

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной деятельности  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
университет им. В.И. Вернадского»,  
д.м.н., профессор



А.В. Кубышкин  
19 ноября 2020 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации о диссертации **Чупина Романа Викторовича** на тему:

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

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

**Актуальность для науки и практики**

Актуальность работы состоит в необходимости реформирования городского жилищно-коммунального хозяйства в условиях значительного износа инженерных коммуникаций при отсутствии достаточных материальных ресурсов на их реновацию, что обуславливает требования повышения эффективности, надежности, экологической безопасности систем водоотведения при их развитии, а также реконструкции в условиях снижения водопотребления и вариативности перспективного отведения сточных вод. Проблематика диссертационной работы по созданию новых моделей и методов развития и реконструкции систем водоотведения соответствует основным направлениям государственной политики в сфере водоснабжения и водоотведения, которые декларируются в Федеральных Законах, Постановлениях и других документах правительства Российской Федерации. Решение, рассмотренной проблемы соответствуют требованиям времени, а также имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для страны.

Результаты данной работы позволяют на теоретическом и практическом уровнях обосновывать параметры и модели развития перспективных схем систем водоотведения, в условиях снижения водопотребления в большинстве городов и поселений России. Разработка теоретических основ и практическая реализация новых моделей и методов расчёта систем водоотведения выполнены с учетом современных принципов формирования инвестиций, тенденций создания электронных моделей для снижения времени и трудоемкости

проектирования, а также неопределенности перспективного водопотребления и водоотведения.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, которые получены автором:

- обоснованы новые модели и методики реконструкции и развития систем водоотведения, отличающиеся учетом схем финансирования инвестиционных проектов, вариативности перспективного водоотведения сточных вод, технико-экономических рисков и стоимости жизненного цикла системы;

- впервые предложены методы моделирования и анализа режимов работы систем водоотведения с оценкой не только эффективности и технической реализуемости принимаемых решений, но и с анализом надежности и режимной управляемости существующих сетей;

- впервые предложены 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

- обоснованы методы учета сейсмических воздействий при проектировании систем водоотведения с оценкой их влияния на выбор трасс и структуры сооружений;

- впервые предложены методы оптимизации структуры и параметров развивающихся и реконструируемых систем водоотведения, которые комплексно учитывают факторы финансирования инвестиционных проектов, вариативность перспективного водоотведения сточных вод, а также показатели надежности и сейсмостойкости.

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

Таким образом, научная новизна диссертационной работы определяется системным подходом к решению научно-технической проблемы – разработке новых принципов и практических мероприятий обеспечения управляемости, экономичности, надежности, и эффективности функционирования систем водоотведения городов и населенных мест.

Теоретическая значимость результатов исследований для науки заключается в том, что теоретически обоснованы новые методы и модели развития и реконструкции систем водоотведения, которые основываются на использовании информационных технологий и отличаются от существующих учетом проектного финансирования инвестиционных проектов, вариативностью перспективного водоотведения сточных вод, оценкой технико-экономических рисков от принимаемых решений, оптимальностью распределения инвестиций в строительство новых и реконструкцию сетей и сооружений систем водоотведения.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что:

- созданы модели, методы и программные средства, которые позволяют повысить обоснованность принимаемых решений в краткосрочных и долгосрочных периодах развития и реконструкции систем водоотведения, также обеспечивают оперативный анализ и обоснованные решения по выбору трассы и оптимизации параметров новых и реконструируемых систем водоотведения с учетом их надежности, сейсмостойкости и режимной управляемости;

- предложена система оперативного обнаружения и локализации засорений и заиливания трубопроводов систем водоотведения при их эксплуатации;

- доказано, что при реконструкции и развитии систем водоотведения экономически целесообразно переходить на кольцевые структуры систем водоотведения;

- разработаны предложения по обоснованию выбора объектов системы водоотведения - трубопроводов и сооружений, которые необходимо вывести в резерв из-за уменьшения водопотребления и риска поступления сточных вод в систему водоотведения.

Результаты диссертационных исследований использованы при разработке перспективных схем развития систем водоотведения в составе программ комплексного развития инженерной инфраструктуры городов Иркутска, Ангарска, Шелехова, Байкальска. Предлагаемые в работе модели и методы оптимизации параметров развивающихся и реконструируемых систем водоотведения реализованы в виде программного комплекса ТРАСЕ-VK и использованы при обосновании параметров перспективных схем развития систем водоотведения вышеуказанных городов, а также использовался в проектной деятельности в Водоканалах городов: Тверь, Тбилиси (Грузия), Эрденэт и Улан-Батор (Монголия), где и используется при автоматизации и диспетчеризации, а также при разработке инвестиционных программ. Теоретические и практические положения а диссертации применяются в учебном процессе по дисциплинам: «Водоснабжение и водоотведение», «Автоматизация эксплуатации и проектирования городских инженерных систем» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 233 наименований и 1 приложения. Общий объем диссертации 260 страниц машинописного текста, в том числе 225 страниц основного текста, 22 таблицы, 170 рисунков, 22 страницы списка литературы, 7 страниц приложений.

Во **введении** сформулированы актуальность выбранной темы, научная проблема, цель и задачи исследования, предмет и объект исследования,

приведены научная новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов, перечислены положения, выносимые на защиту, представлена структура диссертации.

**В первой главе** выполнен анализ современных систем водоотведения, проблем и тенденций их развития, рассмотрены применяемые технологии проектирования, а также опыт оптимизации и обоснования параметров систем водоотведения. На основе выполненного анализа разработана содержательная постановка комплексной оптимизации развивающихся и реконструируемых систем водоснабжения, а также 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.

**Во второй главе** исследованы процессы поступления стоков в системы водоотведения с определением фактических удельных значений потребления воды и сброса стоков, а также с учетом неравномерности поступления стоков и времени их транспортировки в системах водоотведения. Выявлены закономерности изменения напорно-безнапорного движения сточных вод, которые возникают в связи с превышением расчетных объемов поступления сточных вод, в том числе ливневой канализации. На основе построения циклических схем предложена методика моделирования напорно-безнапорных режимов с оценкой образования противотоков и выхода сточных вод на поверхность земли. Обоснованы подходы к моделированию систем водоотведения кольцевой структуры, а также подтопления территорий и движения стоков по улицам города.

**В третьей главе** представлены содержательная и математическая постановка задачи развития и реконструкции систем водоотведения. На основе критерия дисконтированных приведенных затрат выполнено исследование функции затрат и задачи оптимального синтеза систем водоотведения. В результате, разработан метод оптимизации структуры и параметров систем водоотведения и установлена оптимальная реконструкция развивающихся систем водоотведения. В работе теоретически доказано и практически проверено на основании расчетов реальных и тестовых примеров, что при проектировании новых сетей и сооружений систем водоотведения оптимальными будут их древовидные структуры, а при наличии реконструируемых участков сети, возможны и кольцевые структуры. В качестве примера оптимизации представлено обоснование схемы водоотведения центральной зоны о. Байкал.

**В четвертой главе** обоснована математическая постановка и методика оптимизации систем водоотведения с учетом надёжности и сейсмостойкости. Показано, что для систем водоотведения надежность и экологическую безопасность целесообразно оценивать количественным показателем – объемом неочищенных стоков, которые образуются за определенный интервал времени. Получена новая зависимость годовых объемов неочищенных сточных вод,

выходящих на поверхность земли на участке сети в результате возникновения и ликвидации аварий, от величины расхода, транспортируемого по данному участку сети. Предложена методика избыточных схем и методика поиска максимального потока минимальной стоимости, в которой в качестве критерия оптимизации принимается минимум затрат электроэнергии за сутки.

**Пятая глава** посвящена комплексной оптимизации систем водоотведения. Для обоснования первой очереди строительства новых и реконструируемых систем водоотведения представлен метод оптимизации параметров на основе метода многошагового процесса направленного перебора возможных уклонов трубопроводов, напоров насосных станций и параметров сопрягающих сооружений, который выполняется по схеме динамического программирования. Оптимизация параметров кольцевых систем водоотведения использует алгоритм двойных «меток». Применимость и работоспособность предложенных методик и программ подтверждена расчетами реальных систем водоотведения, а также показала возможность решать комплексные задачи по обоснованию параметров развивающихся и реконструируемых систем водоотведения.

**В шестой главе** для оптимизации параметров предложена методика многоступенчатой оптимизации сложных и большой размерности систем водоотведения. На основе теории агрегирования и декомпозиции разработана новая методика оптимизации многоуровневых систем водоотведения, для которой приведены математические основы, исследована ее сходимость, показана эффективность в части минимизации проведения изыскательских работ и оптимальности комплексного решения. Преимуществом методики является то, что в комплексе обосновываются параметры всех уровней сбора и транспортировки сточных вод.

**В седьмой главе** представлены результаты реализации и апробации методики оптимизации развивающихся систем водоотведения. Автором на основе изложенных подходов и методов расчета разработаны алгоритмы и программные продукты, включенные в программный комплекс под названием TRACE-VK, который позволяет рассчитывать кольцевые системы водоотведения, оптимизировать структуру и параметры развивающихся и реконструируемых систем водоотведения с учетом обеспечения их надежности, сейсмостойкости и режимной управляемости. Расчеты по разработанному программному комплексу для реальных объектов показали их экономическую эффективность, а также создают возможность сэкономить до половины инвестиций по сравнению с традиционными подходами решения этих задач. На основании полученных результатов выполнена экономическая оценка результатов применения разработанных методов и моделей развития систем водоотведения.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Созданные в работе теоретические и практические основы, методы оптимизации многоуровневых, развивающихся систем водоотведения позволяют на современном уровне применять единую систему математических моделей и программ для решения различных типов задач анализа и синтеза систем водоотведения.

Разработанный комплекс моделей и методов оптимизации параметров систем водоотведения позволяет учитывать стоимость жизненного цикла, технико-экономические риски от принимаемых решений для их долгосрочных и краткосрочных периодов реконструкции и развития. Эти подходы могут быть использованы для оптимизации существующих систем водоотведения городов и населенных мест, а также при строительстве новых и реконструкции существующих сетей и сооружений.

### **Полнота изложения результатов диссертации и ее завершенность**

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертационной работе, полностью и широко освещены в 74 публикациях, в научно-технических журналах и сборниках научных трудов, среди которых две монографии, 34 научные статьи в профессиональных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 9 статей опубликованы в изданиях, входящих в БД Scopus. В специализированных технических изданиях других стран опубликовано 5 научных статей, 9 научных работ опубликованы без соавторства.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на многих международных конференциях и семинарах по специальности.

Диссертационная работа хорошо структурирована и оформлена, обладает внутренним единством, материал теоретических и экспериментальных исследований изложен понятно. Диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, которая выполнена на высоком научном уровне и решает конкретную научную проблему, имеющую важное техническое, народнохозяйственное и социальное значение.

Автореферат диссертации по объему и содержанию выполнен в соответствии с установленными требованиями, а его содержание идентично основным положениям и выводам диссертации.

### **Общие замечания**

К работе имеются следующие замечания:

1. В работе решается важная научная проблема по совершенствованию и разработке новых моделей и методов развития и реконструкции систем водоотведения в условиях снижения водопотребления в большинстве городов и поселений России. Но рассмотрены только вопросы моделирования и проектирования сетей водоотведения, хотя на эффективность,

экономичность, надежность и экологическую безопасность отведения и очистки сточных вод также влияют технологические процессы и режимы очистки, которые применяются на канализационных очистных сооружениях (КОС). Поэтому в методологических основах необходимо рассмотреть и проанализировать общие удельные показатели для систем водоотведения и выделить в них части показателей, которые приходятся на сети водоотведения и КОС.

2. По поводу методологии оптимизации необходимо отметить следующее. При постановке задач оптимизации многоуровневых, развивающихся систем необходимо определить условия и цели оптимизации. То есть кроме представления целевой функции – «стоимости единицы потока» - необходимо четко указать переменные, изменяемые при оптимизации, а также ограничения, которым должны удовлетворять оптимальные решения. В рассмотренной задаче оптимизации систем водоотведения есть параметры, зависящие от времени, при этом они существенно влияют на решения. Поэтому общее время рассмотрения должно разбиваться на несколько этапов, а для каждого момента времени оптимальное решение может получаться разным. Поэтому итоговое оптимальное решение может представляться как сумму решений, принятых на каждом этапе. Методы решения таких многоэтапных задач относятся к методам теории динамического программирования.

3. Иерархический подход, предусматривающий разбиение системы на вертикально соподчиненные подсистемы разных уровней дает эффективные результаты при описании, исследовании, проектировании сложных технических систем. В работе четко не указаны принципы декомпозиции системы водоотведения. Декомпозиция многоуровневых иерархических моделей, требует, чтобы исследуемая или проектируемая техническая система описывалась факторным пространством, состоящим из множества входных переменных, выходов, ограничений с указанием числа уровней. Внутренние и межуровневые связи в системе устанавливаются на основе условий работоспособности, которые признаны определяющими для данных связей. Таким образом, в работе рассмотрена только часть схемы декомпозиции системы водоотведения по иерархическому подходу.

4. При анализе режимной управляемости систем водоотведения не четко указывается, какие управляемые параметры и управляющие факторы рассмотрены для систем водоотведения, а также не рассматриваются варианты различных способов управления систем: ручное, полуавтоматическое, дистанционное и т.д.

5. В приведенных зависимостях по определению расчетных затрат по напорным участкам сети водоотведения не учитывается энергетическая эффективность силовых агрегатов насосных станций, которая в некоторых случаях может оказывать существенное влияние на структуру затрат.

6. Для уточнения параметров систем ливневой канализации известны работы отечественных и зарубежных авторов, в которых пересматривается и уточняется методика формирования дождевого стока на основе статистического анализа таких параметров как интенсивность, продолжительность, повторяемость дождя и объем осадков, учета формы

бассейна стока в плане, вертикальной планировки городских территорий, благоустройство городских территорий с устройством сооружений открытого водоотвода и т.д. Например, современные тенденции изменения интенсивности и повторяемости осадков, связанные с глобальным потеплением климата, особым образом влияют на проектирование систем ливневой канализации, причем стохастичность режима поступления поверхностного стока возрастет. В зарубежной инженерной практике одним из наиболее широко используемых методов определения расчетного расхода дождевого стока является так называемый рациональный метод, также применяется графический метод SCS определения максимального расхода дождевого стока с применением компьютерной программы проектирования гидрологических процессов TR-20, а также синтетический метод Снайдера. Для решения задач диссертационной работы целесообразно было бы проанализировать эти методы, и дать рекомендации по их применению в современном программном комплексе.

Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертационной работы и не вызывают сомнений в достоверности и новизне научных положений, выводов и рекомендаций.

### Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, комплексным исследованием актуальной научной проблемы, в котором прослеживается четкая логика в постановке цели и задач, их решении, выводах и рекомендациях. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для науки и практики, в частности, разработаны теоретические основы, проведена практическая реализация новых методов расчёта и проектирования перспективных схем развития систем водоотведения крупных населенных пунктов. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы, а также апробированы на многих предприятиях отрасли.

Диссертационная работа **Чупина Романа Викторовича** на соискание ученой степени **доктора технических наук**, отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, является квалифицированной научной работой, выполненной самостоятельно, в которой получены новые научно обоснованные результаты, решающие важную научную проблему совершенствования и создания новых моделей и методов развития и реконструкции систем водоотведения, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Академии строительства и архитектуры



(структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» «11» ноября 2020 г., протокол № 5.

Отзыв составлен заведующим кафедрой водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», доктором технических наук, профессором Николенко Ильей Викторовичем.

Заведующий кафедры водоснабжения,  
водоотведения и санитарной техники  
Академии строительства и архитектуры  
(структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
университет им. В.И. Вернадского»  
д.т.н., профессор

Шифр специальности 05.02.02  
Машиноведение, системы приводов  
и детали машин

И.В. Николенко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Крымский федеральный университет имени  
В. И. Вернадского», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект академика  
Вернадского, 4

Телефон: +7 (3652) 54-50-36

E-mail: cf\_university@mail.ru

Сайт: http://cfuv.ru

Я, Николенко Илья Викторович, согласен на автоматизированную  
обработку моих персональных данных.

Подпись д.т.н, проф. Николенко И.В.  
подтверждаю

Заместитель директора  
Академии строительства и архитектуры  
(структурное подразделение)



Андронов А.В.