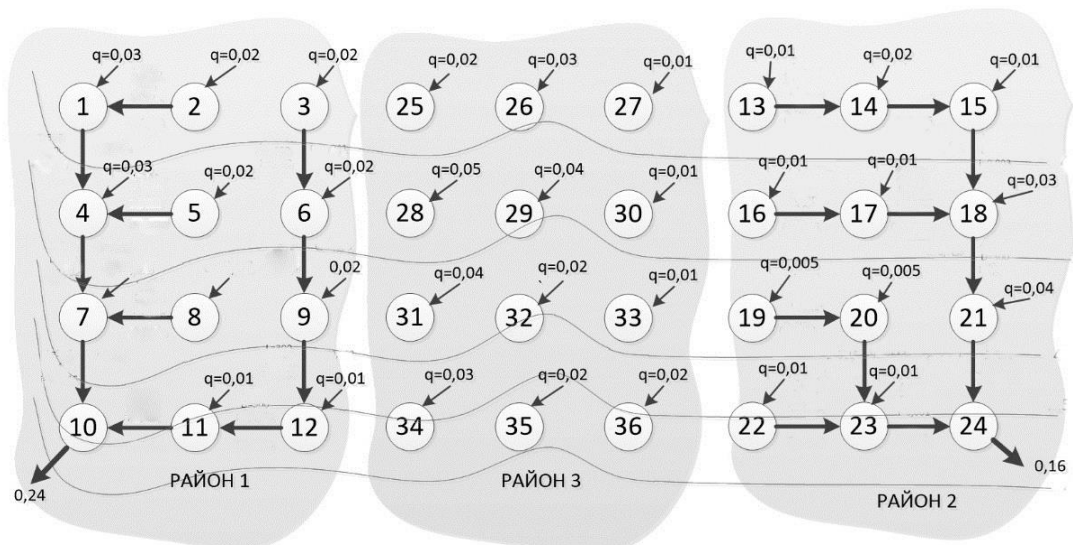


Рисунок 5 – Граф реконструируемой СВО

На рисунке 5 жирными линиями представлены две не связанных между собой существующих СВО (район 1 и 2). Между районами 1 и 2 проектируется новый жилой район (район 3) из 12-ти абонентов. Требуется для него запроектировать систему водоотведения и определить оптимальные места ее подключения к существующей сети. Исходя из возможных вариантов прокладки новых коллекторов и реконструкции существующих, намечена избыточная и транспортная схемы, которые представлены на рисунке 6. В качестве варианта реконструкции существующих сетей рассматривается параллельная прокладка дополнительных трубопроводов. На рисунке 6 эти участки обозначены параллельными пунктирными линиями, а серым цветом указаны новые возможные участки прохождения системы водоотведения. На рисунке 7 представлены результаты расчета, согласно которым требуется устройство на пяти участках параллельные трубопроводы и 21-го новых самотечных коллекторов, показанных серым цветом.

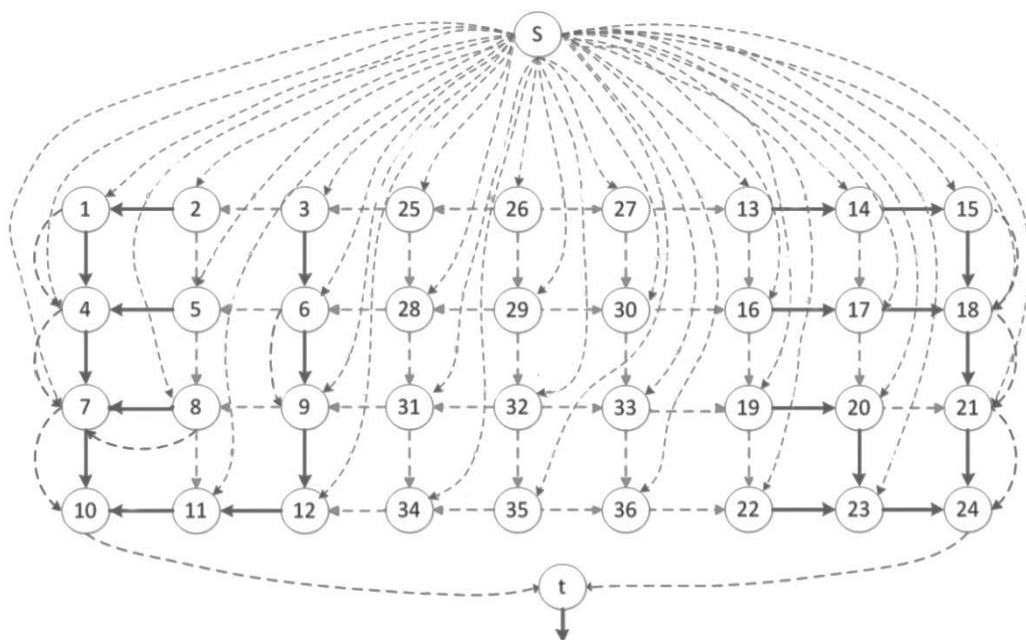


Рисунок 6 - Транспортная схема системы водоотведения

В работе теоретически доказано и практически проверено на основании расчетов реальных и тестовых примеров, что при проектировании новых систем водоотведения всегда оптимальными по приведенным затратам будут

разветвленные (в виде дерева) структуры систем водоотведения, а при реконструкции существующих сетей возможны их кольцевые структуры.

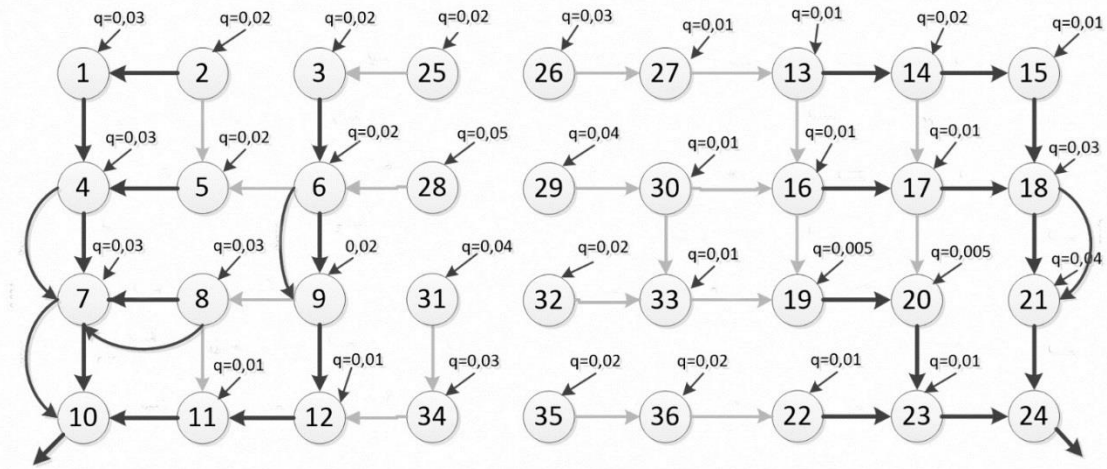


Рисунок 7 - Оптимальная схема реконструируемой системы водоотведения

В четвертой главе рассмотрены вопросы повышения надежности, сейсмостойкости и режимной управляемости СВО. Надежность и экологическую безопасность предложено оценивать количественным показателем – объемом неочищенных сточных вод, который образуется в результате возникновения и ликвидации аварий.

В работах М.И. Алексева, Ю.А. Ермолина, В.С. Игнатчика на основе интенсивности отказов λ_i и восстановлений μ_i существующих и проектируемых трубопроводов, предложена формула для вычисления коэффициента надежности:

$$\varphi = \frac{\Delta Q_{сбр}}{Q}, \quad \Delta Q_{сбр} = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \gamma_i \cdot t, \quad (8)$$

где $\Delta Q_{сбр}$ – объем стоков, м³, образующийся в результате возникновения и ликвидации аварии за время t (сек); Q – общий объем стоков, поступающих на КОС в безаварийном режиме за время t ; x_i – расчетный расход стоков на i -м участке сети, (м³/с); $\gamma_i = \frac{\lambda_i^{yч}}{\mu_i^{yч}}$.

Интенсивность отказов и восстановлений определяются на основании статистических данных для каждого района или города, для которых решаются задачи развития и реконструкции систем водоотведения. Определив расчетные

расходы по участкам сети (x_i), не сложно перейти к диаметрам трубопроводов, для которых можно определить интенсивность отказов и восстановлений и далее, согласно (8), вычислить годовые объемы аварийных стоков и коэффициент надежности системы водоотведения в целом.

Изучая поведение трубопроводных систем и их отказы при различных землетрясениях в различных городах А.С. Гехман и Х.Х. Зайнетдинов получили следующую зависимость:

$$\lambda_i = \lambda_i * K^\alpha, \quad K^\alpha = 0,08418 \cdot \sin(74,709 + \alpha) \cdot B^{2,6}. \quad (9)$$

Здесь: α – угол между направлением участка сети и направлением сейсмического воздействия; Количество баллов (B) по шкале MSK-64. При B меньше 4 сейсмические воздействия на трубопроводы не проявляются. Учитывая (8), (9) предлагается для различных материалов труб и их интенсивности отказов λ , вычислять годовой объем стоков, выходящих на поверхность земли по следующей формуле:

$$\Delta Q_{сбр} = \sum_{i=1}^n \frac{(17 \cdot \lambda_i^k + \lambda_i)}{8760} \cdot \left(\frac{748,8 \cdot N_i^{0,375}}{I_i^{0,1875}} \cdot x_i^{0,375} - \frac{1200 \cdot N_i^{0,75}}{I_i^{0,375}} \cdot x_i^{0,75} - 27 \right) \cdot x_i \cdot l_i. \quad (10)$$

В итоге получена новая зависимость годовых объемов неочищенных сточных вод, выходящей на поверхность земли на участке i в результате аварийных ситуаций, от величины расхода, транспортируемого по данному участку сети. Любая аварийная ситуация должна быть ликвидирована. Следовательно, возникают дополнительные эксплуатационные затраты, которые можно вычислить следующим образом:

$$I_v = I_9 + I_c(\Delta Q_{сбр}), \quad (11)$$

Где $I_c(\Delta Q_{сбр})$ – затраты на ликвидацию аварийной ситуации, как затраты по переброски аварийного стока в другие колодцы, строительство дополнительных резервуаров при насосных станциях и др.

При оптимизации СВО к приведенным затратам по трубопроводным участкам (3), (4) дополняется выражение (10).

Проведенные в работе расчеты показали, что учет надежности и сейсмостойкости оказывают существенное влияние на выбор трассы и параметров системы водоотведения.

Для повышения управляемости, регулирования и распределения сточных вод по различным коллекторам и районам водоотведения применяются насосные станции (КНС), строятся разгрузочные коллектора и шиберные устройства. При этом возникает задача, какое их количество должно быть, какими параметрами они должны обладать и где на сети они должны располагаться. Для решения этой задачи предлагается методика избыточных схем и методика поиска максимального потока минимальной стоимости эксплуатационных затрат, включая затраты электроэнергии.

В пятой главе излагаются методы оптимизации параметров новых и реконструируемых систем водоотведения, предназначенные для детального проектирования.

Детальное проектирование требуется для первой очереди строительства когда уже определены местные условия, грунты, пересечения с другими коммуникациями и возникает задача конкретизации параметров проектируемой системы водоотведения. Для решения этой задаче предложен метод, который реализует многошаговый процесс направленного перебора возможных уклонов трубопроводов, напоров насосных станций и параметров сопрягающих сооружений. Многошаговый процесс осуществляется по схеме динамического программирования и начинается от узлов-абонентов, от которых сточные воды поступают в систему водоотведения к узлам - поступления ее на КОС. Из множества построенных таким образом вариантов пьезометрических поверхностей трубопроводов по критерию приведенных затрат выбирается лучший из них. На рисунке 8а показан многошаговый процесс формирования пьезометрической поверхности пяти трубопроводов, где сплошной жирной линией указан оптимальный по приведенным затратам вариант. Этому варианту соответствует

оптимальный профиль, представленный на рисунке 8б. При разработке перспективной схемы системы водоотведения Иркутска и Иркутского района с помощью данной методики обоснованы параметры канализационного коллектора от оз. Байкал до г. Иркутска.

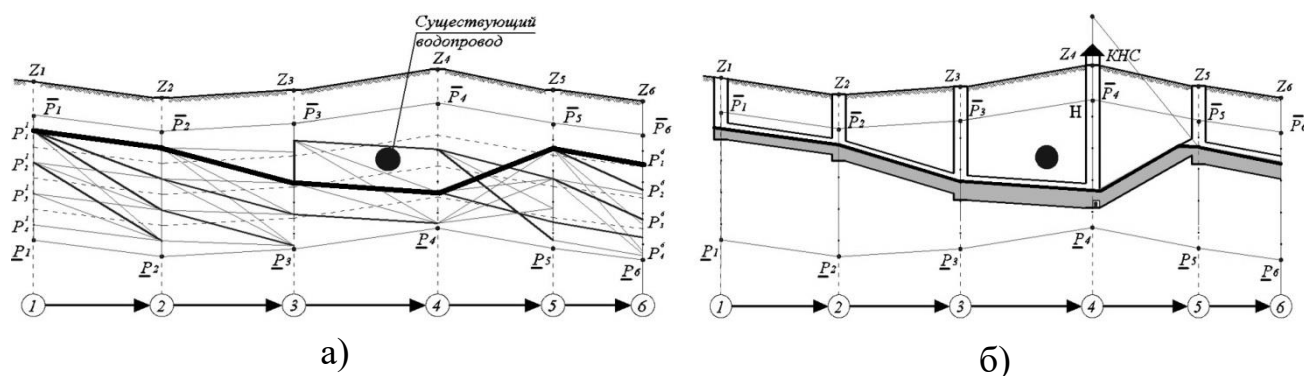


Рисунок 8 – Оптимизация параметров сети водоотведения

В шестой главе. На основе теории агрегирования и декомпозиции разработана новая методика оптимизации многоуровневых систем водоотведения, отличающаяся тем, что в комплексе обосновываются параметры всех уровней сбора и транспортировки сточных вод.

Для оптимизации таких систем разработан метод многоступенчатой оптимизации. Сущность этого метода заключается в следующем. В начале намечаются варианты трассировки внутриквартальных сетей и сооружений (на рисунке 9а это штриховые линии) и определяются возможные точки их подключения к уличным коллекторам (узлы 2, 4, 6, 8 на рисунке 9а). Для каждого такого узла поступления сточных вод в уличные коллектора определяются оптимальные параметры внутриквартальной системы водоотведения и приведенные затраты. На пример, для узла 2 на рисунке 9в представлена оптимальная схема внутриквартальной системы водоотведения. Далее формируется избыточная схема уличной системы водоотведения (смотри рисунок 9б), в которой внутриквартальная система водоотведения моделируется одним узлом 9 с суммарной нагрузкой водоотведения квартала.

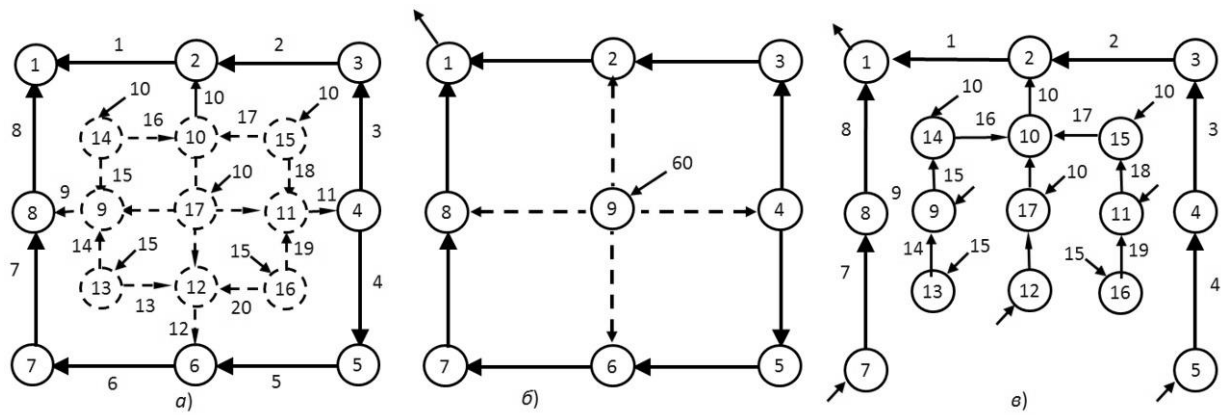


Рисунок 9 - Разбивка СВО на подсистемы и агрегированные блоки

Участки: 9-2; 9-4; 9-6; 9-8 имеют фиксированные приведенные затраты, соответствующие оптимальным вариантам внутриквартальных сетей от узлов 2,4,6,8. С учетом такой схемы решаются задачи оптимизации параметров уличной системы водоотведения. На рисунке 9в представлена оптимальная трасса с поступлением сточных вод на КОС - узел 1. При этом в решение вошел участок 10-2, следовательно, и внутриквартальная сеть для узла 2. В работе приведена математическая основа данной методики, исследована ее сходимости, показана эффективность в части минимизации проведения изыскательских работ и оптимальности комплексного решения всех уровней сбора и отведения сточных вод.

В седьмой главе изложены разработанные алгоритмы и программы и на реальных объектах показана их экономическая эффективность.

В качестве примера рассмотрена задача обоснования схемы водоотведения в центральной экологической зоне оз. Байкал. Требования к содержанию различных веществ в сточных водах при их сбросе в оз. Байкал определены приказом Минприроды России от 5.03.2010 г, №63, которые на порядок меньше, чем нормы для водоемов рыба хозяйственного назначения. По этой причине имеют место варианты очистки и транспортировки сточных вод в другие водоразделы от оз. Байкал. Для острова Ольхон, который находится на территории Национального парка, где сброс сточных вод в водоемы полностью запрещен, имеют место варианты очистки сточных вод с последующим их методом испарения. С учетом данных ограничений были намечены и обоснованы следующие пять вариантов:

1. В каждом населенном пункте (их 8) и туристической базе (их 197) устраиваются очистные сооружения глубокой очистки сточных вод (пруды испарения) до требуемых нормативов сброса их в оз. Байкал.
2. Сточные воды транспортируются автомобильным транспортом на центральные очистные сооружения, которых три: на о. Ольхон (п. Хужир), в районе поселка МРС и в районе п. Сарма (см. рисунок 10 - линии с буквой д).
3. От Турбаз на очистные сооружения сточные воды транспортируются напорной канализацией (см. рисунок 15 - линии с буквой т).
4. На очистные сооружения сточные воды доставляются специализированными баржами, т.е. водным транспортом (см. рисунок 10 - линии с буквой в).
5. Централизованные системы водоотведения с одной станцией очистки сточных вод с последующим сбросом очищенных сточных вод в другой водораздел, отличный от о. Байкал (см. рисунок 10 - центральные КОС обозначены звездочкой).

Из этих пяти вариантов по приведенным затратам лучшим оказался вариант 3 (см. таблицу 5). Вместе с тем, если наложить эти 5 вариантов, то получится избыточная схема, которая и представлена на рисунке 10. По результату оптимизации оказался вариант, обозначенный в таблице 5 под номером 6. Это транспортировка сточных вод на КОС (звездочка на рис. 10) автомобильным и трубопроводным транспортом с последующим испарением очищенной сточной воды в естественных прудах.

Таблица 5 - Сравнение вариантов устройства системы водоотведения

№ варианта	Единовременные капиталовложения, млн. руб.	Годовые эксплуатационные затраты, млн. руб.	Приведенные затраты, млн. руб. руб.
1	7012	35	1202
2	8903	140	1620
3	1350	32	257
4	1560	134	394
5	8611	300	1730
6	872	36	182



Рисунок 10 – Избыточная схема на основе проектных вариантов водоотведения (в - водный транспорт, д – автомобильный, т – трубопроводный)

Оптимальный вариант по единовременным капиталовложениям меньше на 478 млн. руб. чем вариант, выбранный традиционным способом и на 75 млн. руб. эффективнее по приведенным затратам. Объясняется это тем, что метод анализирует всевозможные (сотни тысяч вариантов схем водоотведения), чего даже опытный проектировщик не в состоянии выполнить. При оптимизации параметров четырех объектов водоотведения экономическая эффективность, в сравнении с вариантами, полученными согласно СП32.13330.2012, составила 256.81 млн. руб. (см. таблица 6). Для условий оз. Байкал в работе исследовано и показано, что для населенных мест с расходом меньше 400 м³/сут. более экономичной является транспортировка сточных вод автомобильным транспортом, а более 400 м³/сут. – трубопроводным транспортом.

Таблица 6 - Эффективность предлагаемых методов и программ

	Объекты Перспективные схемы водоотведения	Численность населения, тыс. чел.	Экономическая эффект., млн. руб.
1	г. Ангарск	226	56.93
2	г. Шелехов	48	25.90

3	г. Иркутск	623	98.86
4	Центральной зоны оз. Байкал	1023	75.12
	Итого, в ценах 2019 г:		256.81

Программный комплекс под названием TRACE-VK (свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2016615463 TRACE-VK от 25 мая 2016 г, Иркутск, ИРНТУ). В сравнении с распространяемым в России и за рубежом программного комплекса SWMM5, TRACE-VK позволяет рассчитывать кольцевые системы водоотведения, оптимизировать структуру и параметры развивающихся и реконструируемых систем водоотведения с учетом обеспечения их надежности, сейсмостойкости и режимной управляемости (см. рис. 11).

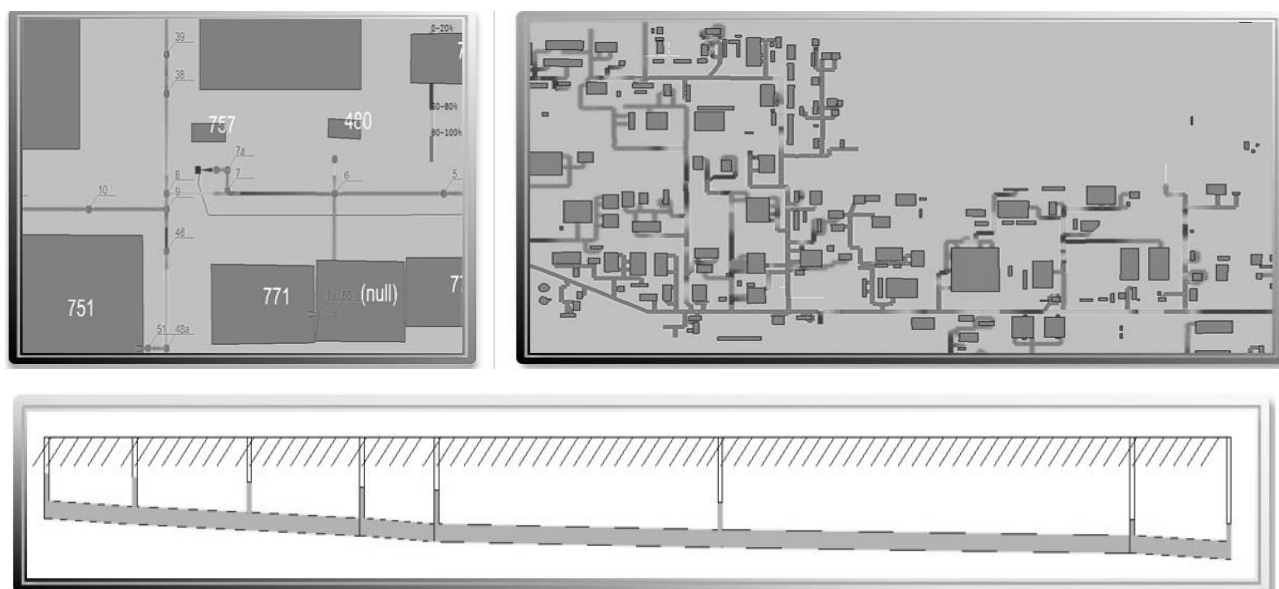


Рисунок 11 - Графическое представление получаемых решений

Программный комплекс TRACE-VK является инструментом реализации методики обоснования перспективных схем развития систем водоотведения. На основе его разработаны и утверждены программы комплексного развития инженерной инфраструктуры и перспективные схемы систем водоснабжения и водоотведения многих городов и населенных мест. Он внедрен в Водоканалы городов Иркутск, Ангарск, Шелехов, Байкальск, Тверь, Тбилиси (Грузия), Эрдэнэт (Монголия), АО АНХК и другие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа технического состояния современных систем водоотведения (СВО) обоснована необходимость разработки новых теоретических и методических основ управления реконструкцией и развитием СВО. Доказана целесообразность оценки технико-экономической эффективности различных систем водоотведения с позиции их общих принципов математического моделирования и решения задач реконструкции и развития.

2. Впервые в задачах моделирования развития и реконструкции систем водоотведения для обоснования вариантов развития, анализа и оптимизации использована теория принятия решений и модели нечетких множеств и учтён фактор неопределенности информации о прогнозных величинах удельного водопотребления.

3. На основе принципов индикативного и адаптивного управления разработана новая методология моделирования развития и реконструкции систем водоотведения в условиях проектного финансирования и вариативности перспективного отведения сточных вод.

4. Теоретически обоснованы подходы и методы моделирования и анализа режимов работы систем водоотведения, позволяющие производить оценку технической реализуемости принимаемых решений развития систем водоотведения.

5. Предложена уточнённая методика расчета ливневой канализации, включающая моделирование аварийных режимов её работы, а также рекомендации для коррекции диаметров и уклонов участков сети, работающих полным сечением.

6. На основе гидравлических и экономических зависимостей получены функции затрат жизненного цикла и дисконтированных приведенных затрат от объемов транспортируемых по участкам сети сточных вод. Обоснована технико-экономическая эффективность применения древовидных структур при разработке новых систем водоотведения населенных пунктов. Показано, что при реконструкции существующих самотечных систем водоотведения создание кольцевых структур является экономически обоснованным решением.

7. Предложена новая методика расчёта потокораспределения в канализационных сетях и метод оптимизации проектных решений. При оптимизации новых и реконструируемых систем водоотведения населенных мест и городов Прибайкальской территории показана эффективность предлагаемой методики и программ, которые позволяют получать решения на 20-25% менее затратные, чем полученные традиционными методами проектирования.

8. Доказана необходимость учета критериев надежности и сейсмического районирования при обосновании структуры и параметров СВО. На основе оценки технико-экономических и гидравлических параметров трубопроводов разработаны методика и метод оптимизации и повышения надежности СВО. Варианты схем и параметров систем водоотведения, полученные по предлагаемой методике, уменьшают вероятность попадания аварийных стоков на поверхность земли на 25%-30% по сравнению с вариантами без учета факторов надежности.

9. Для обоснования первой очереди строительства и при детальном проектировании СВО с применением метода динамического программирования предложена методика комплексной оптимизации диаметров и уклонов трубопроводов, напоров насосных станций, а также размеров перепадов и быстротоков.

10. Для оптимизации систем водоотведения, состоящих из нескольких уровней сбора и транспортировки сточных вод, разработана методика агрегирования избыточных схем и ступенчатой оптимизации СВО разветвленной и многоконтурной структур.

11. Получены математические зависимости для определения изменения капиталовложений и эксплуатационных издержек от гидравлических параметров канализационной сети, а также объемов аварийных стоков, выходящих на поверхность земли, от величин расходов сточных вод и уклонов трубопроводов и коллекторов самотечной канализации.

12. Предлагаемые методики и их программные реализации вошли в состав ПК TRACE-VK в виде отдельных вычислительных модулей. Программный комплекс TRACE-VK включен в систему диспетчерского управления Водоканала города Иркутска и на его основе разработаны схемы развития систем

водоснабжения и водоотведения городов Иркутской области. Годовой экономический эффект от применения разработанных методик и программ по исследуемым городам составил 256,81 млн. руб. в ценах 2019 г.

Публикации по теме диссертационной работы

Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях по перечню ВАК:

1. Чупин, Р.В. Моделирование и оптимизация трубопроводных систем коммунального хозяйства/ В.Р. Чупин, Д.И. Майзель, Р.В. Чупин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2007. Ч.1. – № 1. – С.169-180.
2. Чупин, Р.В. Оптимизация схемы и структуры системы поверхностного водосбора/ В.Р. Чупин, Ю.С. Просвирин, Р.В. Чупин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2009. – №2(38). – С. 172-177.
3. Чупин, Р.В. Моделирование режимов работы городских систем водоотведения/ Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. –2010. – № 2(42). – С.141-149.
4. Чупин, Р.В. Напорное движение стоков в безнапорных коллекторах/ В.Р. Чупин, Е.С. Мелехов, Р.В. Чупин // Водоснабжение и санитарная техника. –2010. – №7. – С.15-24.
5. Чупин, Р.В. Оптимизация многоуровневых систем водоснабжения и водоотведения/ Р.В. Чупин, И.В. Майзель // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2011. – №9 (56). – С. 90-100.
6. Чупин, Р.В. Учет неравномерности поступления стоков и времени их транспортировки в системах водоотведения / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов, И.В. Майзель // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2010. – №7 (47). – С. 89-95.
7. Чупин, Р.В. Определение мест повреждений, утечек и несанкционированных отборов воды из системы водоснабжения / Р.В. Чупин, А.С. Душин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2012. – №5. – С. 89-97.
8. Чупин, Р.В. Повышение надежности проектируемых и реконструируемых систем водоотведения/ Р.В. Чупин, А.А. Бобер // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2012. – №9. – С.113-119.

9. Чупин, Р.В. Моделирование процессов водопотребления и возникновения аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды / В.Р. Чупин, А.С. Душин, Р.В. Чупин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2012. – №10. – С.130-136.
10. Чупин, Р.В. Комплексное моделирование случайных процессов водопотребления и возникновения аварийных ситуаций в водопроводных сетях / Р.В. Чупин, А.С. Душин, И.В. Майзель // Известия ВУЗов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость - ИрГТУ. – 2012. – №2 (3). – С.76-83.
11. Чупин, Р.В. Разработка информационной системы моделирования режимов движения стоков в системах водоотведения / Р. В. Чупин, М.С. Мелехов // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2012. – №12. – С.148-155.
12. Чупин, Р.В. Безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры / Р.В. Чупин, Т.И. Шишелова, А.А. Бобер // Фундаментальные исследования. – 2012. – №11. – Ч.6. –С.1480-1486.
13. Чупин, Р.В. Оптимизация совместной работы канализационных насосных станций на общий напорный коллектор / Е.С. Мелехов, Р.В. Чупин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2013. – №2. – С.114-118.
14. Чупин, Р.В. Расчет систем водоотведения с замкнутыми контурами и разгрузочными коллекторами / Р.В. Чупин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – №1. – С.56-62.
15. Чупин, Р.В. Инвестиции в развитие систем водоснабжения и водоотведения / Р.В. Чупин, И.В. Майзель // Известия ВУЗов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - ИрГТУ. – 2013. – №1. (4). – С.126-133.
16. Чупин, Р.В. Движение стоков в кольцевых каналах прямоугольного сечения / Р.В. Чупин // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2013. – №10. – С.190-196.
17. Чупин, Р.В. Оптимальная реконструкция систем водоотведения / В.Р. Чупин, И.В. Майзель, Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – №5(10). – С.86-102.

18. Чупин, Р.В. Выбор оптимальных схем проектируемых систем водоотведения / Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – №6 (11). – С.92-102.
19. Чупин, Р.В. Схемно-структурная оптимизация систем водоотведения поверхностного водостока и ливневой канализации / В.Р. Чупин, И.В. Майзель, Р.В. Чупин, А.В. Житов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – №4 (9). – С.97-106.
20. Чупин, Р.В. Оптимальная реконструкция систем водоотведения / Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – №2. – С. 58-66.
21. Чупин, Р.В. Повышение надежности и сейсмостойкости самотечных систем водоотведения / Р.В. Чупин, Е.А. Горьков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – №6. – С. 62-69.
22. Чупин, Р.В. Оптимизация систем водоотведения с учетом их надежности и сейсмостойкости / Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен, Н.Б. Беликова // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. – 2015. – №4. – С.110-116.
23. Чупин, Р.В. Оптимальное управление потоками сточной жидкости/ Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен, Н.Б. Беликова // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. –2015. – №9. – С.99-108.
24. Чупин, Р.В. Нормирование расчетных удельных значений потребление воды и сброса стоков / Р.В. Чупин, И.В. Майзель, А.С. Душин, Чупин В.Р.// Известия вузов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. – №2 (7). – С.180-192.
25. Чупин, Р.В. Оптимизация вариантов развития систем водоотведения/ Р.В. Чупин, Н.М. Фам // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. – №3(18). – С.101-113.
26. Chupin, R.V. The parameters justification of new and reconstructed sewage systems under the conditions of undertain perspective water consumption and discharge of effluents / N.M. Pham, R.V. Chupin, V.R. Chupin, E.C. Melekhov // Известия ВУЗов: Инвестиции в строительство, недвижимость. – 2017. –Т.2. –№21. – С. 49-61.
27. Чупин, Р.В. Обоснование параметров новых и реконструируемых систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и

сброса стоков / Р.В. Чупин, О.Г. Примин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – №11. – С.36-45.

28. Чупин, Р.В. Перспективная схема развития систем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска и Иркутского района / А.В. Алексеев, Н.Н. Новицкий, Р.В. Чупин, В.Р. Чупин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – №11. – С.26-328.

29. Чупин, Р.В. Оптимизация перспективных схем развития систем водоотведения в условиях ограниченного финансирования / Р.В. Чупин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – №2. – С. 67-74.

30. Chupin, R.V. Indicative and adaptive management of wastewater system improvement/ Chupin R.V., Pham Ngoc Minh, Gorkov E.A., Moroz M.V // Известия ВУЗов: Инвестиции в строительство, недвижимость. – 2018. –Т.8. –№2. – С. 94-108.

31. Чупин, Р.В. Индикативное и адаптивное управление развитием систем водоотведения/ Р.В. Чупин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – №4. – №8.– С. 31-37.

32. Чупин, Р.В. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения/ Р.В. Чупин, Н.М. Фам // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – №1. – С.30-36.

33. Чупин, Р.В. Совершенствование методики оптимизации и разработка предложения по созданию единой схемы водоотведения центральной экологической зоны Байкальской природной территории на примере Слюдянского района Иркутской области /Р.В. Чупин, М.М. Пукемо, Е.С. Мелихов, В.Р. Чупин // Известия ВУЗов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. –Т.9. –№1 (28). – С. 144-157.

34. Чупин, Р.В. Оптимизация структуры и параметров районных систем водоснабжения с учетом трубопроводного и автомобильного транспорта воды /Р.В. Чупин, Н.М. Фам, Р.В. Чупин // Известия ВУЗов: Строительство. – 2019. №2. – С. 48-57.

Статьи в зарубежных изданиях, входящих БД Scopus:

35. Chupin, R. V. Pressure-flow and Free-flow Discharge Modes in Closed-Loop Sewage Systems / R.V. Chupin, N.M. Pham, V.R. Chupin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012079 doi:10.1088/1757-899X/262/1/012079.
36. Chupin, R.V. Trajectory of Sewerage System Development Optimization/ R.V. Chupin, I.V. Mayzel, V.R. Chupin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012080 doi:10.1088/1757-899X/262/1/012080.
37. Chupin, R.V. Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption / R.V. Chupin, N.M. Pham, V.R. Chupin // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems 2019. Volume 102 (2019).
38. Chupin, R.V. Optimal reconstruction of water supply network under conditions of reduced water consumption / R.V. Chupin, N.M. Pham, V.R. Chupin // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems 2019. Volume 102 (2019).
39. Chupin, R.V. Optimization of developing district water supply systems taking into account variability of perspective water consumption» / R.V. Chupin, N. M. Pham, V.R. Chupin// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 667 (2019) 012018 doi:10.1088/1757-899X/667/1/012018.
40. Chupin, R.V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas/ R.V. Chupin, N. M. Pham, V.R. Chupin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 667 (2019) 012017 doi:10.1088/1757-899X/667/1/012017.
41. Chupin, R.V. Comprehensive optimization of water supply and sanitation / Chupin, R.V., Maizel, I.V., Maizel, I.G. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 880 (2020) 012040 doi:10.1088/1757-899X/880/1/012040.
42. Chupin, R.V. Justification of the parameters of developing water supply and sanitation systems based on their electronic models / Melekhov, E.S., Chupin, R.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 880 (2020) 012050 doi:10.1088/1757-899X/880/1/012050.

43. Chupin, R. V. Elaboration of a Regional Concept for Developing a Water Disposal System for the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory / E. I. Pupyrev, R. V. Chupin, E. S. Gogina, N. A. Makisha, I. A. Nechaev, M. M. Pukemo // *Water Resources*, 2020, Vol. 47, No. 4, pp. 663–671.

Монографии:

44. Чупин Р.В. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения: Монография / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – 323 с.

45. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: Монография / Р.В. Чупин. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – 418 с.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

46. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2016615463 TRACE-VK от 25 мая 2016 г. / Мелехов Е.С., Чупин В.Р., Чупин Р.В.

Публикации в других изданиях:

47. Чупин, Р.В. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения / Р. В. Чупин, Е. С. Мелехов, В. Р. Чупин // *Вода и экология*. – 2010. – №1. – С.3-11.

48. Чупин, Р.В. Развитие методики гидравлических расчетов систем дождевой канализации / Р.В Чупин, Е.С. Мелехов // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2010. – №4. – С.32-36.

49. Чупин, Р.В. Повышение пропускной способности системы водоотведения поверхностного водостока / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2010. – №9. – С.42-48.

50. Чупин, Р.В. Оптимизация параметров систем поверхностного водостока / В.Р. Чупин, И.В. Майзель, Р.В. Чупин // *Научно-технический сборник: Технические науки и архитектура*. Вып. 101. Коммунальное хозяйство. Харьков. – 2011. – С. 326-332.

51. Чупин, Р.В. Развитие методических основ моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения / В.Р. Чупин, И.В. Майзель, Р.В. Чупин // Научно-технический сборник: Технические науки и архитектура. Вып. 101. Коммунальное хозяйство. Харьков. – 2011. – С. 326-332.
52. Чупин, Р.В. Напорное движение стоков в безнапорных коллекторах / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов // Материалы 10-го Международного конгресса АКВАТЭК-2012. Международная конференция: Энергосбережение и энергоэффективность на предприятиях ВКХ [электронный ресурс]. – М.: ЗАО Фирма СИБИКО Интернэшнл. – 2012. – С.12
53. Чупин, Р.В. Напорное движение стоков в безнапорных коллекторах / Р.В. Чупин // Электронный сборник материалов Международного Форума Студентов, Аспирантов и Молодых Учёных Стран Азиатско-Тихоокеанского Региона Владивосток, 14 - 17 Мая. 2012. – С.135-137. (на <http://files.mail.ru/TGU9DM>).
54. Чупин, Р.В. Потокораспределение в системах водоотведения кольцевой структуры / Р.В. Чупин, А.М. Зеленин // Материалы международной научно-практической конференции: Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика. Улан-Удэ. Издат.: ВСГУТУ. – 2012. – С.125-128.
55. Чупин, Р.В. Напорно - безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры / В.Р. Чупин, А.М. Зеленин, Р.В. Чупин // Материалы международной научно-практической конференции: Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика. Улан-Удэ. Издат. ВСГУТУ. – 2012. – С. 137-143.
56. Чупин, Р.В. Коммунальный прогноз / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов // Наука Приангарья: Идеи, инновации, инвестиции. – 2013. – № 1(5). – С13.
57. Чупин, Р.В. Напорное безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры / Р.В. Чупин // Интернациональный журнал MOTROL – 2014. – Vol. 16. – № 5. Lublin. Polish. – С. 3-15.
58. Чупин, Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения/ В.Р. Чупин, И.В. Майзель, Р.В. Чупин, Т.А. Нгуен // Сб.: Инновационные системы отведения и очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий. Материалы

международной научно-практической конференции. Петрозаводск. Изд.: «Свое издательство». 12-14 ноября. 2014. – С.105-127.

59. Чупин, Р.В. Обоснование параметров проектируемых систем водоотведения / Р.В. Чупин, Т. А. Нгуен // Сб.: Инновационные системы отведения и очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий. Материалы международной научно-практической конференции. Петрозаводск. Изд.: «Свое издательство», 12-14 ноября. 2014. – С.132-145.

60. Чупин, Р.В. Комплексная оптимизация систем водоотведения поверхностного водостока и ливневой канализации / Р.В. Чупин // Сб.: Инновационные системы отведения и очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий. Материалы международной научно-практической конференции. Петрозаводск. Изд.: «Свое издательство», 12-14 ноября. 2014. – С. 91-100.

61. Чупин, Р.В. Схемно-структурная оптимизация систем водоотведения поверхностного водостока и ливневой канализации / Р.В. Чупин // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2012. – №1. – С. 54-58.

62. Чупин, Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. / Р.В. Чупин // «Яковлевские чтения», X-научно-техническая конференция. Сборник докладов. – М: Изд-во АСВ, – 16.03.2015. – С.167-192.

63. Чупин, Р.В. Методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для обоснования перспективных схем развития систем водоотведения / Р.В. Чупин // Труды VI-й международной научно-практической конференции, «Ресурсо-энергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве». – Иркутск: ИРНИТУ, сентябрь 2015. – С.42.

64. Чупин, Р.В. Разработка методики оптимизации перспективных схем развития систем водоотведения / Т.А. Нгуен, Р.В. Чупин // Труды VI-й международной научно-практической конференции, «Ресурсоэнергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве». – Иркутск: ИРНИТУ, сентябрь 2015. – С.23.

65. R.V. Chupin. Optimal upgrade of sewers / R.V. Chupin, T.A. Nguyen, M.T. Le // Journal of science at University of Transport Technology, Hanoi, Vietnam. – 2015. – №12. – P.67-71.
66. Чупин, Р.В. Направление модернизации локальных очистных сооружений промышленных предприятий / Р.В. Чупин, А.А. Коваленко // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2014. – №12 (84). – С. 24-31.
67. Чупин, Р.В. Оптимизация вариантов развития систем водоотведения / Р.В. Чупин // «Яковлевские чтения», XI научно-техническая конференция. Сборник докладов. – М: Изд-во АСВ, – 14.03.2016.
68. Чупин, Р.В. Комплексный подход к оптимизации развивающихся систем водоотведения / Р.В. Чупин // Журнал «Вода Magazine». – 2016. – №3(103). – С.24-31.
69. Чупин, Р.В. Методические основы оптимизации перспективных схем развития систем водоотведения / Р.В. Чупин, Н.М. Фам, В.Р. Чупин // Труды XV Всероссийского научного семинара: Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза, развивающихся трубопроводных и гидравлических систем. – Иркутск, 2016. – С.165-180.
70. Чупин, Р.В. Оптимальное управление развитием систем водоотведения / Р.В. Чупин, Н.М. Фам // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – №1(109). – С.14-24.
71. Chupin R.V. An optimization method of sewerage system development / R.V. Chupin, N.M. Pham, V.R. Chupin // Hội nghị khoa học quốc gia “phát triển bền vững kiến trúc và xây dựng trong giai đoạn hiện nay”. Nhà xuất bản đại học Vinh, Vinh University (Vietnam). – 2017. – Trang 141-148.
72. Chupin R.V. Phương pháp tối ưu hóa thiết kế, sửa chữa và nâng cấp hệ thống thoát nước / T.A. Nguyen, T.N.H. Nguyen, R.V. Chupin // Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng. – 2017. – №32 (01). – Trang 68-74. Строительный университет (Ханой-Вьетнам).

73. Chupin R.V. Tối ưu hóa quỹ đạo phát triển hệ thống thoát nước / R.V. Chupin, N.M. Pham, V.R. Chupin, N.T. Nguyen // Tạp chí cấp thoát nước Việt Nam. – 13.01.2018 <http://tapchicaphoatnuoc.vn/25/1906.html> (электронный ресурс).
74. Chupin R.V. Sự tối ưu hóa thiết kế và cải tạo sơ đồ mạng lưới thoát nước / T.A. Nguyen, R.V. Chupin, V.S. Nguyen // Tạp chí cấp thoát nước Việt Nam. – 13.01.2018 (электронный ресурс), <http://tapchicaphoatnuoc.vn/25/1907.html>.

Чупин Роман Викторович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЗВИТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ
ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВАРИАТИВНОСТИ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОТВЕДЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД**

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов

Автореферат

Подписано в печать г. Формат 60x84/8

Бумага писчая. Объем 2,0 уч. изд. л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.