

СТОЛБИХИН ЮРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ
КОРРОЗИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И
СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
КАМЕР ГАШЕНИЯ НАПОРА**

Специальность **05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные
системы охраны водных ресурсов**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Васильев Виктор Михайлович

Официальные оппоненты: **Орлов Владимир Александрович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО "Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет", кафедра водоснабжения,
заведующий;

Чупин Роман Викторович
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический
университет», кафедра городского
строительства и хозяйства, старший
научный сотрудник

Ведущая организация: **Государственный Ордена Трудового
Красного Знамени научно-
исследовательский, проектно-
конструкторский и технологический
институт бетона и железобетона
им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ) (г. Москва)**

Защита диссертации состоится «18» апреля 2016 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.06 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте www.spbgasu.ru.

Автореферат разослан «_____» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент



Пухкал Виктор Алексеевич

I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Аварии на канализационных коллекторах, происходящие по причине микробиологической (газовой) коррозии, представляют собой большую опасность как для народонаселения, так и для окружающей среды. Ущерб от разрушения железобетонных канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие коррозии в целом по миру исчисляется миллиардами евро в год. Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, ученые по всему миру занимаются, начиная с 40-х годов XX века. За это время шло формирование представления о процессе коррозии, предлагались и внедрялись на практике различные способы защиты. Несмотря на то, что общие положения теории микробиологической (газовой коррозии) могут считаться определенными, исследование факторов, ускоряющих или замедляющих процесс, по-прежнему остается более чем актуальной задачей. Каждое исследование, проведенное на действующем сооружении, приближает возможность точно прогнозировать и предотвращать обрушения канализационных сооружений.

Камеры гашения напора являются одними из эпицентров разрушения на канализационных сетях за счет сопряжения напорного и безнапорного потоков сточных вод. При этом они практически не рассмотрены в технической литературе. В настоящем диссертационном исследовании ставится задача создания камеры гашения напора, которая позволит не просто снижать негативный эффект от коррозии, но и бороться с ней и в конечном счете защитить коллектора и шахты на них от разрушения.

Использование предлагаемого комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка», размещаемого на конце подводящего напорного трубопровода может выступать в качестве альтернативного метода защиты коллекторов по отношению к традиционным — футеровка стеклопластиковыми трубопроводами или применение специальных составов или покрытий.

Настоящая диссертация является продолжением научной работы, посвященной канализационным тоннельным коллекторам и связанными с их работой сооружениям, начатой в ЛИСИ (ныне — СПбГАСУ) Н.Ф. Федоровым и Ю.Д. Шутовым.

Степень разработанности темы исследования. Процесс микробиологической (газовой) коррозии канализационных сооружений в отечественной науке широко рассматривается в трудах В.М. Васильева, Н.К. Розенталя, В.М. Латыпова. При этом д.т.н., проф. В.М. Васильев активно работает в г. Санкт-Петербурге и является инициатором внедрения многих конструктивных и технологических решений на канализационных коллекторах. Д.т.н., проф. Н.К. Розенталь заведует Сектором коррозии бетона в НИИЖБ в г. Москве. Д.т.н., проф. В.М. Латыпов работает в г. Уфе и занимается вопросами долговечности различных строительных конструкций, в том числе железобетонных. Вопросами защиты и оптимизации работы сетей водоотведения занимаются многие российские авторы, среди которых В.А. Орлов, Чупин В.Р., Чупин Р.В. и другие.

В Украине проблемой коррозии занимались Г.Я. Дрозд, А.И. Абрамович, Э.А. Ситницкая, В.А. Юрченко и др. авторы.

Основными учеными, представляющими другие страны, рассматривавшими в своих работах процесс коррозии являются: R. Pomeroy, J. Parkhurst, T. Mori T.Nonaka, P.A. Wells, R. Melchers, A.H. Nielsen, J. Vollertsen, T. Hvitved-Jacobsen, L. Zhang, P. De Schryver, N. Boon, A.K. Parande, E. Hewayde, M. Nehdi, J. Monteny; E. Vincke и многие другие.

Указанными авторами проводилось изучение процесса коррозии на основе полевых экспериментов, предлагались математические модели для прогнозирования скорости коррозии, рассматривались методы противодействия этому процессу.

Насыщение кислородом воздуха сточных вод как способ борьбы с коррозией рассматривался в работах В.М. Васильева, N. Tanaka.

Вопросы эжекции кислорода воздуха в стояках рассматривались В.М. Васильевым, М.И. Алексеевым, Д.С. Циклаури, Б.Г. Мишуковым, Е.М. Протасовским.

Приемно-разгрузочные камеры, в том числе и камеры гашения напора не были рассмотрены в научных работах, и представлены лишь в нескольких альбомах типовых проектов, упомянуты в учебной литературе.

Проведенный литературный обзор отражает недостаточную изученность факторов процесса коррозии, а также отсутствие научных работ в области конструкций приемно-разгрузочных камер, в том числе и камер гашения напора. В качестве рабочей гипотезы выдвигается получение эффекта снижения агрессивности среды, в которой функционирует камера гашения напора и коллектор после нее, за счет внесения изменений в конструкцию камеры.

Цель исследования заключается в разработке нового способа защиты канализационных коллекторов и сооружений на них от коррозии на основе изменений в конструкциях камер гашения напора.

Задачи исследования:

- создать комплексное описание процесса микробиологической (газовой) коррозии в соответствии с последними представлениями науки в данной области;
- провести полевые эксперименты на действующих сооружениях канализации и выявить основные закономерности в интенсивности процесса коррозии в зависимости от условий функционирования сооружения, а также подтвердить положения теории натурными наблюдениями. Уточнить методику определения аварийности канализационных сооружений;
- выполнить обзор методов борьбы с микробиологической коррозией, провести исследование наиболее часто используемых средств защиты от разрушения;
- произвести моделирование работы камеры гашения напора и выявить наиболее оптимальное сочетание гидравлических элементов в конструкции;
- предложить эффективную конструкцию камеры гашения напора и создать методику расчета ее основных параметров;

— экономически обосновать эффективность применения новых конструкций камер, сравнив с другими способами защиты от коррозии.

Объект исследования — процесс микробиологической (газовой) коррозии в канализационных коллекторах и сооружениях на них.

Предмет исследования — железобетонные канализационные коллекторы, шахты и камеры гашения напора.

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Разработана и экспериментально обоснована новая схема процесса микробиологической коррозии с учетом особой роли грибов-микромикетов в отношении интенсификации этого процесса;

2. На основе натурных экспериментов разработано дополнение к методике определения аварийности канализационных шахт на коллекторах в виде таблицы, позволяющей предсказать уровень коррозии в шахте на стадии ее проектирования за счет оценки ее конструктивных и технологических особенностей;

3. Доказана эффективность использования полимерсиликатного состава («Конусит КК-10») по сравнению с другими методами пассивной защиты от коррозии на основе эксперимента по контролю над разрушением образцов бетона, размещенных в условиях камеры гашения напора;

4. Предложен и обоснован новый способ борьбы с микробиологической коррозией – аэрация сточной жидкости за счет естественной эжекции воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, и составлена методика расчета концентрации кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора;

5. Составлена классификация приемно-разгрузочных камер на основе способов подведения сточной жидкости и ее истечения в лоток-гаситель, включающая как существующие, так и разработанные новые конструкции камер;

6. Разработана новая конструкция камеры гашения напора, которая при использовании в комплексе с газоочистной станцией выступает новым альтернативным методом борьбы с коррозией, и установлены основные зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода поступающей жидкости при различных геометрических параметрах камеры;

7. Разработана методика расчета камеры гашения напора для инженеров, позволяющая осуществлять подбор ее геометрических параметров, обеспечивающих наилучшие условия с точки зрения борьбы с коррозией;

8. Обоснована экономическая эффективность использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях по сравнению с другими методами предотвращения коррозии.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в составлении наиболее полного представления о механизме процесса коррозии и выделении конструктивных факторов, влияющих на этот процесс на основе натурных экспериментов, в полученных зависимостях различных

гидравлических параметров, описывающих функционирование камеры гашения напора на основе математического и физического моделирования.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в возможности использования разработанного экономически эффективного способа защиты канализационного коллектора на действующих и проектируемых канализационных сетях, основанного на совершенствовании конструкции камеры гашения напора. Полученные в работе результаты и рекомендации могут быть использованы при проектировании, строительстве (в т.ч. реконструкции) и эксплуатации камер гашения напора на канализационных коллекторах.

Методология и методы исследования. В работе использовался анализ литературных источников по микробиологической (газовой) коррозии канализационных коллекторов и сооружений на них, основные положения нормативной документации по защите железобетонных конструкций от коррозии, метод проведения экспериментов по замеру концентраций газов во времени в действующих сооружениях канализации, метод физического моделирования при помощи лабораторной установки, метод математического моделирования конструкций камер гашения напора при совместном движении воды и воздуха в программном комплексе ANSYS, оценка влияния конструкции камеры гашения напора на процесс насыщения кислородом воздуха сточной жидкости, метод расчета капитальных и эксплуатационных затрат, определяющих конечную стоимость способов защиты от коррозии за различные периоды времени.

Положения, выносимые на защиту:

- новая схема процесса микробиологической коррозии с учетом особой роли грибов-микровицетов в отношении интенсификации этого процесса;
- дополнение к методике определения аварийности канализационных шахт на коллекторах в виде таблицы, позволяющей предсказать уровень коррозии в шахте на стадии ее проектирования за счет оценки ее конструктивных и технологических особенностей;
- эффективность использования полимерсиликатного состава («Конусит КК-10») по сравнению с другими методами пассивной защиты от коррозии на основе эксперимента по контролю над разрушением образцов бетона, размещенных в условиях камеры гашения напора;
- новый способ борьбы с микробиологической коррозией – аэрация сточной жидкости за счет естественной эжекции воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, и составлена методика расчета концентрации кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора;
- составлена классификация приемно-разгрузочных камер на основе способов подведения сточной жидкости и ее истечения в лоток-гаситель, включающая как существующие, так и разработанные новые конструкции камер;
- разработана новая конструкция камеры гашения напора, которая при использовании в комплексе с газоочистной станцией выступает новым альтернативным методом борьбы с коррозией, и установлены основные

зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода поступающей жидкости при различных геометрических параметрах камеры;
 — разработана методика расчета камеры гашения напора для инженеров, позволяющая осуществлять подбор ее геометрических параметров, обеспечивающих наилучшие условия с точки зрения борьбы с коррозией;
 — обоснована экономическая эффективность использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях по сравнению с другими методами предотвращения коррозии.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, а именно п.1 «Создание научных основ и математическое моделирование систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, промышленных предприятий, объектов энергетики и сельского хозяйства с разработкой и реализацией методов оптимизации систем по экономическим, технологическим и экологическим критериям оптимальности», п. 17 «Предотвращение отложений, биологических обрастаний, коррозия трубопроводов и конструкционных материалов в системах водного хозяйства».

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов обеспечивается использованием современными средствами научных исследований, в т.ч. использованием высокоточного оборудования при проведении полевых и лабораторных экспериментов, применением передовых средств компьютерного математического моделирования (ANSYS 14.5), хорошей сходимостью результатов математического моделирования с результатами физических опытов на гидравлической установке и данными других авторов (при моделировании работы стояков перепадов).

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: на 64-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, 6—7 апреля 2011), I международном конгрессе молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, 10—12 апреля 2012 г.), Всероссийской научной конференции «Молодые исследователи – регионам» (г. Вологда, 18—23 апреля 2012), Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в современном строительстве — 2012» (г. Санкт-Петербург, 10—12 октября 2012), Международной научной конференции «Молодые исследователи — регионам», 2013 (г. Вологда, 10—19 апреля 2013), Международная научная конференция «Молодые исследователи – регионам» 2014 (г. Вологда, 21—25 апреля), 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов Университета (СПбГАСУ) (г. Санкт-Петербург, 7—9 октября 2014 г.), 3-й конференции «Ремонт и восстановление бетонных конструкций на сооружениях сточных вод» г. Сочи, 2014 г. (г. Сочи, 22—23 октября 2014 г.).

Научная работа по разработке эффективной конструкции камеры гашения напора для защиты канализационных сетей от микробиологической (газовой)

коррозии была подана на соискание грантов 2014 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, и была удостоена Премии Правительства Санкт-Петербурга (диплом: ПСП №14491)

Результаты работы представлены в отчете о выполнении научных проектов по конкурсу грантов 2014 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. Результаты работы были использованы в научно-исследовательской работе «Мониторинг-исследование технического состояния канализационного объекта Выборгского тоннельного канализационного коллектора в интервале от шахты №123 до шахты №122Б», выполненной ООО «ПИ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ». Результаты работы были представлены в НИР кафедры Водопользования и экологии ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ»: «Повышение эффективности водоснабжения и водоотведения населенных пунктов с обеспечением нормативного состояния водных объектов» (№46ТП-13); «Совершенствование технологических процессов водопользования с учетом экологической безопасности окружающей среды» (№20ТП-14); «Повышение эффективности технологий, систем и разработка новых сооружений водохозяйственной отрасли» (№20ТП-14(2)).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 18 печатных работах, общим 6,3 п.л., в том числе:

2 работы опубликованы в изданиях, входящих в базу Scopus;

4 работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ.

Получено 3 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация содержит 171 страницу машинописного текста, 41 таблиц, 82 рисунка, 39 формул, 8 приложений и список использованной литературы из 124 наименования работ.

Диссертация состоит из введения, списка используемых обозначений и сокращений, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения. При этом каждая глава является самостоятельной работой и включает в себя литературный обзор существующих подходов, методов и решений, и собственный вклад, выражающийся в конкретных результатах и рекомендациях. Все главы связаны

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы. Определены цель и задачи работы, указана методологическая основа исследования и научная новизна.

В первой главе теоретически изучен и натурно исследован процесс микробиологической (газовой) коррозии, составлена методика определения аварийности канализационных шахт на коллекторах.

Во второй главе проанализированы методы борьбы с коррозией, исследованы существующие защитные покрытия и предложен новый способ – аэрация сточной жидкости в камере гашения напора.

В третьей главе изучены существующие конструкции камер гашения напора, предложены и промоделированы новые конструктивные решения, позволяющие реализовать аэрацию.

В четвертой главе была оценена экономическая эффективность предлагаемого способа в сравнении с другими методами защиты канализационных коллекторов от коррозии

В заключении изложены основные итоги выполненного исследования, сделаны предложения о возможных направлениях продолжения исследования.

II ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Разработана и экспериментально обоснована новая схема процесса микробиологической коррозии с учетом особой роли грибов-микромикетов в отношении интенсификации этого процесса

Схема процесса коррозии в сокращенном виде представлена на рисунке 1.

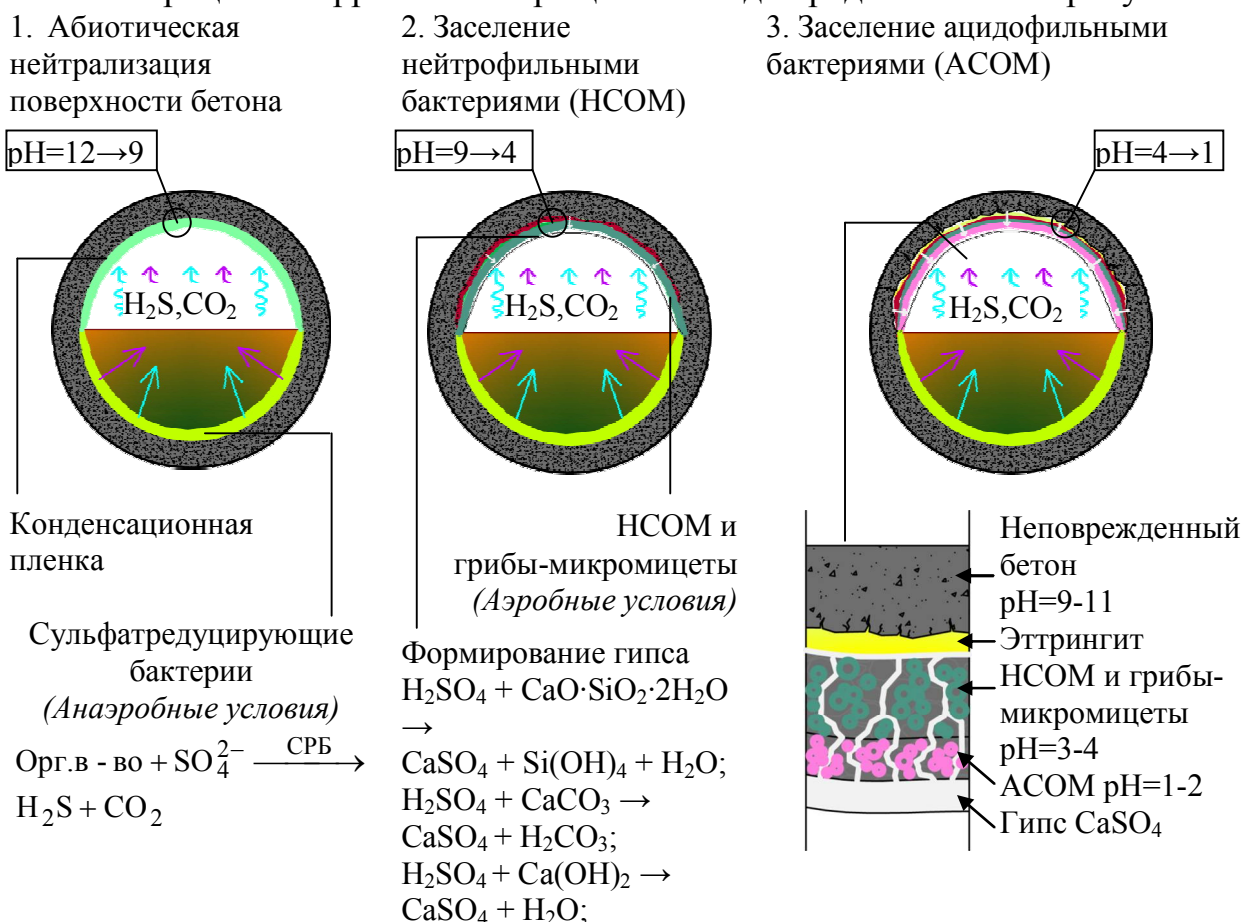


Рисунок 1 – сокращенная схема процесса микробиологической коррозии

Процесс коррозии условно делится на три стадии в соответствии со значением pH на стенке коллектора. На дне коллектора (или лотковой части шахты) образуется биопленка, заселенная в том числе сульфатредуцирующими бактериями. Они в процессе жизнедеятельности выделяют сероводород и углекислый газ. Газы конденсируются на своде коллектора и в результате их взаимодействия с воздухом образуются кислоты, снижающие pH. При

снижении значения рН до 9 подселяются нейтрофильные сероокисляющие микроорганизмы (НСОМ) и грибы-микромикеты. Бактерии продуцируют серную кислоту и рН постепенно снижается до значения 4. При таких условиях происходит поселение следующей группы бактерий — ацидофильных сероокисляющих микроорганизмов (АСОМ). Процесс коррозии протекает еще более интенсивно, рН на поверхности бетона снижается до значения 1. В результате химических реакций происходит образование минерала эттрингита, происходит увеличение его объема, раскрытие трещин, активное разрушение.

В результате проведенных натурных исследований и микробиологических анализов, проведенных совместно с доцентом кафедры микробиологии СПбГУ, к.б.н. Дмитриевой Е.Ю. была выявлена крайне высокая численность грибов-микромикетов в шахтах, разрушение в которых идет с наибольшей интенсивностью. В результате был сделан вывод, что именно грибы-микромикеты играют решающую роль в ускорении процесса коррозии, увеличивая порозность бетона за счет проникновения в материал своими тонкими нитевидными клетками (гифами). Также было подтверждено положение о послойном заселении микроорганизмами стенок разрушающегося сооружения с одновременным пребыванием микроорганизмов различных групп.

2. На основе натурных экспериментов разработано дополнение к методике определения аварийности канализационных шахт на коллекторах в виде таблицы, позволяющей предсказать уровень коррозии в шахте на стадии ее проектирования за счет оценки ее конструктивных и технологических особенностей

Были проведены исследования процесса коррозии в 7 шахтах, расположенных на двух действующих коллекторах г. Санкт-Петербурга. На начальном этапе анализировались конструктивные особенности каждой из шахт на основе исполнительной документацией. Затем осуществлялся визуальный осмотр строительных конструкций шахт. При этом отмечалось их различное техническое состояния при одинаковом сроке службы.

Ключевым элементом исследования выступал анализ газовой среды с помощью уникального оборудования — самопишущего газоанализатора ВМ-25 французского производства, впервые примененного нами для диагностики канализации в России. Использование газоанализатора позволило получить точные значения концентраций во времени сероводорода и углекислого газа — основных газов, участвующих в процессе микробиологической коррозии.

В результате замера концентраций газов было выявлено полное соответствие между их значением и состоянием шахт (рисунок 2). На основе этого была создана методика, которая позволяет предсказать возможный уровень агрессивности среды в шахте на основе данных о ее конструкции, месте в технологической цепочке и характеристике стоков (таблицы 1 и 2). Данная методика предлагается взамен ранее опубликованной В.М. Васильевым для «Правил технической эксплуатации канализационных тоннелей», т.к. содержит значительно большее число факторов.

Шахта №122А



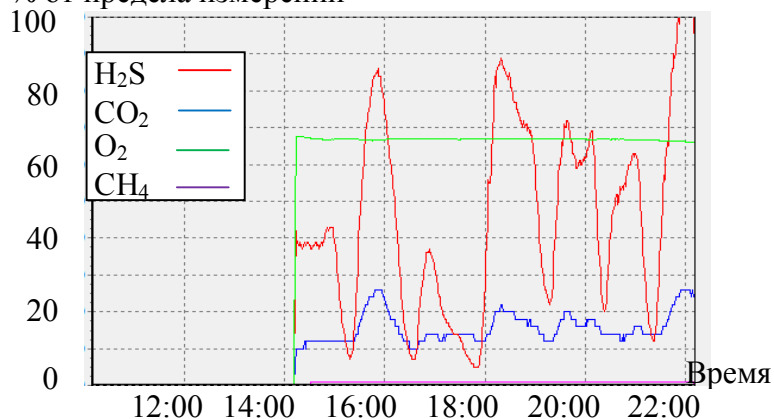
Техническое состояние:
аварийное

Шахта №123



Техническое состояние:
ограниченно работоспособное

% от предела измерений



% от предела измерений

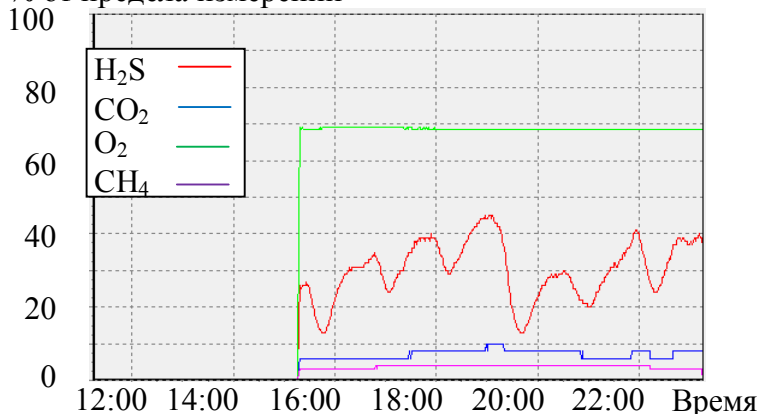


Рисунок 2 — Взаимосвязь состояния шахт и концентраций газов

Таблица 1 — Факторы, определяющие аварийность канализационных шахт

Показатель	Значение (баллы)	Номер исследованной шахты					
		10	8	7	1	123	122А
1	2	3	4	5	6	7	8
Конструктивные и технологические факторы							
Наличие перепада на основном направлении движения жидкости	20	20					20
Наличие перепада от сети мелкого заложения	10			10		10	10
Подключение / ответвление в одном уровне с основным потоком	6	6				6	6
Поворот основного потока на угол:							
> 90 град	4						
60-90 град	3					3	
30-60 град	2				2		2
5-30 град	1		1	1			
Расстояние от камеры гашения напора и участка с напорным движением сточных вод							
< 1 км	7						
1-2 км	5						
2-3 км	3	3					
Нахождение на расстоянии менее 1,0 км от шахты с высоким уровнем коррозии	3		3				

1	2	3	4	5	6	7	8
Характеристика и режим транспортирования стоков							
Транспортирование сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК ₅ , ХПК, сульфиды) в постоянном режиме	10						
Работа системы канализации в условиях залповых сбросов сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК ₅ , ХПК, сульфиды)	5	5	5	5	5		
Близость к эпицентру залпового сброса сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК ₅ , ХПК, сульфиды)							
< 1 км	10						
1-2 км	7						
2-3 км	3	3					
Транспортирование хозяйственно-бытовых сточных вод типичного состава	3					3	3
Работа в режиме с большим наполнением отводящего трубопровода ($h/d > 0,5$)	5						
Работа в переменном режиме	3	3	3	3	3	3	3
Работа в режиме с малым наполнением отводящего трубопровода ($h/d < 0,5$)	0						
Сумма баллов для исследованных шахт (эквивалентна средней концентрации H ₂ S)		40	12	19	10	25	44
Концентрация H ₂ S средняя		37	11	21	11	22	45
Невязка значений		3	1	-2	-1	3	-1

Таблица 2 — Уровень аварийности канализационной шахты (уровень агрессивности среды) в зависимости от средней концентрации H₂S

Сумма баллов	Уровень аварийности шахты	Примечание
0 — 15	III	Условия функционирования сооружения не являются агрессивными, дополнительная защита не требуется
15 — 30	II	Уровень агрессивности среды в шахте средний. Для продления срока службы сооружений требуется защита от коррозии.
> 30	I	Уровень агрессивности среды в шахте — высокий. Существует реальная опасность возникновения аварийной ситуации вследствие скорого разрушения строительных конструкций и технологического оснащения шахты. Необходимы мероприятия по защите сооружения.

3. Доказана эффективность использования полимерсиликатного состава («Конусит КК-10») по сравнению с другими методами пассивной защиты от коррозии на основе эксперимента по контролю над разрушением образцов бетона, размещенных в условиях камеры гашения напора

Существует достаточно большое количество различных защитных составов, а также добавок в бетон. Целью проведенного исследования являлось

определение наиболее оптимального защитного материала для работы в условиях коррозионной среды канализационных коллекторов и сооружений.

Исследование проводилось группой специалистов, представляющих ООО «ЭПРиС», МУП г. Новосибирска «Горводоканал», НГАСУ (СИБСТРИН) и др. которой руководил д.т.н., профессор СПбГАСУ В.М. Васильев.

Испытания образцов бетона, покрытого различными составами, проводились в условиях действующего коллектора КГН №17 г. Новосибирска.

Образцы экспонировались в КГН на уровне отметки незатапливаемого перекрытия. Образцы были помещены в решетчатые корзины и размещены в них так, чтобы каждая грань соприкасалась с агрессивной внешней средой сооружения.

Наблюдение за состоянием образцов бетона проводилось в течение 1 года.

Покрyтия по бетону различных производителей представляли собой несколько групп материалов: битумные, битумно-полимерные, полимерные, полимербетонные, бетонные или растворные с полимерными добавками. Всего было исследовано 8 популярных покрытий.

В результате исследования наилучшим образом показал себя полимерсиликатный состав «Конусит КК-10», широко используемый водоканалами для защиты канализационных сооружений от коррозии.

Пример материала, не защитившегося бетон от разрушения — «Фторонит» Материал, защитивший бетон от коррозии «Конусит КК-10»

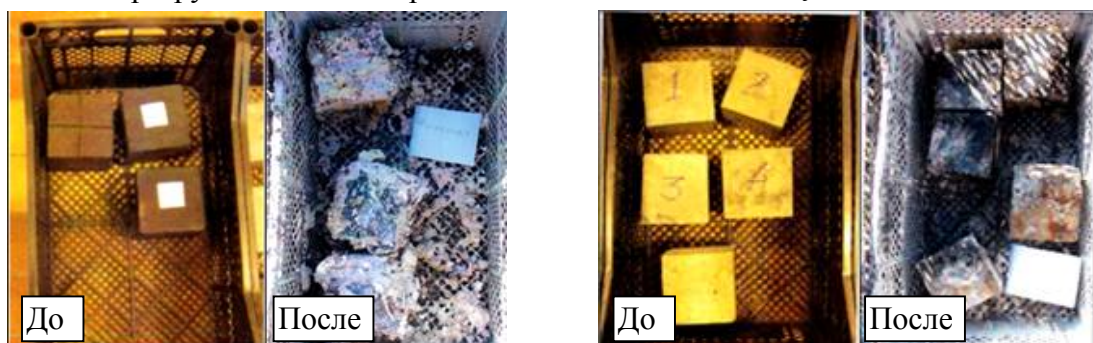


Рисунок 3 — результаты исследования стойкости защитных покрытий

4. Предложен и обоснован новый способ борьбы с микробиологической коррозией – аэрация сточной жидкости за счет естественной эжекции воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, и составлена методика расчета концентрации кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора

Среди методов борьбы с микробиологической коррозией представляется особо интересным метод насыщения сточной жидкости кислородом воздуха (аэрация потока). Этот способ основывается на представлении о том, что в случае насыщения сточной жидкости растворенным кислородом в достаточных концентрациях, будет происходить окисление образующегося за счет действия сульфатредуцирующих бактерий сероводорода. Важно отметить, что в иле на дне коллектора создаются анаэробные условия, несмотря на наличие растворенного кислорода в сточной жидкости. Но при этом сероводород будет

окисляться и не будет выделяться через поверхность раздела фаз и конденсироваться в конденсационной пленке на стенке коллектора или шахты.

Отмечается, что концентрации растворенного кислорода выше 0,5 мг/л могут предотвратить выделение сульфидов через поверхность раздела фаз.

Нам представляется возможным и действенным осуществление естественного насыщения сточной жидкости кислородом воздуха за счет его эжекции в напорный трубопровод в КГН. Естественная эжекция происходит под разностью давлений — пониженное в зоне отрыва струи в отводе на подводящем трубопроводе, и атмосферное в месте забора воздуха.

При достижении концентрации кислорода более 0,5 — 1 мг/л в сточной жидкости за камерой гашения напора, эта концентрация будет поддерживаться в коллекторе длительное время (расход кислорода на биохимическое и химическое окисление пренебрежимо мал) и будет способствовать предотвращению процессов коррозии.

На основе методов расчета аппаратов химической промышленности была составлена методика насыщения кислородом сточной жидкости в камере гашения напора. Методика сходна с ранее составленной В.М. Васильевым для трубчатых перепадов, но отличается принципом выбора значений различных расчетных параметров — газонасыщения, поверхности контакта фаз и др. В данном случае КГН рассматривается как абсорбер, процесс газонасыщения происходит в резервуара-гасителе КГН, выступающем в роли барботажной камеры.

5. Составлена классификация приемно-разгрузочных камер на основе способов подведения сточной жидкости и ее истечения в лоток-гаситель, включающая как существующие, так и разработанные новые конструкции камер

На водопроводных и канализационных сетях часто встречаются приемно-разгрузочные камеры. Этим понятием объединены камеры гашения напора (приемные камеры гашения, колодцы-гасители и т.д.), приемные камеры и камеры разрыва струи. Камеры применяются для решения следующих задач: прием сточных вод от насосной станции, сопряжение напорных и самотечных участков водоводов и канализационных трубопроводов и коллекторов, защита водоводов от гидравлических ударов, а также позволяет создавать требуемые условия для работы сооружений после камеры. В то же время в технической литературе данные сооружения практически не описаны, отсутствуют какие-либо рекомендации по оптимальным конструктивным размерам сооружения, как в плане, так и в профиле. Изначально была составлена классификация приемно-разгрузочных камер (рисунок 4).

Варианты конструкций: А) Схема с подводом воды через гусак, истечением через водослив; Б) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением через водослив; В) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением воды через щелевое отверстие и водослив; Г) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением через щелевое отверстие; Д) Схема для сточных вод; с подводом воды ко дну резервуара, истечением воды через щелевое отверстие и водослив; Е) Схема для сточных вод; с подводом воды сбоку, со свободным изливом

через гаситель; Ж) Схема с подводом воды ко дну резервуара и свободным истечением в отводящий лоток З) Схема с подводом воды к боковой стенке, гашением энергии в водобойном колодце.

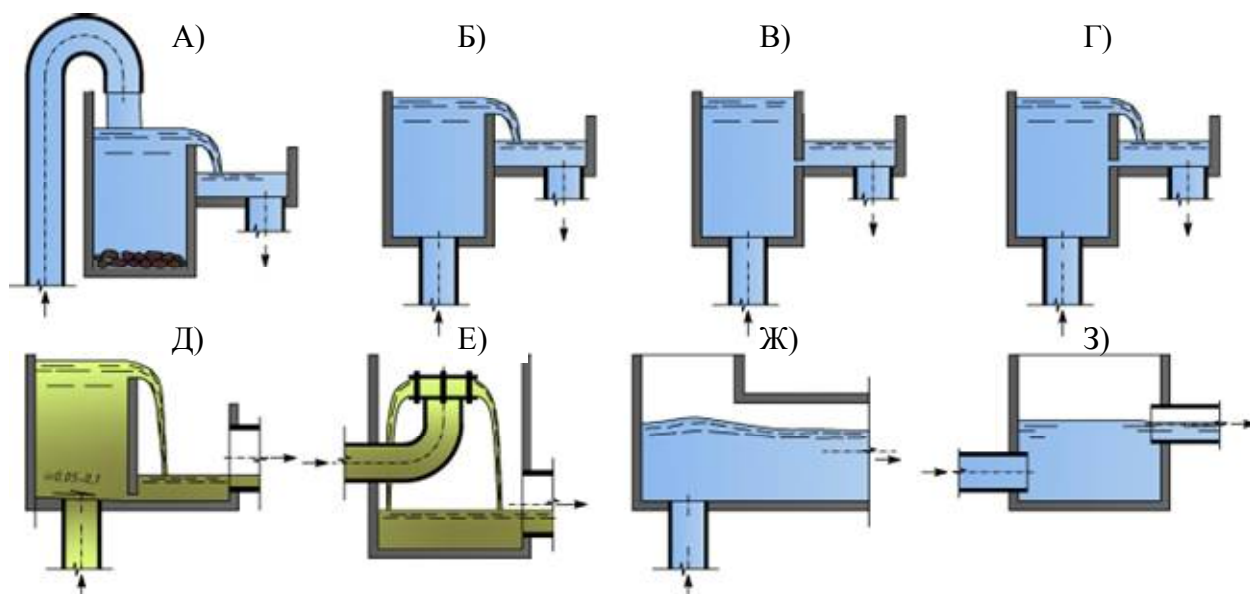


Рисунок 4 — Варианты конструкций приемно-разгрузочных камер

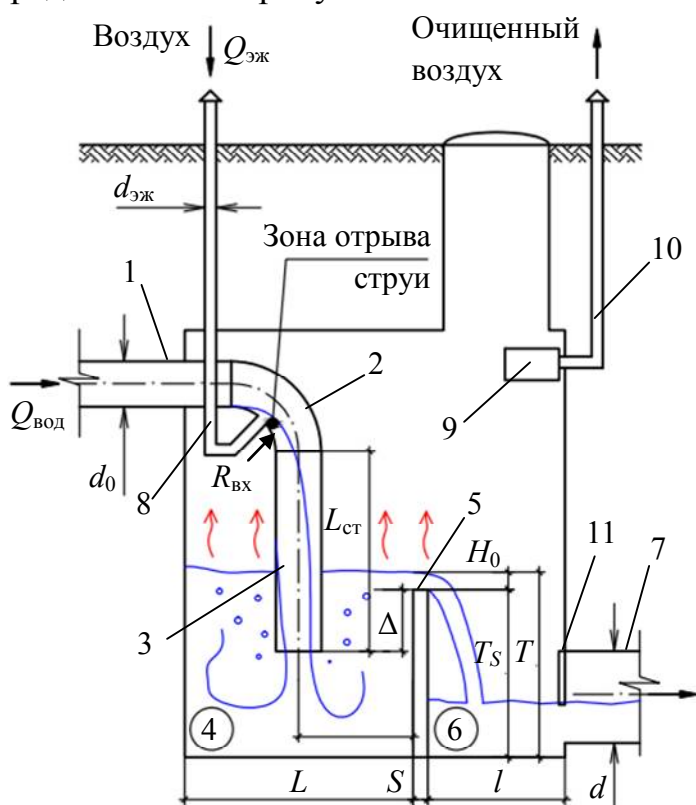
Конструкции Б, В, Г и Д (Г и Д — в составе одной заявки) были запатентованы (Патенты РФ № 124909, 124703, 124704) с учетом включения в состав элементов конструкции рассеивателя — колпака с радиально расположенными отверстиями, площадь которых должна быть больше прозора рабочего колеса насоса, установленного перед напорным трубопроводом.

Запатентованные конструкции Б, В, Г и Д для сточных вод реализуют активный способ защиты от коррозии — «удержание H_2S в сточной жидкости». В данном случае процесс дегазации выражается в малых количествах выделяющихся газов, и КГН не интенсифицирует процесс коррозии на сети. Такое решение рационально принимать на канализационных сетях небольших диаметров (с диаметром подводящего трубопровода до 200 мм), когда отводящий трубопровод выполняется из гофрированных полимерных труб, стойких к коррозии. Для канализационных коллекторов больших диаметров такие решения уступают конструкции камеры, предложенной положением 6.

6. Разработана новая конструкция камеры гашения напора, которая при использовании в комплексе с газоочистной станцией выступает новым альтернативным методом борьбы с коррозией, и установлены основные зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода поступающей жидкости при различных геометрических параметрах камеры

При организации естественной эжекции воздуха в подводящий трубопровод КГН происходит насыщение сточной жидкости кислородом, что позволяет предотвратить процесс коррозии. Концентрация кислорода в сточной жидкости на выходе из сооружения может быть определена по методике,

представленной в диссертации (положение 4). Эффективная конструкция КГН представлена на рисунке 5.



1 — подводящий трубопровод; 2 — отвод; 3 — стояк; 4 — резервуар-гаситель; 5 — водосливная стенка; 6 — лоток-гаситель; 7 — отводящий коллектор; 8 — трубопровод-эжектор; 9 — блок очистки воздуха; 10 — трубопровод отвода очищенного воздуха; 11 — перегородка; $Q_{\text{вод}}$ — расход воды; $Q_{\text{эж}}$ — расход эжектируемого воздуха; d_0 — диаметр подводящего трубопровода; $d_{\text{эж}}$ — диаметр трубопровода-эжектора; d — диаметр отводящего коллектора; $R_{\text{вх}}$ — радиус входной воронки; L — длина резервуара-гасителя; l — длина лотка-гасителя; S — толщина водосливной стенки; T — глубина воды в резервуаре-гасителе камеры; T_s — высота водосливной стенки; Δ — заглубление стояка относительно водосливной стенки; H_0 — напор на водосливе.

Рисунок 5 — Схема эффективной конструкции камеры гашения напора

Для установления наивыгоднейших соотношений диаметров трубопроводов, их линейных параметров относительно других элементов камеры, оптимальных размеров сооружения в плане и по высоте было проведено моделирование конструкций. Основным критерием, по которому сравнивались между собой конструкции, выступил расход эжектируемого воздуха. Чем больше его значение при равных расходах воды, тем выше будет концентрация кислорода на выходе с камеры гашения напора.

Сооружение функционирует следующим образом. Вода по подводящему напорному трубопроводу (1) направляется в стояк (2) и попадает в резервуар-гаситель (4). Горизонтальный участок трубопровода и стояк сопряжены между собой либо с помощью отвода (2), имеющего определенный радиус входа $R_{\text{вх}}$, или могут быть подсоединены под прямым углом без закругления. В зоне сопряжения данных трубопроводов происходит отрыв струи и образуется зона пониженного давления. Сюда подводится трубопровод-эжектор (8), сообщающийся с атмосферой. Стояк (2) заглублен на величину Δ относительно уровня воды в резервуаре-гасителе (4), формируемом с помощью водосливной стенки (5). В резервуаре-гасителе (4) происходит процесс смешения воды и воздуха, сопровождающийся повышением концентрации растворенного кислорода в стоке. Далее аэрированная сточная жидкость изливается через водослив в лоток-гаситель (6) и направляется в отводящий коллектор (7).

Основным инструментом моделирования выступил математический пакет ANSYS 14.5 (модуль CFX), позволяющий получить широкий спектр различных параметров и визуализацию совместного движения воды и воздуха. Однако для

подтверждения результатов, получаемых на математических моделях, было проведено физическое моделирование. Для этих целей в лаборатории гидравлики СПбГАСУ была смонтирована гидравлическая установка — физическая модель КГН. На установке были проведены серии опытов, подтвердившие возможность аэрирования жидкости воздухом за счет организации его естественной эжекции на подводящем трубопроводе КГН. При этом отмечалось отсутствие пульсационных явлений в случае поступления воздуха через трубопровод-эжектор, подведенный к зоне отрыва струи на подводящем трубопроводе. Установка позволяла изменять такие параметры как $L_{ст}$ и Δ , однако диапазон получаемых данных был строго ограничен, что обусловило необходимость создания математической модели.

Были разработаны математическая модель камеры гашения напора и различные ее модификации. Модель была создана в математическом пакете CFX программного комплекса ANSYS 14.5, осуществляющего вычисления численными методами на основе решения системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, дополненной уравнениями k - ε модели турбулентности, в соответствии с рекомендациями для подобного типа задач.

Перед проведением исследований крупных реальных моделей КГН была проведена работа по верификации разрабатываемых математических моделей в программном комплексе ANSYS 14.5. Первоначально была создана математическая модель, идентичная физической установке. В результате была получена хорошая сходимость результатов, получаемых на математической модели с данными, полученными на установке, что было представлено статье (рисунок 7). Кроме того, были созданы модели стояков перепадов, и проведено сравнение модельных результатов с данными В.М. Васильева и М.И. Алексеева, а также получена сходимость результатов модели и натуры при анализе работы действующей канализационной шахты.

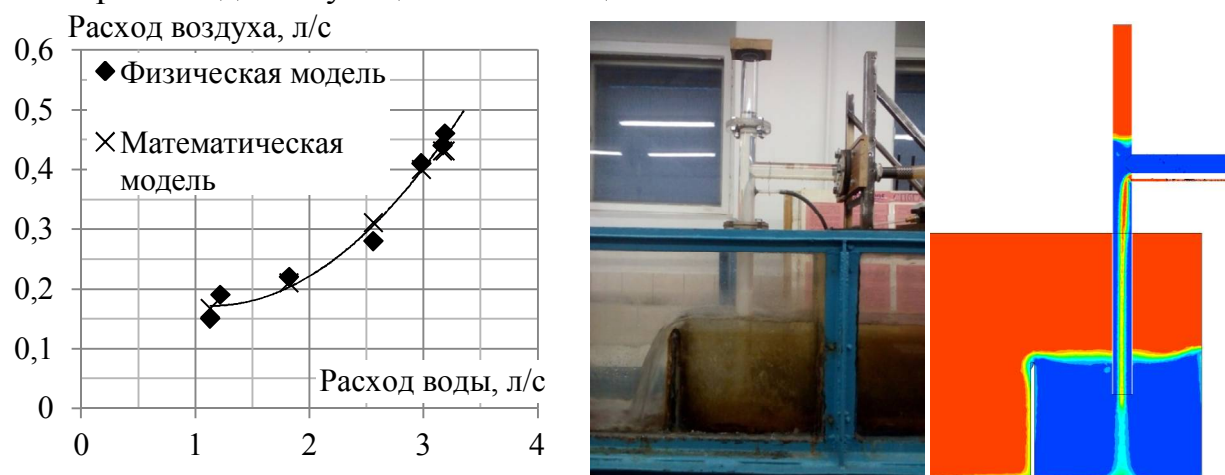
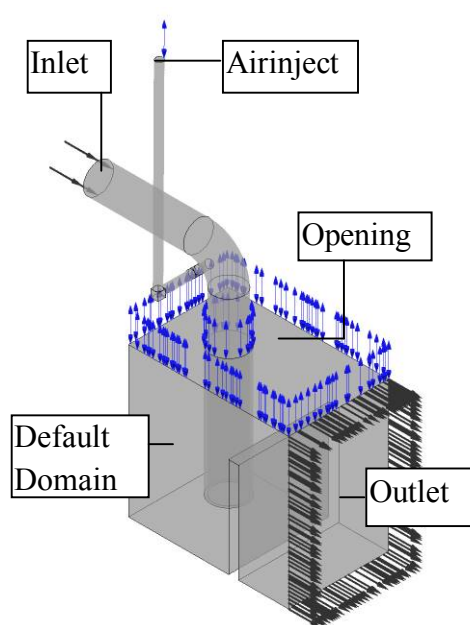


Рисунок 6 — сравнение математической и физической моделей

Математическая модель КГН, с указанием параметров моделирования и граничных условий представлена на рисунке 7. Размер ячеек сетки ($8,7 \cdot 10^{-4}$ м — 0,18 м), тип мультифазной модели (гомогенная модель, interface compression: «2») и прочие параметры (количество итераций: 500, specified blend factor: 0,75, fluid timescale control: «Auto timescale», length scale: 3 м) были назначены исходя из анализа специальной литературы, посвященной работе программного

комплекса. В рамках исследования по определению количества эжектированного воздуха в зависимости от количества подаваемой воды было проведено 18 серий опытов. Диапазон расходов воды принимался соответствующим скоростям 1 – 3 м/с (рекомендуемые скорости движения воды в напорных трубопроводах для диаметров 250 — 800 мм). Диаметр трубопровода-эжектора $d_{эж}$ изменялся в диапазоне 75 — 600 мм, а его длина была принята конструктивно — 2 м (ориентировочное расстояние до поверхности земли), шероховатость — 0,0001 м. Изменялись также значения длины стояка $L_{ст}$ и радиуса входа $R_{вх}$.

Граничные условия:



«Inlet» — Поступление воды [Bulk Mass Flow Rate , кг/с]
«Opening» — Открытая поверхность с атмосферным давлением [Opening, relative pressure 0 Па]
«Airinject» — Поступление воздуха из внешней среды [Opening, relative pressure 0 Па]
«Outlet» — Выход воды и воздуха за пределы расчетной области [Static pressure, 0 Па]
«Default Domain» — Все прочие границы модели – твердые стенки. [Wall, wall roughness: 0,0001 м]

Рисунок 7 — Математическая модель КГН, граничные условия

После получения первичных данных, была проведена их математическая обработка. В результате были получены зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода воды и заглубления для всех серий опытов (кроме серий №10 — №13). Зависимости могут быть представлены в виде уравнения (1):

$$Q_{эж} = ((A_A \cdot \Delta^2 + B_A \cdot \Delta + C_A) \cdot Q_{вод}^2 + (A_B \cdot \Delta^2 + B_B \cdot \Delta + C_B) \cdot Q_{вод} + (A_C \cdot \Delta^2 + B_C \cdot \Delta + C_C)) / 1000, \quad (1)$$

при этом значения расходов подставляются в л/с, заглубления Δ — в мм, а коэффициенты A_A — C_C зависят от конкретных условий и представлены в диссертации.

Графически данные зависимости были представлены в виде поверхностей, как показано на рис. 8 для серии опытов №1. Из графика на рис. 8 видно, что заглубление оказывает значительное влияние на расход эжектируемого воздуха. Точке максимума соответствует минимальное заглубление при наибольшем поступающем расходе воды.

Результаты моделирования показали, что максимальному заглублению во всех случаях соответствует минимальный расход эжектируемого воздуха. Во всех случаях максимальное значение $Q_{эж}$ соответствует условиям заглубления в уровень с водосливной стенкой ($\Delta = 0$ мм) и максимальному расходу

поступающей по подводящему трубопроводу жидкости. Увеличение длины стояка $L_{ст}$ также способствует увеличению расхода жидкости.

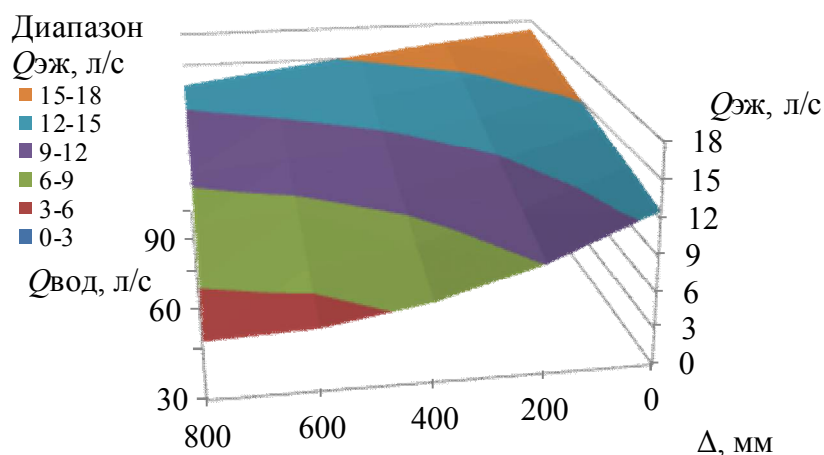


Рисунок 8 — Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ для серии опытов №1

Также несколькими сериями опытов было оценено влияние радиуса входа $R_{вх}$ на расход эжектируемого воздуха $Q_{эж}$. В данных сериях были промоделированы камеры гашения напора с диаметром подводящего трубопровода $d_0 = 200$ мм, 300 мм, 500 мм, и диаметром трубопровода-эжектора $d_{эж} = 75$ мм. Значения $R_{вх}$ принимались равными $R_{вх} = 0,5d_0$, $R_{вх} = 0,75d_0$ и $R_{вх} = 0 \cdot d_0$. Зависимости $Q_{эж}$ от $Q_{вод}$ при конкретных значениях Δ для камеры гашения напора $d_0 = 200$ мм с разными $R_{вх}$ представлены на рисунке 9.

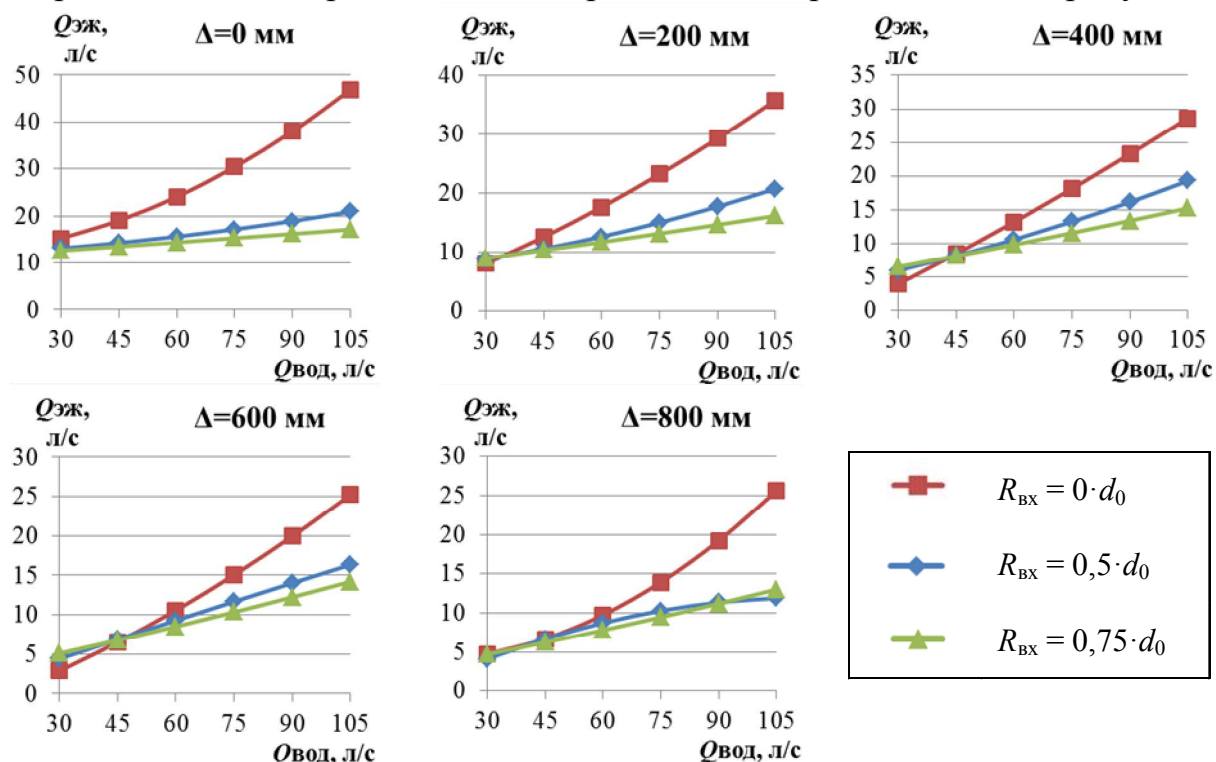


Рисунок 9 — Зависимости $Q_{эж}$ от $Q_{вод}$ при различных значениях Δ для КГН с $d_0 = 200$ мм

Для камер гашения напора с $d_0 = 300$ мм, 500 мм зависимости имеют схожий характер. Во всех случаях расход эжектируемого воздуха для камер $R_{вх} = 0,5d_0$ и $R_{вх} = 0,75d_0$ имеет близкие значения при любом $Q_{вод}$ и Δ . При этом, при

расходе воды, соответствующем скорости в подводящем трубопроводе 1 м/с (минимальном для всех рассмотренных случаях), вариант с $R_{\text{вх}} = 0d_0$ оказывается наименее выгодным при $\Delta = 200$ — 800 мм по сравнению с $R_{\text{вх}} = 0,5d_0$ и $R_{\text{вх}} = 0,75d_0$. При $\Delta = 0$ мм значения расхода эжектируемого воздуха близки для всех вариантов. Однако при увеличении расхода поступающей жидкости, камера гашения напора с $R_{\text{вх}} = 0d_0$ работает значительно более эффективно. Поэтому в случае подбора напорного водовода на скорость более 1 м/с рационально принимать $R_{\text{вх}} = 0d_0$.

Диаметр трубопровода-эжектора $d_{\text{эж}}$ определяет его сопротивление, и потому, напрямую влияет на расход эжектируемого воздуха. Ряд проведенных серий опытов был направлен на выявление наибольшего возможного диаметра трубопровода эжектора относительно диаметра подводящего трубопровода (в данном случае — $d_0 = 600$ мм). Сравнение вариантов было проведено при оптимальном значении заглубления $\Delta = 0$ мм. Результаты моделирования представлены на рисунке 10. Следует отметить, что при значениях $d_{\text{эж}} = 300$ мм, $d_{\text{эж}} = 600$ мм, трубопровод-эжектор оказывался частично заполнен сточной жидкостью (как показала визуализация течения жидкости в модели), что является недопустимым. Оптимальным представляется соотношение $d_{\text{эж}} = 1/3 \cdot d_0$.

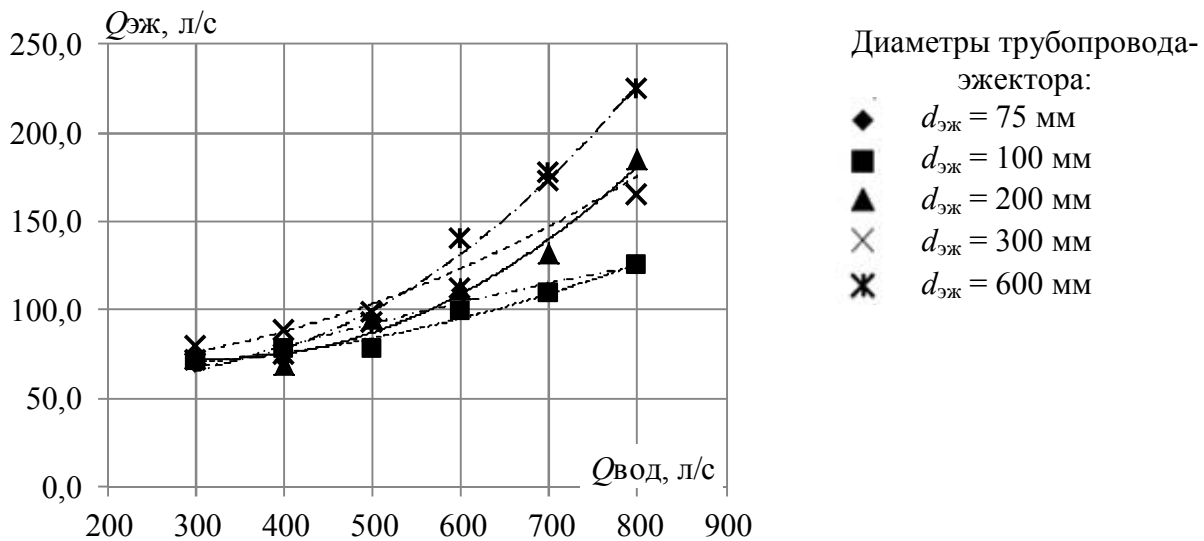


Рисунок 10 — Зависимость $Q_{\text{эж}}$ от $Q_{\text{вод}}$ при различных значениях $d_{\text{эж}}$ для КГН с $d_0 = 600$ мм

Высота резервуара-гасителя КГН, формируемая водосливной стенкой высотой T_s , определяется необходимой глубиной воды в нем T . В резервуаре-гасителе происходит гашение кинетической энергии падающего потока о находящуюся в нем жидкость. Необходимая высота резервуара-гасителя может быть принята из условия снижения скорости до требуемых величин (2 м/с для КГН из железобетона без футеровки, 3 м/с для КГН с футеровкой), в соответствии с допустимыми скоростями движения в канализационных коллекторах (установленными НОСТРОЙ). В соответствии с этим было проведено моделирование конструкций КГН с диаметром подводящего трубопровода $d_0 = 200$ — 800 мм и было получено поле векторов скоростей

жидкости в камере с указанием численного значения скорости в каждой точке расчетной области. В результате для каждой камеры была установлена глубина, на которой достигается требуемая скорость. Пример представлен на рис. 11 (А).

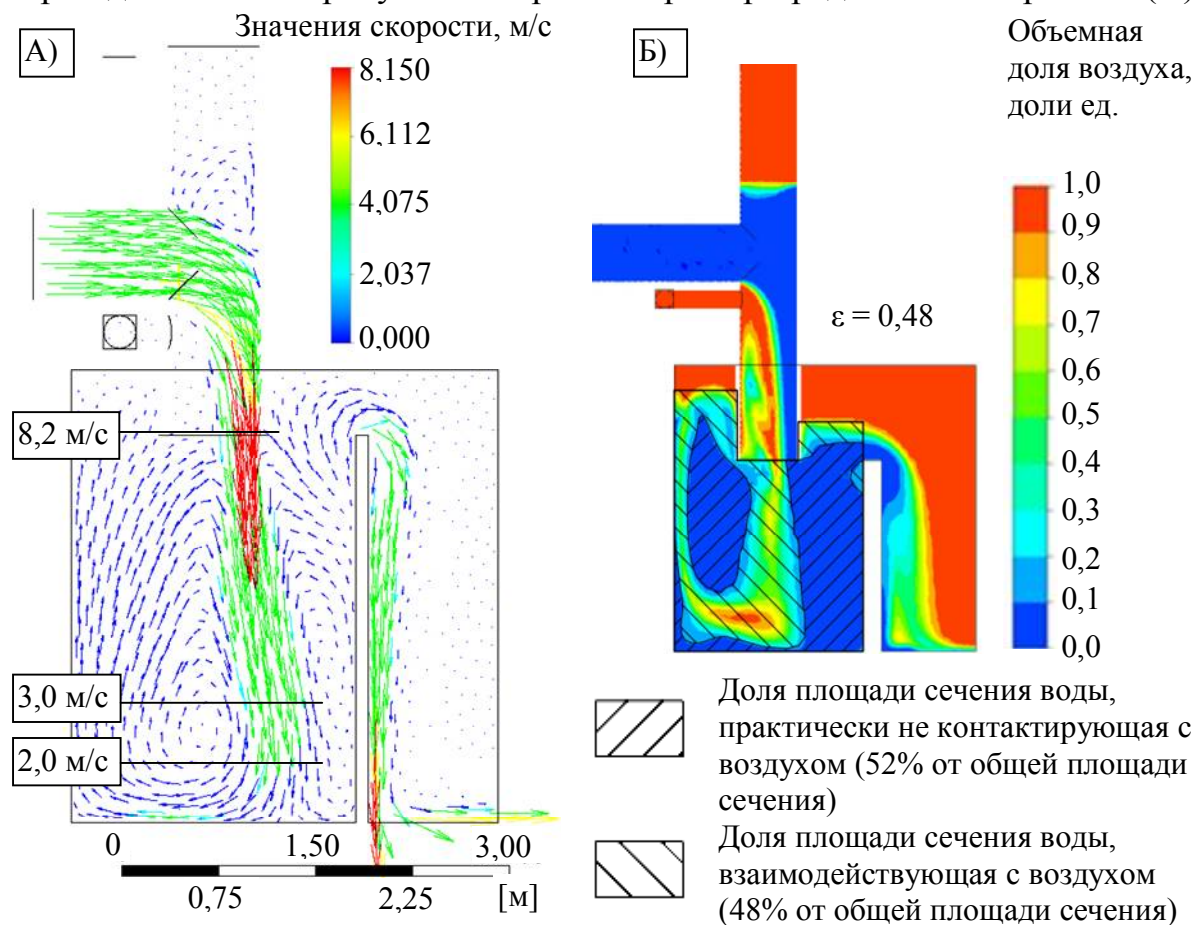


Рисунок 11 — А) вектора скорости жидкости в КГН с $d_0 = 800$ мм; Б) схема к определению газонасыщения ϵ в КГН с $d_0 = 300$ мм, $d_{\text{эж}} = 100$ мм, $L \times B = 1000 \times 1000$ мм, $T_s = 1000$ мм

Кроме того, для определения значения параметра газонасыщения ϵ как доли объема жидкости, провзаимодействовавшей с эжектируемым воздухом в резервуаре-гасителе КГН, были промоделированы камеры гашения напора с максимально возможным диаметром трубопровода-эжектора ($1/3 \cdot d_{\text{эж}}$) при диаметрах подводящего трубопровода $d_0 = 200$ — 800 мм. Газонасыщение в долях ед., было получено на основе определения процента от площади сечения, проведенного по центру резервуара-гасителя, со значением объемной доли воздуха $>0,05$, считая эту площадь участвующей в массообменном процессе. На рисунке 11 (Б) представлена схема к определению газонасыщения.

7. Разработана методика расчета камеры гашения напора для инженеров, позволяющая осуществлять подбор ее геометрических параметров, обеспечивающих наилучшие условия с точки зрения борьбы с коррозией

По результатам моделирования была составлена методика расчета параметров камеры гашения напора для инженеров, содержащая таблицы для подбора геометрических параметров (размеров в плане и по высоте) в зависимости от диаметра подводящего трубопровода. При этом таблицы

составлены для различных случаев (круглая или прямоугольная камера в плане, выполнена из сборного или монолитного железобетона, имеет 1 или 2 напорных трубопровода) и представлены в диссертации. Пример таблицы для назначения высоты резервуара-гасителя представлен ниже (таблица 3).

Таблица 3 — Рекомендуемое значение T_S для КГН с $d_0 = 200 — 800$ мм

Диаметр подводящего трубопровода, мм	200	300	400	500	600	800
Максимальный расход воды, л/с	63	200	375	575	800	1500
Высота водосливной стенки T_S , мм, для КГН с футеровкой	500	700	1000	1100	1200	2100
Высота водосливной стенки T_S , мм, для КГН, имеющей открытую поверхность	800	1000	1300	1400	1500	2550

В инженерной практике для определения количества инжектируемого воздуха пользоваться уравнением (1), подбирая коэффициенты $A_A — C_C$ по представленной в диссертации таблице достаточно затруднительно, и поэтому автором рекомендуется принимать значения расхода воздуха как 20% от расхода воды (для наиболее выгодных условий $\Delta = 0$ мм, $R_{вх} = 0 \cdot d$ мм, $d_{эж} = 1/3 \cdot d_0$). Подобное соотношение обеспечивает насыщение сточной жидкости кислородом воздуха до требуемых концентраций.

8. Обоснована экономическая эффективность использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях по сравнению с другими методами предотвращения коррозии

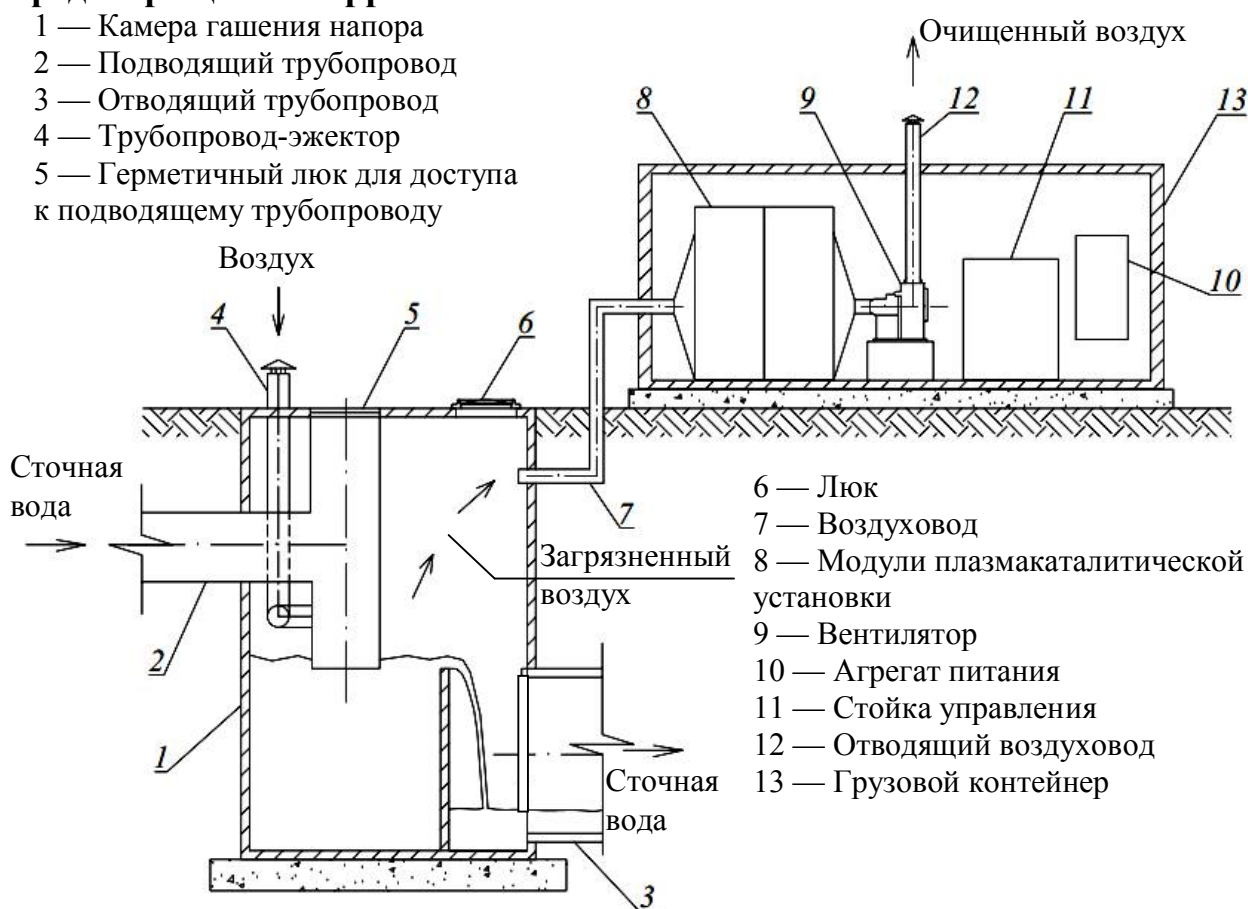


Рисунок 12 — Комплекс «камера гашения напора — газоочистная установка»

Использование КГН предлагаемой конструкции будет эффективно исключительно в сочетании с газоочистной установкой, т.к. одновременно с процессом абсорбции кислорода воздуха сточной жидкости в резервуаре-гасителе будет происходить дегазация сероводорода (см. рисунок 12).

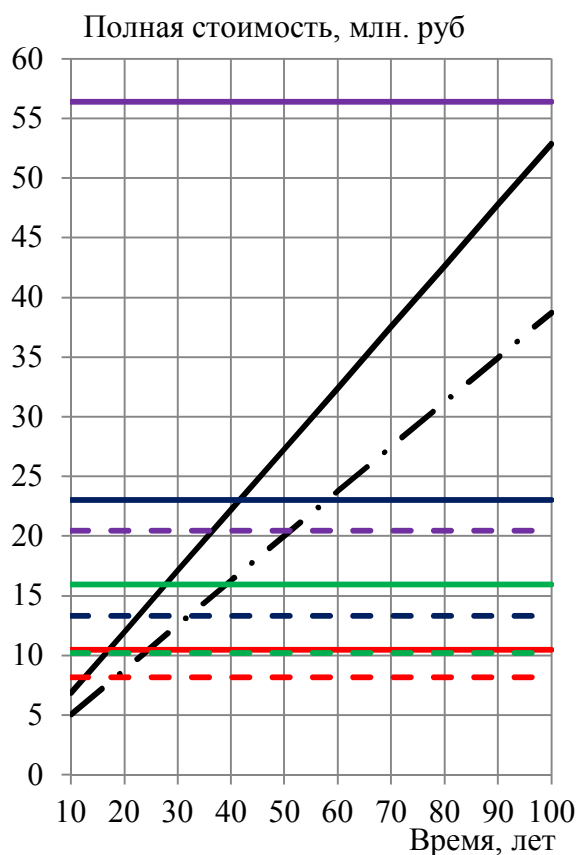


Рисунок 13

- 1 вариант — «Нобас» (d=800 мм)
- 2 вариант — «Нобас» (d=1000 мм)
- 3 вариант — «Нобас» (d=1300 мм)
- 4 вариант — «Нобас» (d=2000 мм)

— 1 вариант — «КГН + газоочистная установка» (d = 800 мм)
 — 2, 3, 4 варианты — «КГН + газоочистная установка» (d = 1000 — 2000 мм). Одна линия, т.к. для трех вариантов требуется одинаковое количество модулей установки и одинаковый вентилятор

Рисунок 13 — Сравнение стоимости способов защиты канализационного коллектора протяженностью 250 м за различные периоды времени

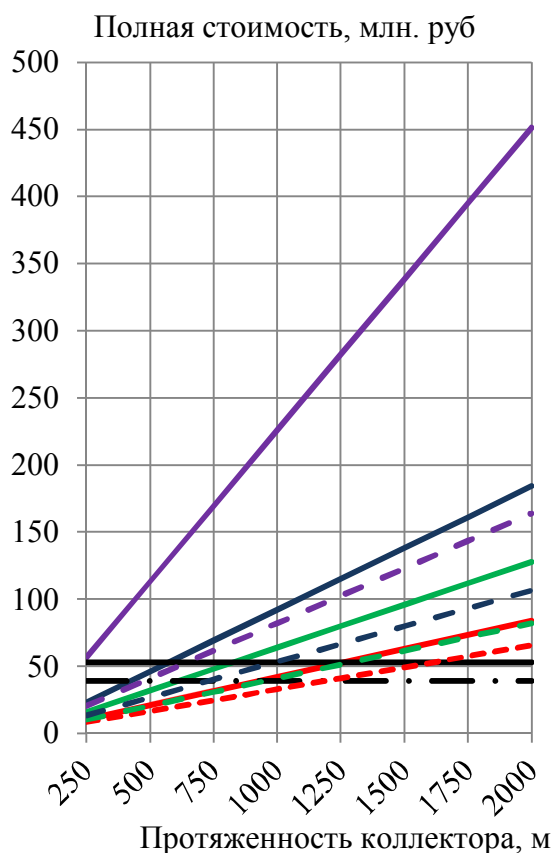


Рисунок 14

- 1 вариант — «Конусит» (d=800 мм)
- 2 вариант — «Конусит» (d=1000 мм)
- 3 вариант — «Конусит» (d=1300 мм)
- 4 вариант — «Конусит» (d=2000 мм)

— 1 вариант — «КГН + газоочистная установка» (d = 800 мм)
 — 2, 3, 4 варианты — «КГН + газоочистная установка» (d = 1000 — 2000 мм). Одна линия, т.к. для трех вариантов требуется одинаковое количество модулей установки и одинаковый вентилятор

Рисунок 14 — Сравнение способов защиты канализационного коллектора различной протяженности за 100 лет

Для экономического сравнения была рассмотрена следующая задача: имеется КГН от двух напорных водоводов и коллектор после нее, который необходимо защитить. Рассмотрено 4 варианта диаметра коллектора: (1-й вариант: 800 мм, 1000 мм, 1300 мм, 2000 мм) и протяженности (250 — 2000 м). Проведено сравнение трех способов защиты: 1) использование комплекса «КГН — газоочистная установка»; 2) футеровка стеклопластиковыми трубопроводами «Нобас», 3) Защита за счет покрытия стенок коллектора

материалом «Конусит КК-10». В итоге были получены зависимости, представленные на рисунке 13. Первый способ подразумевает помимо капитальных также и эксплуатационные затраты, что влияет на его стоимость в течение времени (как показано на рисунке 13 А).

Использование предлагаемого комплекса будет выгодным для защиты коллекторов больших диаметров и протяженности, а для коллекторов малой протяженности может рассматриваться как временное решение проблемы коррозии, когда водохозяйственная организация не располагает достаточным количеством средств для защиты с использованием стеклопластиковыми трубами (наиболее надежный и в то же время дорогой способ).

III ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По итогам работы над диссертацией получены следующие результаты:

1. На основе проведенного обзора литературы, а также микробиологических анализов и анализов газовой среды, выполненных на действующих канализационных сооружениях г. Санкт-Петербурга, была составлена схема, наиболее полно описывающая процесс микробиологической коррозии.

2. По результатам изучения технической документации, визуальных осмотров и анализов газовой среды составлена методика определения аварийности канализационных шахт, основанная на совпадении средних значений концентраций сероводорода и фактического состояния строительных конструкций этих сооружений.

3. Выполнен литературный обзор и составлена новая, наиболее полная классификация методов борьбы с коррозией, выделены их недостатки и возможность применения на стадиях проектирования и строительства, эксплуатации и реконструкции.

4. Проведено исследование защитных покрытий в условиях действующих сооружений и показана эффективность применения полимерсиликатного состава «Конусит КК-10» в качестве метода пассивной защиты;

5. Предложен новый метод — аэрация сточной жидкости в камере гашения напора. На основе методов расчета процессов и аппаратов химической промышленности представлена методика расчета насыщения сточной жидкости кислородом воздуха и расчетами доказана эффективность метода.

6. Проведен обзор существующих конструкций приемно-разгрузочных камер на канализационных и водопроводных сетях, предложены и запатентованы новые конструкции.

7. Проведен обзор существующих конструкций камер гашения напора на канализационных сетях, выявлены их недостатки, и предложена новая конструкция (и ее модификации) камеры, позволяющая реализовать аэрацию сточных вод как метод защиты от коррозии.

8. Проведено математическое моделирование конструкций камер гашения напора, а для подтверждения достоверности результатов была создана гидравлическая установка, и с ее помощью проведено физическое моделирование камеры гашения напора. В результате получены зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода воды при различных значениях

заглубления стояка, радиуса входной воронки подводящего трубопровода, высоты стояка и диаметра трубопровода-эжектора. Также определены значения газонасыщения и показана эффективность гашения кинетической энергии жидкости в пределах резервуара-гасителя камеры гашения напора.

9. Составлена методика расчета для проектирования камер гашения напора для инженера, позволяющая определить геометрические размеры и расчетные параметры работы сооружения.

10. Представлено инженерное решение по защите канализационного коллектора методом аэрации сточной жидкости – комплекс «Камера гашения напора – газоочистная установка».

11. Проведено экономическое сравнение способов защиты коллектора и доказана экономическая эффективность применения комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» для трубопроводов небольшой протяженности на период времени 20-40 лет, как временное решение, и на период 100 лет — как постоянное решение для трубопроводов большей протяженности (более 1 км).

IV ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

**Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией
Министерства образования и науки Российской Федерации.**

1. **Столбихин, Ю.В.** Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии [Текст] / В.М. Васильев, Г.А. Панкова, Ю.В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника – 2013. - №9. – С.67 – 76 (0,208/0,625 п.л.)
2. **Столбихин, Ю.В.** Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них [Текст] // В.М. Васильев, М.Н. Клементьев, Ю.В. Столбихин / Водоснабжение и санитарная техника №1, 2015 г, С. 58-66 (0,188/0,563 п.л.)
3. **Столбихин Ю.В.** Исследование процесса эжекции воздуха в камере гашения напора [Текст] / Ю.В. Столбихин // Вестник гражданских инженеров, 2015. №3 (50). С. 202-210 (0,563 п.л.)
4. **Столбихин Ю.В.** Моделирование эффективных конструкций камер гашения напора [Текст] / Ю.В. Столбихин // Вестник гражданских инженеров, 2015. В печ. (0,563 п.л.)

Патенты (полезная модель)

5. Приемная камера гашения: пат. № 124 909, Рос. Федерация; МПК E03F 5/00. E03B 11/00 / Мурашев С.В., Ромодин К.М., Васильев В.М., **Столбихин Ю.В.** заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы"- № 2012113158/13; заявл. 05.04.2012; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 2с.: ил.
6. Приемная камера гашения: пат. № 124 703, Рос. Федерация; МПК E03F 5/00. E03B 11/00 / Мурашев С.В., Ромодин К.М., Васильев В.М., **Столбихин**

Ю.В. заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы"- № 2012113157/13; заявл. 05.04.2012; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 2с.: ил.

7. Приемная камера гашения: пат. № 124 704, Рос. Федерация; МПК E03F 5/00. E03B 11/00/ Мурашев С.В., Ромодин К.М., Васильев В.М., **Столбихин Ю.В.** заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы"- № 2012113160/13; заявл. 05.04.2012; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 2с.: ил.

Публикации в других изданиях:

8. **Stolbichin J.** Microbiological Corrosion of Underground Sewage Facilities of Saint Petersburg [Текст] / J. Stolbichin, V. Vasiljev, N. Lapsev // World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction);, 2013, PP. 184-190 (0,146/0,438 п.л.)

9. **Stolbikhin Y.** Inspecting and monitoring the technical condition of sewage collectors [Текст] / Y. Stolbikhin, V. Vasilyev // Trans Tech Publications, Switzerland, Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015), PP 1319-1324. (0,188/0,375 п.л.)

10. **Столбихин, Ю.В.** Выбор конструкции приемных камер после напорных водоводов и их расчет [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Актуальные проблемы современного строительства: 64-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых / СПбГАСУ. – В 3 ч. Ч. 1. – СПб., 2011. – С. 249 (0,03/0,06 п.л.)

11. **Столбихин, Ю.В.** Выбор конструкции приемно-разгрузочных камер (камер гашения) после напорных водоводов и их расчет [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2012. - №2/3 (50/51). – С.48-61. (0,438/0,875 п.л.)

12. **Столбихин, Ю.В.** Условия применения приемно-разгрузочных камер (камер гашения) после напорных водоводов и их расчет [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Технологии мира – 2012. - № 06(44). – С. 27-34. (0,25/0,50 п.л.)

13. **Столбихин, Ю.В.** Выбор конструкции приемных камер после напорных водоводов и их расчет [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Материалы всероссийской научной конференции «Молодые исследователи – регионам», Вологда, 2012, том 1, С. 432-434. (0,10/0,19 п.л.)

14. **Столбихин, Ю.В.** Выбор оптимального варианта транспортирования жидкости по водоводам большой протяженности по территории с наличием резкого перепада высотных отметок [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // I международный конгресс молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов «Актуальные проблемы строительства и архитектуры. Часть II) – 2012, С. 38-40. (0,10/0,19 п.л.)

15. **Столбихин Ю.В.** Классификация конструкций приемно-разгрузочных камер и условия их применения [Текст] // Инженерно-экологические системы:

материалы Международной научно-практической конференции 10-12 октября 2012 г.; СПбГАСУ. – СПб., 2012. – С. 33-37. (0,31 п.л.)

16. **Столбихин, Ю.В.** Микробиологическая коррозия канализационных сооружений [Текст] // В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин / Материалы всероссийской научной конференции «Молодые исследователи – регионам», Вологда, 2013, том 1, - С. 357-358 (0,07/0,125 п.л.)

17. **Столбихин, Ю.В.** К вопросу моделирования двухфазного движения в сооружениях на канализационных сетях [Текст] // Ю.В. Столбихин / Материалы всероссийской научной конференции «Молодые исследователи – регионам», Том1, Вологда, 2014 С.280-282 (0,19 п.л.)

18. **Столбихин, Ю.В.** Моделирование работы канализационной шахты [Текст] / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Доклады 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета – 2014. Ч.2. – С.136-139. (0,125/0,25 п.л.)

19. **Столбихин Ю.В.** Теоретические основы процессов разрушения железобетонных канализационных коллекторов и сооружений на них [Текст] // Тезисы докладов 3-й конференции «Ремонт и восстановление бетонных конструкций на сооружениях сточных вод» г. Сочи, 2014 г. (0,154 п.л.)

20. **Столбихин, Ю.В.** К вопросу физического и математического моделирования камер гашения напора [Текст] / Ю.В. Столбихин // Материалы Международной научной конференции «Молодые исследователи – регионам», Вологда, 2015, том 1, С. 405-407 (0,188 п.л.).

21. **Столбихин Ю.В.** Сравнение физической и математической моделей камеры гашения напора [Текст] / М. В. Разумова, Ю. В. Столбихин //Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА». / СПб: СПбГАСУ. 2015. Ч.1 С. 319-323. (0,15 / 0,25 п.л.)