

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи

Самбурский Георгий Александрович



**Разработка и совершенствование теоретических и методологических
принципов формирования технологической и нормативной базы
обеспечения качества питьевой воды в Российской Федерации**

03.02.08 Экология (химическая технология) (технические науки)
05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения

Научный консультант

Пупырев Евгений Иванович

Доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель науки РФ

Официальные оппоненты:

Каграманов Георгий Гайкович

Доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
мембранной технологии РХТУ им.
Д.И.Менделеева

Смирнов Александр Дмитриевич

Доктор технических наук, с.н.с.,
главный специалист экспертного отдела
Акционерное Общество «НИИ ВОДГЕО»
(АО «НИИ ВОДГЕО»)

Ведущая организация:

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки «Институт
водных проблем» Российской академии
наук

Защита диссертации состоится «12» мая 2022 года в 14.00 на заседании диссертационного совета РХТУ.05.05 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по адресу: 125047, г. Москва, Миусская пл., 9, аудитория 443 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ имени Д.И. Менделеева, а также на официальном сайте <https://diss.muctr.ru>
Автореферат разослан «__» _____ 2022 года

Учёный секретарь
диссертационного совета РХТУ.05.05
кандидат технических наук, доцент

Я.П. Молчанова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

С химической точки зрения питьевая вода – это сложная гетерогенная система, в которой сама вода является средой, где присутствуют растворенные и нерастворенные загрязняющие вещества. Вопросы повышения качества питьевой воды решаются с применением соответствующих технологий, многие из которых основываются на использовании реагентов, а также соответствующих химических технологий очистки воды. Обеспечение населения страны качественной и безопасной питьевой водой является важной государственной задачей и лежит в основе Национального проекта «Экология», реализуемого в РФ с 2019 года. Процессы обеспечения питьевой водой населения находятся, исходя из требований экологического, санитарного законодательства и технического регулирования, в определяющей зависимости от качества водных источников, от показателей энерго- и ресурсоэффективности применяемых технологических решений, а также от инфраструктуры процессов водоснабжения. Существующие нормативные документы не в полной мере учитывают современные технологические возможности объектов подготовки и транспортировки питьевой воды, в т.ч. изменение эмиссий загрязняющих веществ, вызванное антропогенными либо естественными причинами.

Данная работа посвящена разработке научных и методологических основ обеспечения безопасности для человека питьевой воды, совершенствованию подходов к выбору теоретических и методологических принципов регулирования требований к источникам водоснабжения, теоретическому обоснованию требований к стандартизации процессов и формированию национальных стандартов, позволяющих с экологических позиций обеспечить надлежащее качество питьевой воды для населения, пользующегося услугами централизованного питьевого водоснабжения.

Степень разработанности темы

При выполнении работы были проанализированы труды отечественных и зарубежных исследователей по разработке методов и технологий организации централизованного питьевого водоснабжения и вопросов стандартизации технологических решений для водной отрасли. Разработке методических подходов по созданию и эксплуатации систем централизованного питьевого водоснабжения посвящен ряд научных работ отечественных и зарубежных ученых Яковлева С.В., Журбы М.Г., Пупырева Е.И., Фрога Б.Н., Слесарева М.Ю., Сметанина В.И., Теличенко В.И., Орлова В.А. и др. Химические и физико-химические основы классификации загрязняющих веществ рассматривались Кульским Л.А. и др. Санитарная надежность систем централизованного питьевого водоснабжения рассмотрена в работах Рахманина Ю.А., Плитман С.И., Онищенко Г.Г., Кармазинова Ф.В., Тулакина А.В. и др. Вопросы стандартизации и управления качеством, непосредственно затрагивающие область исследований настоящей работы рассмотрены в трудах Бойцова В.В., Гличева А.В., Субетто А.И., Львова Д.С., Гродзенского С.Я., Розенталя О.М. и др. Вопросы устойчивого развития,

включая основу формирования Целей устойчивого развития ООН, рассмотрены в работах Тарасовой Н.П., Данилова-Данильяна В.И. и др. Технологии, позволяющие обеспечить качество питьевой воды за счет повышения глубины очистки, рассмотрены в работах Дытнерского Ю.И., Каграманова Г.Г., Рябчикова Б.Е., Орлова Н.С. и др.

Несмотря на имеющийся значительный научный и методический объем данных, остаются недостаточно изученными вопросы обеспечения требуемого качества воды. Необходима взаимосвязь стандартизации подходов к выбору технологических решений и оборудования, формирования и управления объектами инфраструктуры, оценки эффективности проектных и эксплуатационных составляющих систем водоснабжения, достаточного и необходимого уровней экологической, гигиенической и технологической безопасности, основанная в т.ч. на экономической эффективности и возможностях предприятия.

Данная работа выполнена в рамках Федеральной программы «Чистая вода» Национального проекта «Экология» на 2019-2024 гг., Программы Национальной Стандартизации на 2018, 2019, 2020, 2021 гг., соответствует задачам, поставленным в Федеральном законе №416 «О водоснабжении и водоотведении», №162 «О стандартизации в РФ», № 390-ФЗ от 28.12.2010 «О безопасности», согласуется с задачами Федерального закона №52 «О санитарно-эпидемиологической безопасности населения», Федерального закона №102 «Об обеспечении единства измерений», посланием Президента РФ к Федеральному собранию от 05 марта 2018 г., поддержана в 2015-2017г. в рамках проекта Минобрнауки РФ ПНИ-ЭР RFMEFI58015X0004.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности:
03.02.08 Экология (технические науки) по пунктам:

- Экология человека – изучение общих законов взаимодействия человека и биосферы, исследование влияния условий среды обитания на человека.
- Разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие человеческого общества при сохранении биоразнообразия и стабильного состояния природной среды при создании безопасной и комфортной среды жизнедеятельности.

05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов по пунктам:

- Качество природных и сточных вод, методы определения отдельных компонентов загрязнений, закономерности процессов их взаимодействия в водоемах и в системах водного хозяйства, прогнозирование изменения качества воды в естественных и искусственных водоемах.
- Техничко-экономическая эффективность и надежность систем водного хозяйства городов, промышленных комплексов и производственных предприятий, оптимизация проектных решений строительства новых, технического перевооружения и реконструкции существующих систем, оптимизации режима работы систем и их отдельных элементов в соответствии с фактическим режимом водопотребления и поступления отработанной воды

Основная идея работы состоит в формировании принципов и механизмов обеспечения качества питьевой воды, исходя из системного подхода, позволяющего стандартизировать экологические, технологические, химические, гигиенические и экономические требования, включая вопросы контроля и оценки эффективности, предъявляемые к проектированию и эксплуатации объектов обеспечения питьевой водой населения Российской Федерации.

При этом имелось в виду что:

1. С учетом ухудшения состояния водных источников, в целях изучения общих законов взаимодействия человека и биосферы, необходимо обосновать универсальный принцип оценки качества воды водных источников с экологических позиций.
2. Процессы организации водоснабжения населения питьевой водой с позиций исследования влияния условий среды обитания должны рассматриваться во взаимосвязи применяемых технологий водоподготовки и обеспечения инфраструктуры водоснабжения (включая трубопроводное сетевое хозяйство), исходя из имеющегося технологического уклада для отрасли водоснабжения.
3. Алгоритм применения технологий для централизованного водоснабжения должен быть универсальным для объектов хозяйствования разного масштаба и расположенных в разных географических и климатических условиях в целях создании безопасной и комфортной среды жизнедеятельности.
4. Принцип формирования требований к оборудованию, материалам и реагентам, применяемым для организации питьевого водоснабжения должен основываться на предотвращении миграции в питьевую воду токсичных веществ.
5. Эколого-экономические положения предлагаемого подхода исходят из принципов оценки стоимости жизненного цикла при решении типовых задач обеспечения населения питьевой водой.

Цель диссертационной работы состоит в научном и методологическом обосновании подходов, принципов и механизмов, позволяющих формировать стандарты и требования к экологической оценке, энерго- и ресурсосберегающему проектированию и эксплуатации процессов обеспечения населения питьевой водой, с учетом совершенствования методик контроля качества воды и разработки интегральных методик оценки процессов на основе экологически ориентированной методики оценки затрат жизненного цикла.

Задачи работы:

1. Провести анализ действующих технологических и организационных аспектов организации обеспечения населения питьевой водой, по результатам которого определить достаточность требований к описанию работы систем питьевого водоснабжения, выявить соответствующие барьеры (риски), предложить и стандартизировать методологию описания для систем водоснабжения.
2. Провести анализ действующих требований к источникам водоснабжения и предложить методологию влияния условий среды обитания, позволяющую усовершенствовать и стандартизировать оценку качества водных источников с экологических позиций.

3. Научно и методологически обосновать взаимосвязь состояния водных источников и требований к технологическому уровню процессов и сооружений обеспечения качества питьевой воды для целей реализации Национального проекта (НП) «Экология», Федерального проекта (ФП) «Чистая вода».
4. Методологически обосновать возможность учета рисков при выборе технологий подготовки питьевой воды, включая оценку рисков с экологических позиций, предложить критерии оценки рисков и научно обоснованную методологию учета рисков и факторов, составляющих питьевой водоснабжение при выборе водного источника, технологий водоподготовки и транспортировки питьевой воды.
5. На основе научного анализа передовых отечественных и зарубежных стратегий предложить и стандартизовать усовершенствованную методологию организации контроля качества питьевой воды.
6. Предложить единообразный методологический подход, приведенный к оценке капитальных и эксплуатационных затрат для систем питьевого водоснабжения (СПВ).
7. Рассмотреть особенности транспортировки воды в СПВ и предложить рекомендации для выбора материалов с позиций энерго- и ресурсосбережения для реконструкции таких систем и анализа пропускной способности металлических трубопроводов систем водоснабжения.
8. Осуществить применение предлагаемых усовершенствованных научных и методологических подходов на объектах водоснабжения и на уровне внедрения в нормативно-техническую документацию, определяющую экологические, гигиенические и технологические требования.

Научная новизна:

1. На основании проведенного научного анализа сформированы требования к обеспечению качества питьевой воды в условиях контроля качества водного источника с экологических позиций, на сооружениях водоподготовки и распределительной сети с позиций энерго- и ресурсосбережения, с использованием теории вероятности. Разработаны совместно с Роспотребнадзором Методические рекомендации по требованиям к организации производственного контроля качества питьевой воды.
2. Научно обоснованы и стандартизированы с позиций экологического показателя антропогенной нагрузки характеристики качества воды водных источников. По итогам работы разработаны и внедрены четыре национальных стандарта.
3. Научно обоснованы, разработаны и стандартизированы принципы построения систем автоматического контроля загрязняющих веществ в воде в рамках мониторинга качества питьевой и сточной воды на основе автоматических методов контроля. Разработан и внедрен национальный стандарт.
4. Научно обоснованы и сформированы механизмы обоснования предельно допустимых концентраций, основанные на интервальном анализе, что позволяет обосновывать экологические требования по установлению допустимых

концентраций для определения технологических показателей наилучших доступных технологий.

5. На основании научно-методологического анализа разработана методология, позволяющая с позиций энерго- и ресурсосбережения формировать требования к выбору технологий обеспечения качества воды на основе оценки стоимости жизненного цикла материалов, реагентов, оборудования и объектов инфраструктуры водоснабжения и водоотведения. Работа осуществлялась совместно с НИИ Строительной Физики по заданию Минстроя России. Разработан и внедрен национальный стандарт.

6. Научно и методически обоснованы, впервые разработаны и стандартизованы на национальном и межгосударственном уровне требования к реагенту для очистки воды – полиоксихлориду алюминия. Разработаны и введены в действие национальный и межгосударственный стандарты.

7. Научно обоснован, разработан и внедрен национальный стандарт в области требований к отбору проб воды.

8. На основании научного анализа проведена оценка и предложены рекомендации по обеспечению безопасной транспортировки питьевой воды с позиций энерго- и ресурсосбережения в условиях деградации трубопроводной инфраструктуры. Впервые с позиций создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности разработан и внедрен алгоритм выбора решений для трубопроводной инфраструктуры.

9. Сформированы и стандартизованы по заданию Минстроя России и Госкорпорации «Фонд содействия и реформирования ЖКХ» требования к описанию систем водоснабжения для нужд органов местного самоуправления. Разработан и внедрен национальный стандарт в области графического представления систем водоподготовки для нужд органов местного самоуправления.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке системы стандартизованных методов и технологий, направленных на создание безопасной и комфортной среды жизнедеятельности населения, пользующегося услугами питьевого водоснабжения и формирование научных и методологических подходов, принципов и механизмов совершенствования нормативной базы для обеспечения населения качественной питьевой водой (рисунок 1).

В процессе выполнения работы автором введены в Программу национальной стандартизации, разработаны и утверждены девять государственных стандартов в области экологической оценки водных источников, определения качества реагентов и материалов, используемых для водоснабжения с позиций энерго- и ресурсосбережения, учета стоимости жизненного цикла при выборе технологических решений с эколого-экономических позиций, обеспечения методик выполнения измерений качества воды, универсального описания систем водоснабжения.



Рисунок 1 – Система комплексной оценки факторов, формирующих хозяйственно-питьевое водоснабжение

Научно обоснованные методы обеспечения качества воды, полученные на основе или с учетом затрат жизненного цикла технологий и материалов для водоснабжения и задач энерго- и ресурсосбережения, основанные на принципах риск-ориентированного нормирования, были использованы при разработке алгоритма выбора технологий водоподготовки в рамках реализации НП «Экология». Практическими результатами работы явилось создание и утверждение, (в т.ч. на межгосударственном уровне) ряда стандартов в области качества реагентов для водоснабжения, методик выполнения измерений, требованиям к качеству воды водного источника, риск-ориентированного контроля.

Совершенствование систем водоснабжения путем их интеграции в общий комплекс мер по устойчивому социально-экономическому развитию территорий позволяет снизить потребление первичных природных ресурсов и, соответственно, способствует устойчивому развитию предприятий водной отрасли, как при эксплуатации соответствующих объектов, так и при осуществлении проектной и строительной деятельности. Разработан и внедрен алгоритм выбора технологических решений водоподготовки в зависимости от качества воды водоисточника, позволяющий прогнозировать качество воды на предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). Соответствующий документ внедрен Минстроем России. На основе использования предложенных принципов и научно-методических подходов разработаны и внедрены на предприятиях РФ принципы и механизмы оптимизации процессов водоподготовки.

На основе проведенных исследований автором настоящей работы разработано и внедрено шесть профессиональных стандартов и впервые разработан профессиональный стандарт для новой специальности «Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник)».

Методы исследования

Для выполнения поставленных задач применялся синтез научных дисциплин: химии, химической технологии, прикладной математической статистики, экологии,

теории вероятности, информационных технологий. Методы исследования включали требования к проектированию в строительстве объектов коммунальной инфраструктуры, фундаментальные принципы наилучших доступных технологий, анализ и управление жизненным циклом, управление технологической и санитарно - гигиенической безопасностью, энерго- и ресурсосбережением.

При проведении экспериментальных, натурных и расчетных исследований применялся комплекс методов, включая инструментально - аналитические (химические, микробиологические, физические, оптической и электронной микроскопии и др.), физического и математического моделирования, испытаний на лабораторных, пилотных и промышленных установках. Обработка полученных результатов выполнялась с применением методов математической статистики с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

Положения, выносимые на защиту:

1. Проведенный анализ СПВ и методологические принципы стандартизации при описании систем водоснабжения в целях повышения качества питьевой воды. Разработанные под руководством и при участии автора национальные стандарты в области оценки качества воды.
2. Научно-обоснованный и стандартизованный подход к определению качества водных источников с экологических позиций с учетом антропогенной нагрузки. Разработанные национальные стандарты экологической оценки качества водных источников. Научно-методологические принципы и механизмы оценки вероятностного характера ПДК для водного объекта.
3. Методологическое обоснование и унификация оценки рисков для целей питьевого водоснабжения. Принципы требований к совершенствованию технологий водоподготовки в условиях риск-ориентированного надзора. Разработанные и внедренные по итогам исследования подходы к оценке рисков при выборе технологий водоподготовки.
4. Обоснование периодичности контроля и перечня контролируемых показателей, метрологические особенности определения показателей качества воды.
5. Стандартизация научно-методологических принципов построения систем автоматического контроля загрязняющих веществ в воде, включая возможности корреляционной оценки для ряда загрязняющих веществ при их определении. Разработанный и внедренный национальный стандарт по требованиям к системам автоматического контроля.
6. Стандартизованная методология и национальный стандарт оценки стоимости жизненного цикла для объектов инфраструктуры, реагентов, материалов и технических решений для водоснабжения и водоотведения.
7. Методология выбора технологии для модернизации трубопроводных систем водоснабжения, внедренная для оценки проектов в рамках ФП «Чистая вода». Рекомендации по оценке возможностей эксплуатации металлических трубопроводов с позиций энерго- и ресурсосбережения.

8. Методологические подходы к стандартизации реагентов водоподготовки для целей повышения качества питьевой воды. Стандартизация полиоксихлорида алюминия и сульфата алюминия, разработанные национальные стандарты

9. Формирование рамки квалификаций для целей водоснабжения и водоотведения с позиций исследования влияния условий среды обитания и создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности. Разработанный и внедренный приказом Минтруда от 25.05.2021 г. №340н профессиональный стандарт «Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник)»

Степень достоверности результатов исследования подтверждается представительностью и надежностью исходных данных; сходимостью результатов повторных опытно-аналитических исследований, лабораторных, пилотных и промышленных испытаний; использованием для исследований стандартных методик, современных сертифицированных приборов и оборудования, анализа требований к водным источникам питьевого централизованного водоснабжения, положительными результатами апробации разработанных риск-ориентированных принципов управления качеством питьевой воды; получением положительных согласований и заключений уполномоченных организаций по разработанным технологическим регламентам и техническим условиям.

Апробация результатов

Основные результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на Всероссийском съезде водоканалов «Водоснабжение - основа территориального развития и обеспечения национальной безопасности» 22-25 апреля 2015 г., Алушта, Всероссийском Форуме «Smart&Digital. Системы жизнеобеспечения - Электро-Газо-Водо-Тепло Снабжение. Как снизить издержки и повысить инвестиционный потенциал», 27 сентября 2016 г., Москва, Российском промышленно-экологический форуме «РосПромЭко-2015», 09-10 ноября 2015 г. Москва, шестой Межотраслевой конференции «Вода в промышленности-2015» 27-28 октября 2015 г., Международном конгрессе «Энергоэффективность XXI век» 11- 12 ноября 2015 г., IV Международном форуме по энергоэффективности и энергосбережению ENES 2015, Москва, VII межрегиональной конференции водоканалов России «Системные проблемы отрасли ВКХ и пути их решения» 25-30 августа 2014 г., Чебоксары, VIII Всероссийской конференции водоканалов «Финансирование отрасли ВКХ: от остаточного к достаточному. Задачи власти и отрасли по развитию водного хозяйства» 25-28 августа 2015 г. Петрозаводск, Первом Технологическом Съезде РАВВ «Технологическое развитие водной отрасли - будущее России» 27 апреля 2016 г., Москва, Международной научно-практической конференции «Водный форум БРИКС», 29-30 сентября 2016 г., Москва, конференции «Об опыте модернизации в ВКХ» Ялта, 24-28 октября 2016 г., IX Конференции водоканалов России «Эффективность бизнеса предприятий водной отрасли: потенциал роста, параметры оценки» 23 – 25 августа 2016 г., Томск, Всероссийском водном конгрессе 27-30 июня 2017 г.. Москва, X Конференции водоканалов России 19-22 октября 2017 г., Калининград, XXI ежегодном

научно-практическом семинаре «Вопросы аналитического контроля качества вод» 02-06 октября, г. Москва, Конференции «Об опыте модернизации систем водоснабжения и водоотведения в ЖКХ и промышленности» 09-13 октября 2017 г., Ялта, 2-м Всероссийском Водном Конгрессе, 05-07 июня 2018 г., Международной научно-практической конференции «Яковлевские чтения» 14-15 марта 2019 г., 3-м Всероссийском Водном конгрессе 24-27 июня 2019 г., Москва, Форуме «Стандартизация 2019» 9-11 октября 2019 г., С.-Петербург, 58 заседании Научно-технической комиссии по стандартизации Межгосударственного совета по стандартизации 16-18 октября 2019 г., Алматы, Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды», 22-23 октября 2019 г. Москва, XV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, март 2020 г., Москва, Международном форуме «Метрологическое обеспечение инновационных технологий», Санкт-Петербург, 2020 г., Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная безопасность. Современные реалии», Махачкала, 2020 г., 4-м Всероссийском Водном конгрессе, 30.09-02.10 2020 г., Москва, Международной конференции ICMSIT-2020, Красноярск, International Scientific Conference CAMSTech-2020 Advances in Material Science and Technology, V Международной конференции AGRITECH – V - 2021 «Агробизнес, экологический инжиниринг и биотехнологии – V international Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies».

Полученные результаты исследований используются при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Техносферная безопасность», профиль подготовки «Инженерная защита окружающей среды», «Экологическая и промышленная безопасность» в Российском технологическом университете МИРЭА, в программах дополнительного профессионального образования АНО ДПО «Водная академия», г. Санкт-Петербург, НИУ МГСУ.

На основании выполненных исследований автором разработаны и внедрены методические рекомендации по расчетным затратам времени для лабораторий организаций ВКХ, оценки стоимости жизненного цикла для оборудования, реагентов, материалов и объектов инфраструктуры ВКХ, разработано в составе группы авторов справочное пособие, рекомендованное Роспотребнадзором для отраслевых специалистов.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены при формировании мероприятий НП «Экология», ФП «Чистая Вода» Минстроем России, при формировании цифровой модели алгоритма выбора перспективных технологий водоподготовки ГК «Фонд содействия и реформирования ЖКХ», на предприятиях ВКХ, в т.ч. МУП Водоканал г. Подольск, АО «Вода Смоленска» г. Вязьма, ГУПС Водоканал г. Севастополь, ГУП Вода Крыма, ГУП Водоканал Санкт-Петербурга, при формировании обновленных редакций строительных правил в области водоснабжения и водоотведения НИИ Строительной Физики Минстроя России. Результаты работы применяются при реализации НП «Экология», ФП «Чистая вода» (на основании работ автора

разработан «Справочник перспективных технологий водоподготовки», входящий в паспорт Федерального проекта и являющийся основой экспертизы федеральными органами программ повышения качества питьевой воды).

Личный вклад автора состоит в разработке идеи и гипотезы диссертационной работы, постановке цели, задач, выборе направлений, объектов, методологии и методов исследований, разработке методических подходов и непосредственной подготовке документов национальной системы стандартизации. Эмпирические исследования в целях установления новых и уточнения известных закономерностей организации и эксплуатации объектов СПВ, физическое и математическое моделирование технологических решений, качества питьевой воды проведены под научным руководством и лично автором. Обработка, обобщение и интерпретация полученных результатов осуществлены лично автором. Теоретические и научно-методические подходы по научному обоснованию технологий для СПВ, эксплуатационные и проектные решения разработаны лично автором. Подготовка научных публикаций и заявок на изобретения выполнены лично автором и в соавторстве.

По итогам проведенных исследований разработаны и утверждены приказами Росстандарта 9 национальных стандартов, подтвержденных справкой о внедрении:

- ГОСТ Р 58556- 2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций» - утвержден и введен в действие 27.09.2019 г Приказ 787-ст
- ГОСТ Р 58557-2019 «Обоснование эколого–экономической целесообразности внедрения водоохраных мероприятий» - утвержден и введен в действие 27.09.2019 г Приказ 788-ст
- ГОСТ Р 58555-2019 «Экспертно-комбинированный метод регулирования водопользования» - утвержден и введен в действие 27.09.2019 г Приказ 786-ст
- ГОСТ Р 58580-2019 «Полиоксихлорид алюминия. Технические условия» - утвержден и введен в действие 09.10.2019 г. Приказ 905-ст
- ГОСТ Р 58785-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» - утвержден и введен в действие 27.12.2019 г. Приказ 1489-ст
- ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» - утвержден и введен в действие 10.09.2020 г. Приказ 640-ст
- ГОСТ Р 59025-2020 «Метод исследования качества поверхностных вод по анализам-маркерам при регламентировании и нормировании антропогенной нагрузки» - утвержден и введен в действие 15.09.2020 г. Приказ 648-ст
- ГОСТ Р 59459-2021 «Качество воды. Системы водоснабжения наружные. Требования к графическому отображению основных структурных элементов и технологических связей между ними» - утвержден и введен в действие 27.04. 2021 г. Приказ 283-ст
- ГОСТ Р 59748-2021 Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования - утвержден и введен в действие 13.10.2021 г. Приказ 1137-ст

Представленные в работе государственные стандарты, технологии, технические условия и регламенты разработаны под научным руководством и при личном участии автора.

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 41 печатной работе (всего у автора 135 работ), из них 27 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования результатов научных исследований Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (всего 34 работы); 8 – в журналах, индексируемых в базе цитирования Scopus (всего 9 работ), 3 монографиях (всего 4 монографии). Автор имеет 3 патента, 1 авторское свидетельство.

Основное содержание работы

Первая глава исследования посвящена изучению процессов обеспечения населения питьевой водой. Средний по Российской Федерации уровень водопотребления для населения на момент получения данных составил 140 л/сутки на человека (4,2 м³/мес). По отдельным субъектам Российской Федерации водопотребление составляет от 30 до 50 л/сутки на человека (Республика Тыва, Республика Алтай, Республика Калмыкия), что свидетельствует об очевидном дефиците питьевой воды, подаваемой по централизованным системам.

Таблица 1 – Соотношение показателей забора воды

Вид водозабора (ВЗУ)	Количество источников, ед.	Объем поднятой воды, тыс. м ³ /год	Удельный показатель объема воды на один ВЗУ	
			тыс. м ³ /год	тыс. м ³ /сут.
Поверхностные водозаборы	3174	6 354 689,71	2 002,1	5,5
Подземные водозаборы	67 347	7 792 016,94	115,7	0,3

По ряду субъектов водопотребление превышает 300 л/сутки на человека (Иркутская, Ленинградская области, Забайкальский край, Республики Хакасия и Северная Осетия – Алания). Для регионов с наибольшим уровнем потерь воды при транспортировке в 4 регионах потери превысили 40 %. Указанные потери формируются преимущественно за счет наиболее крупных муниципальных образований – региональных центров (таблица 2).

Таблица 2 – Данные анкетирования регионов по потерям воды

Регион	Региональный центр	Подано в сети, млн. м ³	Объем реализации, млн. м ³	Потери воды, млн. м ³	Доля потерь, %
Карачаево-Черкесская республика	Черкесск	25,4	8,4	17,0	66,9
Сахалинская область	Южно-Сахалинск	28,5	11,2	16,3	57,2
Республика Крым	Симферополь	59,1	24,6	32,5	55,0
Камчатский край	Петропавловск-Камчатский	31,5	14,7	15,5	49,2

В таблице 3 приведен расчет средней протяженности сетей водоснабжения, приходящихся на одного потребителя услуг централизованного водоснабжения.

Таблица 3 – Данные по протяженности сетей водоснабжения

Наименование, федеральный округ	Протяженность сетей, км	Число потребителей услуг, человек	Средняя протяженность сетей, м/человек
Российская Федерация	546 423,60	115 157 284	4,75
Приволжский	130 130,28	27 334 072	4,76
Центральный	114 920,67	24 619 172	4,67
Южный	91 128,99	14 535 339	6,27
Сибирский	66 082,56	15 376 155	4,3
Северо-Кавказский	61 474,67	8 765 213	7,01
Уральский	39 627,19	10 938 219	3,62
Северо-Западный	26 855,85	7 463 740	3,6
Дальневосточный	16 212,35	6 125 374	2,65

Наибольшая доля убыточных предприятий по регионам России представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Убыточность предприятий водоснабжения

Субъект Российской Федерации	Предприятия, единиц	Убыточные предприятия, единиц	Доля убыточных предприятий, %
Ненецкий автономный округ	3	3	100
Республика Ингушетия	3	3	100
Тульская область	66	64	96,97
Ленинградская область	21	20	95,24

В таблице 5 приведены данные о наличии вторичного загрязнения воды для регионов с наибольшим уровнем физического износа сетей. В таблице 6 приведены данные об эффективности водоподготовки в субъектах Российской Федерации, где очистке подвергается более 85 % от объема воды, забранной из источников. Проведенный в данном исследовании анализ деятельности предприятий отрасли выявил сложности, связанные с представлением информации по системам водоснабжения и, таким образом, отсутствия единого алгоритма сбора информации.

Таблица 5 – Данные о наличии вторичного загрязнения воды для регионов с наибольшим уровнем физического износа сетей

№	Наименование субъекта	Уровень физического износа сетей водоснабжения, %	Прирост проб с отклонением по микробиологическим показателям
1	Республика Тыва	84,67	Да
2	Новгородская область	82,44	Нет
3	Ленинградская область	82,00	Да
4	Забайкальский край	81,15	Нет
5	Ставропольский край	80,60	Да
6	Тверская область	79,87	Да
8	Калининградская область	78,90	Да
10	Тамбовская область	77,88	Да
11	Республика Мордовия	76,83	Да
12	Республика Карелия	76,61	Да

Автором работы была разработана методология к графическому описанию систем водоснабжения для нужд органов местного самоуправления (рисунок 2). В рамках разработанного автором национального стандарта схема водоснабжения для

выбранного населенного пункта и/или МО формируется на базе данных официальной отчетности, предоставленной субъектом РФ. Предложенная и разработанная автором методология, отраженная в ГОСТ Р 59459-2021 внедрена ГК Фонд ЖКХ при составлении ежегодных инвентаризационных форм в области водоснабжения.

Таблица 6 – Данные об эффективности водоподготовки

Объемные показатели очистки воды:			Доля проб, выявляющих нарушения по санитарно-химическим показателям			Доля проб, с нарушениями по микробиологическим показателям		
Поднято, млн. м ³	Очищено, млн. м ³	Доля очищенной воды, %	На источнике	Перед подачей в СПВ	Снижение выявления, %	На источнике	Перед подачей в СПВ	Снижение выявления, %
1. Астраханская область								
94,4	87,7	92,9	0,38	0	100	3,03	0	100
2. Ханты-Мансийский автономный округ								
112,98	105,75	93,6	73,73	17,56	76,19	1,09	0,04	96,21
3. Ямало-Ненецкий автономный округ								
44,9	40,3	89,9	9,35	3,95	57,75	1,01	0,1	90,08
4. Вологодская область								
89,9	81,0	90,1	28,5	17,54	38,45	3,21	1,05	67,15
5. Омская область								
168,1	159,3	94,8	34,49	26,87	22,08	10,4	3,86	63,41
6. Томская область								
69,0	65,7	95,1	12,83	11,17	12,94	0	0	-
7. Новосибирская область								
275,3	239,2	86,9	36,97	34,33	7,13	3,5	3,11	11,16
8. Республика Карелия								
39,0	33,4	85,7	49,59	35,4	24,02	8,78	11,85	рост 35,03
9. Карачаево-Черкесская Республика								
48,6	42,5	87,5	0,68	5,93	рост 776,1	20,6	20,92	рост 1,41
10. Нижегородская область								
287,6	253,2	88,1	12,51	6,39	48,91	0,9	3,36	рост 274,6

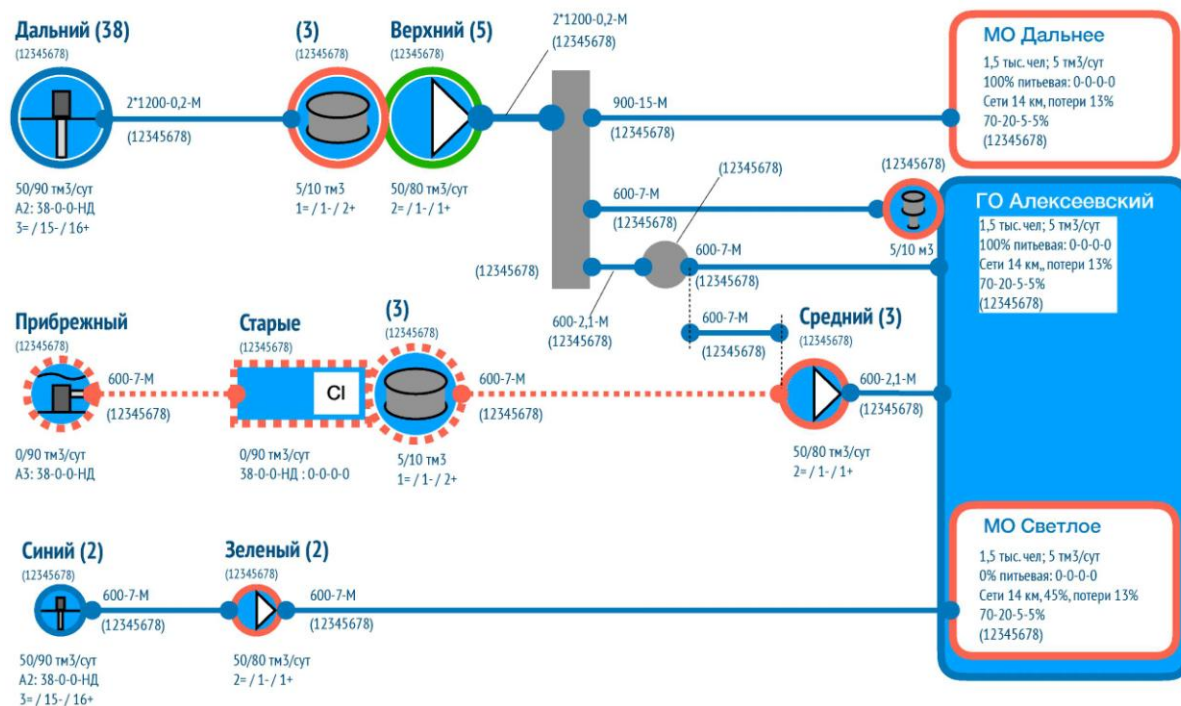


Рисунок 2 – Пример системы водоснабжения г. Дальнее Иркутской области

Следующим этапом исследований явилась необходимость совершенствования методологии оценки качества водных источников. В работе предложен в качестве стандартизованного подхода алгоритм оценки, основанный на параметрах мониторинга по ограниченному перечню базовых (фундаментальных) показателей, который может обеспечить объективную оценку качества воды водных объектов с экологических позиций и экологического состояния используемых водных объектов. Базовый показатель антропогенной нагрузки (ПАНб) вод по установленным типам воздействий определяют суммированием ПАН_i :

$$\text{ПАНб} = \sum_{i=1}^n \text{ПАН}_i \quad (1)$$

где ПАН_i – ПАН i -го типа воздействия;

n – количество учитываемых типов воздействия.

Показатель антропогенной нагрузки, (ПАН_i , усл. $\text{м}^3/\text{м}^3$), в соответствии с рассчитывают по формуле:

$$\text{ПАН}_i = \frac{C_i}{\text{ЦПИЭ-НДТ}} - 1 \quad (2)$$

Расчет шкалы ПАНб по классам качества природных вод представлен в работе и в разработанных при участии автора трех национальных стандартах ГОСТ Р 58556- 2019, ГОСТ Р 58557-2019, ГОСТ Р 58555-2019. Согласно предлагаемой автором работы методологии, состояние водных экосистем следует характеризовать по данным таблице 7.

Таблица 7 – Показатели оценки состояния водных экосистем с учетом риск-ориентированного подхода

Оценочный показатель	Состояние водных экосистем				
	Состояние экологического благополучия Несущественный риск		Состояние риска* Существенный риск	Состояние экологического неблагополучия Неприемлемый риск	
	Классы качества воды водных объектов с экологических позиций				
	I (очень чистая)	II (чистая)	III (умеренно загрязненная)	IV (загрязненная)	V (грязная)
Состояние водной экосистемы	Состояние обратимых изменений		Пороговое уязвимое состояние	Состояние необратимых изменений	
Снижение интенсивности биохимической трансформации, % по ГОСТ Р 58556	0		Менее 10	Менее 30	Менее 70
Базовый показатель антропогенной нагрузки (ПАНб), усл. м³/м³ по ГОСТ Р 58556	Менее 4,2	4,2–10,8	10,9–24,0	24,1–70	70,1-135
ПАН N _{минер} , усл. м³/м³*	1	1	1–2	Менее 7,8	Менее 21,2
K _{троф} ^{**} , ед.	1	1	Менее 1,46	Менее 3,46	Менее 3,84
ИТК ^{***}	Более 27.42	20,57 – 27.42	13,71 – 20,57	6,86 – 13,71	Менее 6.86

Примечания: * Показатель антропогенной нагрузки по группе минеральных азотов (аммонийного, нитритного, нитратного) рассчитывают в соответствии с п. 5.2.2-5.2.3 ГОСТ Р 58556, т.е. $\text{ПАН } N_{\text{минер}} = \text{ПАН } (N_{\text{NH}_4}) + \text{ПАН } (N_{\text{NO}_2}) + \text{ПАН } (N_{\text{NO}_3})$.

** Коэффициент трофности $K_{\text{троф}}$ характеризует уровень метаболизма экосистемы. $K_{\text{троф}}$, ед., рассчитывают по частным показателям ПАНб по формуле $K_{\text{троф}} = \text{ПАН } (N_{\text{минер}}) / \text{ПАН } (P_{\text{PO}_4^{3-}})$, где в

соответствии с п. 5.2.2–5.2.3, приложения А ГОСТ Р 58556 и целевому показателю по фосфору фосфатов, равному 0,1 мг/усл. дм³: $\text{ПАН Р}(\text{PO}_4^{3-}) = [(\text{С}(\text{PO}_4^{3-}) / 0,1)] - 1$. Система сбалансирована, если $K_{\text{троф}}$ стремится к 1. При $K_{\text{троф}}$ более 1, система развивается в направлении повышения продуктивности или деградации.

*** Индекс трофической комплектности ИТК — упрощенный, апробированный на российских водных объектах европейский индекс оценки экологического состояния водных экосистем.

Целевые показатели качества поверхностных вод по классам качества используют комплексно по группе анализов-маркеров в соответствии с данными, приведенными в таблице 8 и расширено представленными в разработанном под руководством и при участии автора настоящей работы ГОСТ Р 59025-2020.

Таблица 8 – Целевые показатели качества поверхностных вод

Наименование показателя	Значение показателя для класса качества вод*		
	I	II	III
рН, ед. рН	6,5–8,0	6,5–8,5	6,5–8,5
Минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	Менее 300	301 – 500	501–800
Взвешенные вещества природного происхождения, мг/дм ³	Менее 20	20 – 30	31 – 50
Железо общее, мг/дм ³	Менее 0,30	Менее 0,30	0,31 – 0,50
Марганец общий, мг/дм ³	Менее 0,05	0,05 – 0,10	0,20 – 0,30
Аммоний (N), мг/дм ^{3**}	Менее 0,10	0,10 – 0,20	0,21 – 0,50
Нитриты (N), мг/дм ^{3**}	Менее 0,002	0,002 – 0,005	0,006 – 0,020
Нитраты (N), мг/дм ^{3**}	Менее 1,0	1,0 – 3,0	3,1 – 5,0
Фосфаты (P), мг/дм ^{3**}	Менее 0,02	0,03 – 0,07	0,08 – 0,200
Общий фосфор (P), мг/дм ^{3**}	Менее 0,05	0,06 – 0,13	0,14 – 0,30
Химическое потребление кислорода (ХПК), мгО/дм ³	Менее 15	15 – 25	26 – 50
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅), мгО/дм ³	Менее 2	2 – 4	5 – 8
Органический углерод, мг/дм ^{3**}	Менее 3	3 – 5	6 – 8
Азот общий, мг/дм ^{3**}	Менее 1,5	1,5 – 4,0	4,1 – 7,5
ПАНб, усл. м ³ /м ³	Менее 4,2	4,2 – 10,8	10,9 – 24,0
*При значении показателя выше значения, указанного для III класса качества, качество воды характеризуется как «хуже III класса качества».			
**В хорошо оснащенных испытательных лабораториях мониторинг качества вод водных объектов рекомендуется дополнительно осуществлять по общему азоту наряду с группой показателей: аммоний (N), нитриты (N), нитраты (N), органический азот; по общему фосфору, по общему и органическому углероду.			

Перечень целевых показателей группы анализов-маркеров дополняют отраслевыми маркерными показателями в соответствии с информационно-техническими справочниками (ИТС) по наилучшим доступным технологиям. Предлагаемая автором работы оценка экологического состояния водного объекта введена в действие разработанным при участии и под руководством автора ГОСТ Р 58556-2019, ГОСТ Р 58557-2019 и ГОСТ Р 58555-2019.

Далее, в целях формирования методологии выбора технологий водоподготовки, в работе была проведена оценка вероятностного характера характеристик ПДК для водного объекта. Автором рассмотрен ряд примеров, когда в лаборатории водопользователя (индекс «1») вероятность обнаружения соответствия воды установленным требованиям равна R_1 , а вероятность несоответствия - $1-R_1$. Аналогично - в контролирующей лаборатории (индекс «2»): вероятность соответствия R_2 и несоответствия $1-R_2$. Возможны различные результаты оценки качества воды со следующими вероятностями:

1. Соответствие воды обнаружено обеими сторонами: R_1R_2 .

2. Несоответствие также обнаружено обеими сторонами: $(1-R_1)(1-R_2)$.
3. Обнаружено соответствие 1-й стороной, а несоответствие – 2-й: $R_1(1-R_2)$.
4. Обнаружено соответствие 2-й стороной, а несоответствие – 1-й: $(1-R_1)R_2$.

Здесь полная вероятность $\Sigma=1$, однако, в случаях 3 и 4 возникают противоречивые результаты. В случае №3 вероятность такого соответствия равна:

$$\frac{R_1(1-R_2)}{R_1(1-R_2)+(1-R_1)R_2} \quad (3)$$

Это порождает спорную ситуацию. В случае №4 контроль обнаруживает соответствие. Вероятность такой ситуации равна

$$\frac{(1-R_1)R_2}{R_1(1-R_2)+(1-R_1)R_2} \quad (4)$$

Пусть риски ошибки составляют 1%, так что $R_1=0,99$ и $R_2=0,99$. В этом случае: $R_1R_2=0,9801$; $(1-R_1)(1-R_2)=0,0001$; $R_1(1-R_2)=0,0099$; $(1-R_1)R_2=0,0099$ и полная вероятность $\Sigma=1$. В то же время $\frac{0,99 \cdot 0,01}{0,99 \cdot 0,01 + 0,01 \cdot 0,99} = 0,5$.

Основным интегральным показателем является содержание в воде загрязняющего вещества (или аналита – маркера) – фактора или предсказывающей переменной. Процедура нормирования должна включать исследование эффекта фактора путем установления статистических зависимостей интоксикации организмов от концентрации водного раствора. Реальную оценку ПДК (или ОБУВ) необходимо формировать в схеме, представленной на рисунке 3, по которой в случае строгого подхода к соблюдению установленных требований к качеству воды соответствие норматива допустимому уровню летальности принимается при условии $C < \text{ПДК}_H$, а несоответствие - при $C \geq \text{ПДК}_B$.

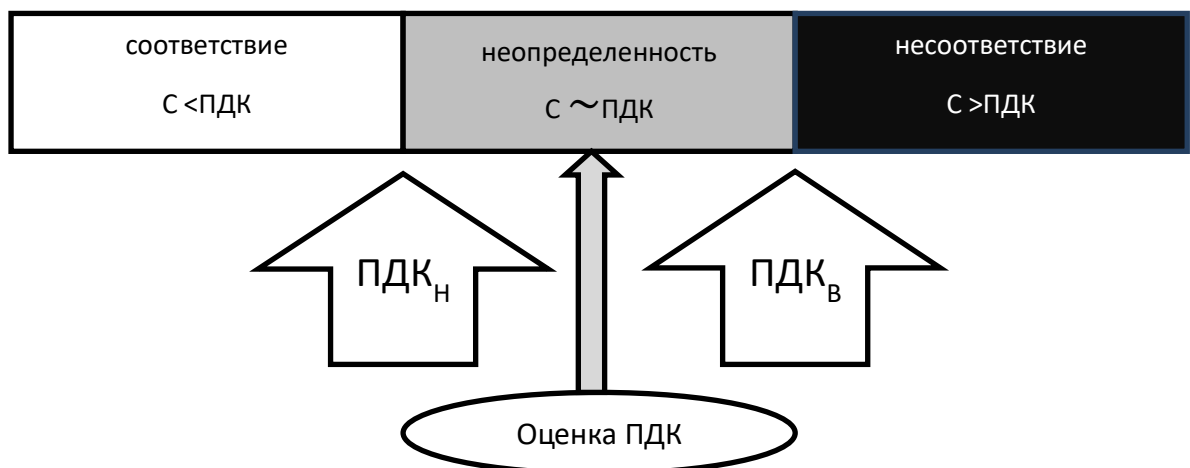


Рисунок 3 – Интервалы ориентировочной оценки качества воды

В других случаях достаточно ориентироваться на противоположную границу доверительного интервала, и тогда соответствие принимается при условии $C \leq \text{ПДК}_B$, а несоответствие - при $C > \text{ПДК}_B$. Поэтому необходимо сопоставление максимальных допустимых концентраций загрязняющих веществ для организмов различных популяций. Такая задача будет решаться далее, путем формирования соответствующего национального стандарта. Следует отметить, что предлагаемый в работе подход позволит установить уровни допустимых концентраций, применительно к различным задачам нормирования, включая, например,

обоснование установления технологических показателей НДТ для верхнего предела ПДК_в и требования для особо охраняемых природных территорий ПДК_н.

Далее во взаимосвязи с качеством воды водных источников автором в работе предложен процесс выбора технологий питьевой водоподготовки. Питьевое водоснабжение должно учитывать всю совокупность рисков, которая связана с техническим оснащением, с потенциальным экологическим фактором и с экономическими реалиями. Данные таблицы 9 предложены в качестве основы для формирования факторов опасности при оценке технологий очистки воды и работы централизованных систем питьевого водоснабжения.

Таблица 9 – Варианты определений категорий вероятности и тяжести последствий для оценки риска здоровью населения

Категории	Класс	Примечания
Определения событий		Частота возникновения
Почти наверняка	5	Один раз в день
Вероятно	4	Один раз в неделю
С умеренной вероятностью	3	Один раз в месяц
Маловероятно	2	Один раз в год
Изредка	1	Один раз в 5 лет
Тяжести последствий		Последствия
Катастрофическое воздействие на здоровье населения	5	Воздействие на химический состав с превышением коэффициента запаса ПДК
Существенное воздействие	4	Воздействие на химический состав в пределах коэффициента запаса ПДК
Умеренное воздействие на органолептические свойства	3	Воздействие на органолептические свойства
Слабое воздействие	2	Воздействие без превышения нормативов
Воздействие незначительно или отсутствует	1	Воздействие отсутствует или не выявлено

Риск можно описать путем определения вероятности возникновения опасного фактора (например, несущественный, неопределенный, существенный уровень, таблицах 9 и 10) и оценки тяжести последствий в случае, если опасность все же возникнет (таблица 11).

Таблица 10 – Параметры для определения приоритетности риска

Приоритет	Характеристика риска	Примечание
Явный приоритет	Существенный риск	Риск нуждается в дальнейшем изучении. Необходимо определить эффективность существующих мер контроля. Требуется дополнительные меры контроля.
Нет уверенности, что событие может приводить к возникновению риска	Неопределенный риск	Необходимость дополнительного исследования возможностей и характеристик технологии.
Не приоритет	Несущественный риск	Риск будет учтен при совершенствовании технологии

Таблица 11 – Оценка рисков для здоровья за счет химических веществ, присутствующих в питьевой воде

Вещества, обладающие канцерогенным эффектом		
Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск CR	Характеристика риска	Меры необходимые для снижения риска
$<10^{-6}$	Несущественный	Не требуются
$10^{-6}-10^{-5}$	Неопределенный	Увеличение кратности определения приоритетных веществ, формирующих риск
$>10^{-5}$	Существенный	Незамедлительные меры по снижению риска в течение срока, обусловленного выраженностью неприемлемого риска
Неканцерогенные вещества		
Коэффициент опасности HQ	Класс риска	Меры, необходимые для снижения риска
$<0,1$	Несущественный	Не требуются
$0,1 - 1,0$	Неопределенный	Учитывается риск за счет приоритетных веществ, поступающих из других сред. Увеличивается кратность производственного контроля по приоритетным веществам, формирующим риск.
$>1,0$	Существенный	Выполняются меры по снижению риска в течение сроков, обоснованных величиной риска.

Для оценки качества воды водных источников автором предлагается структура оценки рисков (таблица 12).

Таблица 12 – Составляющие оценки рисков

Определение событий	Класс	Пример
Почти наверняка	5	Колебание качества воды в пределах ПДК
Вероятно	4	Перебои в электроснабжении; сбой в системе водозабора; сбой контрольно-измерительной аппаратуры.
С умеренной вероятностью	3	Колебание качества воды с превышением ПДК по веществам, постоянно контролируемым, нарушение режима 2 и 3 поясов зон санитарной охраны
Маловероятно	2	Дополнительное загрязнение водного источника
Изредка	1	Выявление новых показателей расширенного контроля
Тяжесть последствий:		
Катастрофическое воздействие на здоровье населения	5	Резкое ухудшение качества воды, природная или техногенная авария, приводящая к изменению качества воды водного источника, карстр с радиоактивной породой
Существенное воздействие	4	Изменение качества по показателям жесткости, железу, марганцу
Умеренное воздействие на органолептические свойства	3	Паводок, затопление колодца скважины
Слабое воздействие	2	Колебание качественного состава воды сезонное
Воздействие незначительно или отсутствует	1	Текущие колебания качества воды

Исходя из классификации рисков, меры контроля (барьерные или защитные), препятствующие загрязнению, могут быть ранжированы по степени их

значимости. Для классификации рисков можно применять различные полуколичественные и качественные методы (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица для оценки надежности технологии очистки воды на основе определения риска полуколичественным методом

Частота наступления риска	Наличие воздействия и его степень тяжести				
	Незначительное или отсутствует	Слабое	Умеренное на органолептические свойства	Существенное	Катастрофическое на здоровье населения
	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
	Баллы				
Класс 5 один раз в день	5	10	15	20	25
Класс 4 один раз в неделю	4	8	12	16	20
Класс 3 один раз в месяц	3	6	9	12	15
Класс 2 один раз в год	2	4	6	8	10
Класс 1 один раз в 5 лет	1	2	3	4	5

На основании данных таблиц 8-10 определяются величины показателя риска. Такого рода классификация исходит из кратности наступления события, что ранее было предложено в работе и представлено в таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Примеры нештатных событий и связанных с ними факторов опасности при оценке технологий очистки питьевой воды

Опасное событие	Факторы опасности	Баллы
1	2	3
Несоблюдение режимов зон санитарной охраны водного источника	В соответствии с характеристиками водосборной площади – непредсказуемое изменение качества воды.	3
Перебои в электроснабжении	Перебои в водоочистке; Отсутствие обеззараживания воды	5 5
Несоответствие регламентной производительности сооружений водоподготовки. Работа сооружений в режиме байпаса	Перегрузка сооружений водоподготовки. Недостаточное качество водоподготовки.	4 4
Нарушение технологии обеззараживания воды	Формирование побочных продуктов обеззараживания	4
Сбой в системе водоподготовки	Неподготовленная вода.	5
Использование для водоподготовки реагентов и материалов, не соответствующих проектной документации, не соответствующих стандарту, требованиям санитарных правил	Загрязнение системы водоснабжения и снижение качества питьевой воды. Химическое загрязнение питьевой воды, необходимость дополнительно контроля показателей качества питьевой воды	3 3
Засорение фильтров. Недостаточный объем фильтрующей загрузки	Недостаточное удаление взвешенных частиц, вторичное загрязнение и снижение качества питьевой воды.	3
Вандализм, нарушение правил антитеррористической безопасности	Загрязнение или прекращение подачи воды.	5
Сбой контрольно-измерительной аппаратуры.	Отсутствие управление технологическим процессом водоподготовки	4

Продолжение таблицы 14

1	2	3
Телеметрия (наблюдение).	Нарушение связи с объектом контроля.	2
Аварийные ситуации: пожар; взрыв, наводнение	Нарушения в технологии водоочистки. Прекращение или ограничение работы водоочистных сооружений.	5

Таблица 15 – Показатели для оценки риска полуколичественным методом

Баллы риска	≤6	7-9	10-15	≥16
Класс риска	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий

Класс риска, соответствующий позиции «Очень высокий» неприемлем для работы предприятия питьевого водоснабжения. В рамках исследования автором сформированы общие принципы оценки рисков за счет питьевого фактора, детерминированного процессом водоподготовки, транспортировки и распределения воды (таблицы 16,17). Такая оценка вошла в разработанный под руководством и при участии автора «Справочник перспективных технологий водоподготовки», входящий в паспорт ФП «Чистая вода».

Таблица 16 – Классификация риска, обусловленная транспортировкой и распределением воды

Класс риска	Остаточные уровни реагентов	Вымывание из материалов трубопроводов	Биообразование	Эффективность мониторинга
Низкий	Ниже концентраций, эквивалентных референтным дозам		Низкое	Соответствие по всем показателям
Приемлемый	На уровне концентраций, эквивалентных референтным дозам		Среднее	Соответствие по приоритетным показателям
Неприемлемый	Выше ПДК		Интенсивное	Не соответствие по контролируемым показателям

Таблица 17 – Классификация рисков процесса водоподготовки

Критерии риска после водоподготовки	Регламент работы	Качество реагентов, материалов	Производственный контроль
Низкий по уровню коэффициента опасности и индивидуального пожизненного риска	Согласован с Роспотребнадзором	Концентрации веществ в водных вытяжках и экстрактах менее 0,1 ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность не менее 0,1 ПДК
Приемлемый по уровню коэффициента опасности индивидуального пожизненного канцерогенного риска	Согласован с Роспотребнадзором	Концентрация веществ в вытяжках и экстрактах менее 0,5 ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне 0,5 ПДК
Неприемлемый по коэффициенту опасности и индивидуальному пожизненному канцерогенному риску	Не согласован с Роспотребнадзором	Концентрация в вытяжках и экстрактах на уровне и выше ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне ПДК

Основное текущее требование к измерениям качества воды заключается в том, чтобы уровни не превышали норматив более чем на величину допустимой ошибки

метода определения, что следует учитывать при выводах о соответствии воды требованиям (таблица 18).

Таблица 18 – Расчетные концентрации измерений для некоторых веществ с учетом допустимой погрешности измерений и погрешности выборки

Вещество	ПДК мг/л	Погреш- ность метода	Возможная концентрация, мг/л	Возможная погрешность выборки	С учетом погрешности выборки, мг/л
Кадмий	0,001	30	0,0014	30	0,0017 ($>1,7 \cdot \text{ПДК}$)
Мышьяк	0,05	30	0,07	30	0,087 ($>1,7 \cdot \text{ПДК}$)
Хлороформ	0,06	30	0,086	30	0,104 ($>1,8 \cdot \text{ПДК}$)
Железо	0,3	25	0,4	25	0,46 ($>1,5 \cdot \text{ПДК}$)
Ртуть	0,0005	50	0,001	50	0,0017 ($>3 \cdot \text{ПДК}$)
Акриламид	0,0001	60	0,00025	60	0,0007 ($7 \cdot \text{ПДК}$)

В процессе исследования автором работы предложена последовательность действий по удалению загрязняющих веществ, а также предложена классификация рисков, входящих в структуру комплексной оценки факторов, формирующих хозяйственно-питьевое водоснабжение и определяющих стоимость мероприятий по повышению качества воды. В работе был проведен анализ присутствия загрязняющих веществ в воде, анализ действующих нормативов и расчет сроков по выполнению мероприятий повышения качества питьевой воды (таблицы 19-21). Это позволило автору сформировать требования по приоритетам выполнения планов мероприятий повышения качества питьевой воды. Полученные в результате данной работы данные внедрены Минстроем России в рамках ФП «Чистая вода».

Таблица 19 – Вещества, коэффициент опасности HQ для которых при соблюдении гигиенического норматива превышает 1 в зависимости от возраста человека

Вещество	ПДК, мг/л	HQ До 7 лет	HQ 40 лет	Рекомендуемое снижение ПДК, для условия HQ не более 1	Возможность аналитического контроля
Вольфрам	0,1	0,65	4,7	0,02	+
Ванадий	0,1	0,23	1,63	0,06	+
Диметиламин	0,1	165	1090	0,00009	Отсутствует
Сурьма	0,05/0,005	2,06	15,4	0,003	+
Серебро	0,05	0,16	1,2	0,04	+
Пиридин	0,2	3	4,4	0,045	Отсутствует
Триэтиламин	2,0	15	22	0,1	+
Трибутиламин	0,9	9,6	14,4	0,06	+
Нитробензол	0,2/0,01	6	8,8	0,02	+
Фтор	1,5	0,44	3,78	0,4	+
Молибден	0,25/0,07	3,3/0,2	1,42/0,39	0,07	+
Нитраты	45	0,46	3,45	13	+
Нитриты	3,0	0,49	3,06	1,0	+
Диоктилфталат	1,6	0,6	8,8	0,2	+
Фурфурол	1,0	5,0	7,3	0,13	Отсутствует

Обоснование, предложенное автором по уточнению нормативов, выполненное с учетом методики риска для здоровья (таблицы 20-21) учтено при разработке методических рекомендаций Роспотребнадзора по организации контроля качества питьевой воды.

Таблица 20 – Перечень веществ пожизненные индивидуальные канцерогенные риски (CR) которых превышают приемлемые $1 \cdot 10^{-5}$ при соблюдении ПДК в питьевой воде для разных возрастных групп

Вещество	ПДК, мг/ дм ³	CR До 7 лет	CR До от 7 до 18 лет	CR От 18 до 40 лет	Суммар но CR к 40 годам	Уровень снижения, мг/дм ³ / Наличие метода контроля
Акрилонитрил	0,5	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	0,009/+
Алдрин	0,01	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	0,0003/+
Атразин	0,5	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,02/+
Бутифос	0,5	$0,78 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$2,18 \cdot 10^{-4}$	0,09/+
Бензил хлористый	0,5	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,03/+
Гексахлоран	0,05	$0,48 \cdot 10^{-4}$	$0,33 \cdot 10^{-4}$	$0,76 \cdot 10^{-4}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$	0,003/+
Гидразин	0,1	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$17,8 \cdot 10^{-4}$	0,0006/ -
Динитротолуол	1,0	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$13,2 \cdot 10^{-5}$	0,07/+
Кротональдегид	0,5	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$18,3 \cdot 10^{-4}$	0,002/-
Линурон	1,0	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,78 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,02/+
Хинолин	0,1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	0,001/ -
Этиленимин	0,01	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$12,7 \cdot 10^{-4}$	0,00008 /-
Мышьяк	0,05/0, 01	$0,45 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$0,71 \cdot 10^{-4}$	$14,7 \cdot 10^{-4}$ $2,56 \cdot 10^{-4}$	0,004/+
Хром /+6/	0,05	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,88 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	0.01/+
Винилхлорид/	0,005	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$18,6 \cdot 10^{-4}$	0.0002/+
Броматы	0,01	$0,42 \cdot 10^{-5}$	$0,29 \cdot 10^{-5}$	$0,66 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0.007/+

Таблица 21 – Риски для здоровья при существенном ухудшении качества ($C_{ук}$) питьевой воды, соответствующие критериям приказа Роспотребнадзора от 26.12.2012 №1204 и длительности воздействия 10 лет

Вещество	$C_{ук}$	HQ дети до 7 лет	HQ взрослые	CR взрослые	Класс Опасн ости	Максимальный срок до момента доведения показателя на уровень безвредности
Алюминий	5,0	0,33	0,047		3	До 30
Барий	1,0	0,95	0,13		2	Не более 10 лет
Бор	5,0	16,6	1,19		2	Не более 6 месяцев
ДДТ	0,01			$0,1 \cdot 10^{-5}$	2	До 30 лет
Дихлорметан	22,5			$0,4 \cdot 10^{-4}$	2	Не более 4 лет
Железо	3,0	0,66	0,14		3	Не более 15 лет
Кадмий	0,005			$0,7 \cdot 10^{-5}$	2	Не более 14 лет
Кобальт	1,0	3,3	0,47		2	Не более 3 лет
Молибден	0,5	6,6	0,95		2	Не более 1,5 лет
Мышьяк	0,25			$1,5 \cdot 10^{-4}$	1	Не более 6 месяцев
Никель	1,0	3,3	3,47		2	Не более 3 лет
Нитраты	225	9,3	1,33		3	Не более 1 года
Нитриты	15	10	1,42		2	Не более 1 года
Свинец	0,3			$0,4 \cdot 10^{-5}$	2	Не более 2,5 лет
Тетрахлорэтилен	0,1			$0,2 \cdot 10^{-5}$	2	Не более 5 лет
Фтор	4,5	5	0,71		2	Не более 2 лет
Хром	0,25			$4,2 \cdot 10^{-5}$	2	Не более 2,3 лет
Цианиды	0,35	1,16	0,16		2	Не более 8,6 лет

В принятых в 2021 году новых санитарных правилах СанПиН 1.2.3685 были учтены рекомендации, подготовленные при участии автора настоящей работы (таблица 22).

Таблица 22 – Нормативные уровни для ряда приоритетных веществ в действующих документах РФ

Вещество	СанПиН 2.1. 4.1074-01	ГН 2.1.5.1315-03	СанПиН 1.2.3685-21	Нормативы по приказу Роспотребнадзора от 28.12.2012 №1204 установлены согласно ст. 23 и 25 ФЗ 416
Барий	0,1	0,7	0,7	1,0
Бензол	0,01	0,001	0,001	0,002 вместо 0,01
Мышьяк	0,05	0,01	0,01	0,02 вместо 0,25
Свинец	0,03	0,01	0,01	0,1 вместо 0,3
Стирол	0,1	0,02	0,02	0,02
Сурьма	0,05	0,005	0,005	0,05
Молибден	0,25	0,07	0,07	0,14 вместо 0,25
Этилбензол	0,01	0,01	0,002	
Никель	0,1	0,02	0,02	0,1
Дихлорметан	7,5	0,02	0,02	0,2 вместо 22.5

Исходя из изменяющегося качества водных источников, предназначенных для нужд питьевого водоснабжения, что особенно актуально для поверхностных водных источников, а также в связи с тем, что требования строительных правил СП 31.13330. «Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» не предусматривают обязательного выбора общей схемы водоподготовки, автором, в ходе выполнения данной работы, предложен «схемный» принцип выбора технологических решений, основанный на оптимизации технологий с учетом оценки стоимости жизненного цикла. Данный подход внедрен ГК Фонд содействие и реформирования ЖКХ в виде цифрового алгоритма, подготовленного при участии автора работы. По итогам проведенных исследований внесены корректировки СП 31.13330. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

Автором обоснована и предложена методология расчета стоимости жизненного цикла для систем водоснабжения и водоотведения (таблица 23).

Таблица 23 – Основные зависимости стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений водоснабжения и водоотведения

Наименование расчетной зависимости СЖЦ	Расчетная зависимость	№ формулы
Составляющие элементы	$СЖЦ = (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{IP} + C_{ic} + C_{in}) + (C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env}) + C_d$ или $СЖЦ = \sum_{t1}^n КАПИТ + \sum_{t2}^n ЭКСПЛ + C_d$	(5)
Текущая стоимость с учетом дисконтирования	$C_p = \frac{C_n}{[1+(i-p)]^n}$ при $R = \frac{1}{(1+r)^n}$	(6)
Полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени	$СЖЦ = \sum_{t1}^n \frac{КАПИТ(C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{IP} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \sum_{t2}^n \frac{ЭКСПЛ(C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d$	(7)

Где КАПИТ – Сумма капитальных затрат, ЭКСПЛ – Сумма эксплуатационных затрат по статьям составляющих элементов СЖЦ, C_s – стоимость потерь от непредвиденных простоев, C_{ic} – начальная капитальная стоимость, C_o – стоимость обслуживания, C_m – затраты на ремонт, на регулярный расход реагента или материала, C_d – затраты на конец эксплуатации по ГОСТ 58785-2019, C_p – текущая стоимость отдельной статьи затрат, C_n – стоимость отдельной статьи затрат, предстоящей к выплате через «п» лет, п – порядковый номер года, исчисляемый от начала прогнозного периода, p – годовой темп инфляции, доли ед., i – процентная ставка, доли ед., $g = (i - p)$ – ставка дисконтирования, доли ед., R – коэффициент дисконтирования, доли ед.

На основании данной методологии под руководством автора работы сформирован и введен в действие национальный стандарт ГОСТ Р 58785-2019. В таблице 24 приведен расчет насосного оборудования с позиций СЖЦ. Стоимость полного жизненного цикла представлена в таблице 25.

Таблица 24 – Сводный расчет капитальных и эксплуатационных затрат в текущих ценах

Разработчик / производитель		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Краткое описание технологии / оборудования / техники / установки	Ед. изм.	Центробежный погружной насос, сухой горизонтальной установки	Центробежные насосы сухой установки	Центробежный погружной насос, сухой вертикальной установки
Продолжительность эксплуатации	сут/год	365	365	365
Расчетный период n	годы	10	10	10
Исходные данные / Тех. условия				
сумма КАПИТ	Тыс. руб	16 699,6	13 442,15	20 846,78
Капитальные затраты (Стоим. оборудования + Транспорт)	Тыс. руб	16 238,6	12 954,4	20 406,13
Стоимость оборудования	Тыс. руб	16 150,3	12 880,4	20 321,13
Транспортные расходы	Тыс. руб	88,3	74,0	85,0
Капитальные затраты на основе работ	Тыс. руб	461,0	487,75	440,65
Авторский надзор	Тыс. руб	130,5	117,05	135,0
Шеф-монтажные работы	Тыс. руб	120,1	125,0	125,0
Шеф-пуско наладочные работы и обучение персонала	Тыс. руб	210,4	245,7	180,65
сумма ЭКСПЛ	Тыс.руб/год	15 753,695	17704,753	14 717, 059
Стоимость электроэнергии C_e	Тыс.руб/год	14 968, 916	17 230, 926	13 775,533
Стоимость эл.энергии	руб/кВт-ч	3,85	3,85	3,85
Годовое энергопотребление	кВт-ч/год	3 888 030,11	4 475 565,10	3 578 060,62
Цена ТМЦ на текущий год C_m - Расходные материалы	Тыс.руб/год	411,075	210,59	445,986
на Техническое обслуживание	Тыс.руб/год	110,85	60,15	94,33
на Текущий ремонт	Тыс. руб/год	300,225	150,44	351,656
на Капитальный ремонт	Тыс.руб/год	0,00	0,00	0,00
Стоимость работ по обслуживанию C_m	Тыс.руб/год	373,705	263,238	495,54
Технического обслуживания	Тыс.руб/год	100,773	75,186	104,811
Текущего ремонта	Тыс.руб/год	272,932	188,05	390,729
Капитального ремонта	Тыс.руб/год	0,00	0,00	0,00

На завершающей стадии расчетов приняты по ТЗ заказчика: ставка дисконтирования 12,5%; средний уровень инфляции (в годовом исчислении 2021 г.) 5%. При этом затраты с учетом этих данных представлены в таблицах 25, 26.

Таблица 25 - Затраты с учетом коэффициента дисконтирования и уровня инфляции по годам эксплуатации, руб.

Год	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	14 703 449	16 524 436	13 735 922
2	13 723 219	15 422 807	12 820 194
3	12 808 338	14 394 620	11 965 514
4	11 954 449	13 434 979	11 167 813
5	11 157 485	12 539 313	10 423 293
6	10 413 653	11 703 359	9 728 406
7	9 719 410	10 923 135	9 079 846
8	9 071 449	10 194 926	8 474 523
9	8 466 686	9 515 265	7 909 555
10	7 902 240	8 880 914	7 382 251
Всего	109 920 377	123 533 754	102 687 317

Таблица 26 – Стоимость жизненного цикла по вариантам, тыс. руб.

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
126 619, 977	136 975, 904	123 534, 097

По критерию «Стоимость жизненного цикла» самая высокая цена оборудования в структуре СЖЦ компенсируется минимальной потребляемой мощностью электроэнергии. Проект модернизации при наличии нескольких альтернативных технологий водоподготовки для одного объекта следует оценивать, исходя из необходимости оценки эффективности каждой технологии (Eff) по формуле (8):

$$Eff = \frac{\Delta R}{Z(k) + Z(\text{экспл})} \quad (8)$$

где ΔR – разность величин риска до и после реализации проекта модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки); Z – капитальные (k) и ежегодные эксплуатационные (экспл) затраты на реализацию проекта модернизации системы водоснабжения по формуле (7).

Рассмотрим выбор технологических решений на примере Бонзынского водозабора г. Вязьма. В таблице 27 представлены данные по качеству исходной воды, которые были приняты для выбора технологических решений водоподготовки. В воде имеются превышения ПДК по содержанию железа, мутности и жесткости.

Таблица 27 – Качество исходной воды Бонзынского водозабора г. Вязьма

Наименование показателя	Размерность	Значение
Температура	°С	7-12
рН	ед. рН	7,0-7,3
Мутность	мг/дм ³	не более 10,9
Цветность	град. цветности	менее 5
Общее солесодержание	мг/ дм ³	не более 500
Перманганатная окисляемость	мгО/ дм ³	не более 1,3
Железо общее	мг/ дм ³	не более 3,2
Щелочность	мг-экв/ дм ³	не более 8
Общая жесткость	градус	не более 8
Хлориды	мг/ дм ³	не более 10
Сульфаты	мг/ дм ³	не более 10,5
Нитраты	мг/ дм ³	менее 0,1

Железо и мутность хорошо удаляются на установке обезжелезивания, включающей в себя стадии окисления железа и фильтрования малорастворимого гидроксида железа. Данная система, равно как и система промывки фильтров обезжелезивания, является одинаковой для всех выбранных вариантов и не входит в сравнительный анализ капитальных и эксплуатационных затрат. Особенностью реализации проекта является серьезное ограничение на объем отведения образующихся сточных вод водоподготовки. Для получения воды высокого качества рекомендуется поддерживать жесткость в пределах 4-5 мг-экв/дм³. Возможность получения умягченной воды основана на применении промышленно апробированных способов (рисунок 3) умягчения.

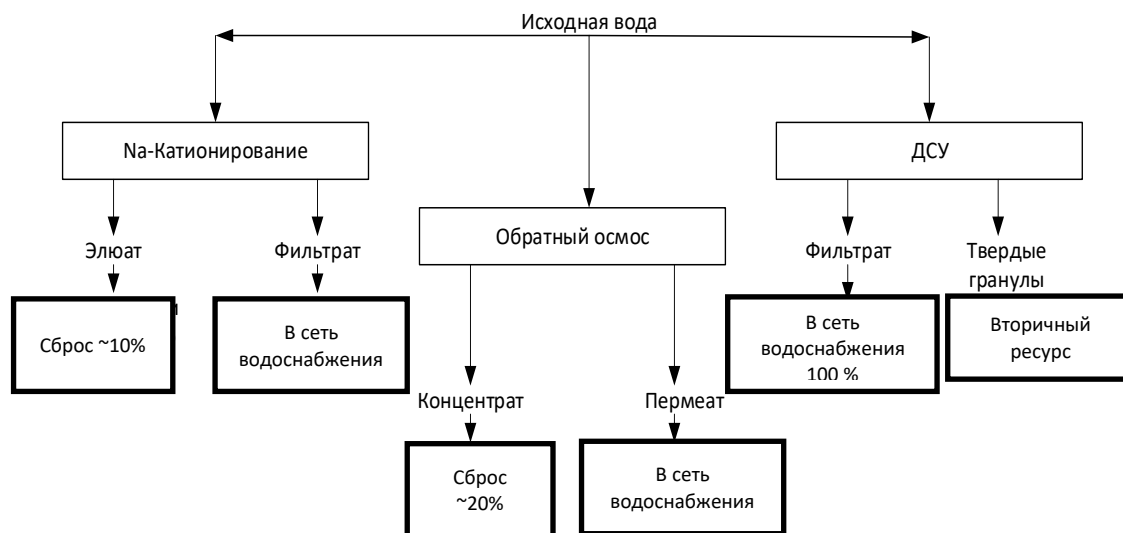


Рисунок 3 – Варианты получения умягченной воды

На основании проведенного расчета (таблица 28) с учетом оценки СЖЦ наиболее выгодной технологией для рассматриваемого варианта выбрано динамическое скоростное реагентное умягчение (ДСУ). Данное решение прошло экспертизу проектной документации.

Таблица 28 – Экономические показатели вариантов получения умягченной воды

Метод умягчения	Обратный осмос (ОО)	Ионный обмен (ИО)	ДСУ
Показатель			
Дополнительные насосные станции	~ 15 атм	~ 3 атм	-
Расход электроэнергии, кВт/м ³	0,6	0,3	0,1
Стоимость электроэнергии при тарифе 4 р/кВт, руб.	2,4	1,2	0,6
Реагент	Ингибитор	Соль	Щелочь
Расход реагентов, г/м ³	~ 5	~ 900	~ 40
Стоимость реагентов, руб/кг	~ 300	~ 10	~ 40
Цена реагентов, руб/м ³	1,5	9	1,6
Стоимость амортизации мембран*, руб/м ³ Исходя из жизненного цикла 3 года	1,5	-	-
Стоимость амортизации катионита**, руб/м ³ , Исходя из жизненного цикла 10 года	-	1	-
Расход песка г/м ³ и цена руб/м ³	-	-	10 г/м ³ 0,1 руб/м ³
Образование стоков, от начального объема воды	20%	5-7%	-
Утилизация гранул кальцита	-	-	-
Себестоимость обработки 1 м ³ , руб/м ³	5,4	11,2	2,3

Расчет делается на очистку всего потока воды. Для приведения воды к нормативу нужно обрабатывать на ДСУ 50% потока, а при ИО и ОО требуется очистить в рассматриваемом случае 1/3 потока и затем их смешать. В этом случае расходы составят: ДСУ – 1.15; ОО – 1,8; ИО – 3,8 руб/м³.

С учетом ранее проведенных автором исследований, оценочный уровень различных рисков для возможности их учета представлен в таблице 14. Исходя из оценок, приведенных в таблицах 13 и 14, рассчитывается суммарный риск для различных технологических решений в целях дальнейшей оценки возможных вариантов модернизации и/или реконструкции сооружений и инфраструктуры. На примере выбора технологии водоподготовки (таблицы 29-31) рассмотрим следующие варианты с позиций оценки рисков и статистических данных по отказам на сооружениях водоподготовки.

Таблица 29 – Результаты расчета СЖЦ по выбору технологии умягчения для Бознянского водозабора г. Вязьма с коэффициентом дисконтирования на 10 лет, итоговая ставка 12.5% (инфляция 2021 года 5%)

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации	Вариант 1: Технология с использованием ОО	Вариант 2: Технология с использованием ИО	Вариант 3: Технология с использованием ДСУ
C_{ic}^{3+C}	не учитывается по техническому заданию		
C_{ic}^{IP} , млн. руб			
C_{ic} , с ценой оборудования	77	70	80
C_{in}	5	5	4
КАПИТ с учетом дисконтирования	92,25	84,375	94,5
C_e , млн.руб	65,703	32,851	16,425
C_o	единое для всех, не идет в расчет		
C_m , млн.руб	85,415	246,50	82,125
C_s	единое для всех, не идет в расчет		
C_{env} , млн.руб	109,50	27,376	3
C_d	не учитывалось по техническому заданию		
ЭКСПЛ с учетом дисконтирования	260,618	306,727	101,55
СЖЦ	352,868	391,102	196,05

По данным таблицы 14 можно оценить полуколичественным образом суммарные риски выбора технологических решений. В числителе формулы (8) будет сумма баллов в части оценки рисков. В рассматриваемой ситуации к сравнительной оценке приняты три варианта. Исходные данные – вода поверхностных источника, не достигаются результаты по обеспечению качества воды по паводковым сезонам года по показателям хлороформ, алюминий, цветность. Предлагаемые варианты: 0 – ничего не делать; 1 – восстановить бетон, переложить сети, оставить технологию без принципиальных изменений; 2 – обеспечить барьерную функцию по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на УФ; 3 – обеспечить барьерную функцию по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на озонирование + сорбция + УФ.

Таблица 30 – Данные сравнительной оценки без учета рисков некачественной воды

Влияющий фактор и кодировка	Частота	Вариант 0	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Несоблюдение режимов зон санитарной охраны водного источника А1	3	3	3	2	1
Перебои в электроснабжении А2	2	2	2	4	5
Несоответствие регламентной производительности сооружений водоподготовки. А3	2	4	2	3	4
Нарушение технологии обеззараживания воды А4	2	4	3	3	3
Использование для водоподготовки реагентов и материалов, не соответствующих проектной документации, не соответствующих стандарту, требованиям санитарных правил А5	3	3	4	3	3
Засорение фильтров. Недостаточный объем фильтрующей загрузки А6	3	4	4	3	2
Вандализм, нарушение правил антитеррористической безопасности А7	1	3	4	2	2
Сбой контрольно-измерительной аппаратуры. А8	2	1	1	2	2
Телеметрия (наблюдение). А9	2	1	1	3	4
Аварийные ситуации:пожар; взрыв, наводнение А10	1	2	2	2	2
Недостижение качества воды по химическим показателям А11	4	4	2	1	1
Недостижение качества воды по органолептическим показателям А 12	4	4	3	2	1
Недостижение качества воды по микробиологическим показателям А 13	4	5	2	1	1

Таблица 31 – Матрица оценки рисков в целях выбора технологии водоподготовки

Частота наступления риска	Наличие воздействия и его степень тяжести																			
	Воздействие незначительно или отсутствует				Слабое воздействие				Умеренное воздействие				Существенное воздействие				Катастрофическое воздействие на здоровье населения			
	Класс 1				Класс 2				Класс 3				Класс 4				Класс 5			
	ВО	В1	В2	В3	ВО	В1	В2	В3	ВО	В1	В2	В3	ВО	В1	В2	В3	ВО	В1	В2	В3
Вероятно (один раз в неделю). Класс 4 А11, А12, А13			4+4	4+4 +4		8+8	8			12			16+ 16				20			
Умеренно (один раз в месяц). Класс 3 А5, А6				3			6	6	9+9	9	9+9	9	12	12+12						
Маловероятно (один раз в год). Класс 2А2, А3, А4 А8, А9	2+2	2+2			4	4+4		4	6	6	6+4+6	6	8+8		8	8+8				10
Изредка (один раз в 5 лет). Класс 1 А7, А10					2	2	2+2	2+2	3				4							

С учетом оцененной частоты возникновения факторов опасности (таблица 30), построенная матрица не содержит частоты класса 5. Суммарные риски по различным вариантам водоподготовки представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Суммарные риски процессов водоподготовки

№ варианта	Значение суммарного риска
Вариант 0	82
Вариант 1	69
Вариант 2	67
Вариант 3	58

В таблице 33 показан пример расчета СЖЦ для разных выбранных технологических процессов.

Таблица 33 – Пример представления результатов расчета СЖЦ для разных выбранных технологических процессов, тыс.руб.

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
C_{ic}^{3+C}	не учитывается по техническому заданию		
C_{ic}^{IP} , C_{ic} , с ценой оборудования	5,5	45	58
C_{in}	460	1250	2150
КАПИТ	58	490	750
C_e	523,5	1875	2958
C_o	12800	10850	14100
C_m	не учитывается по техническому заданию		
C_s	250	150	4550
C_{env}	1550	-	-
C_d	25	15	15
ЭКСПЛ	не учитывается по техническому заданию		
СЖЦ	14625	11015	18665
	15148,5	12980	21623

Исходя их оценки стоимости жизненного цикла, приоритетным решением является Вариант 2. С учетом того факта, что от оценки СЖЦ зависит результирующее значение оценки эффективности каждой технологии (Eff) по формуле (8), учет составляющей оценки риска позволяет осуществить выбор проектных и эксплуатационных решений с учетом действительно считаемых капитальных и эксплуатационных затрат. Далее в работе проведен анализ и показана необходимость формирования научно-методологических принципов построения систем автоматического контроля (САК) загрязняющих веществ в воде. По итогам исследований под руководством автора настоящей работы разработан и внедрен национальный стандарт ГОСТ Р 59514. В таблице 34 показаны предложенные и обоснованные в исследовании возможности корреляции показателей контроля при введении САК.

Таблица 34 – Взаимозаменяемые показатели состава и свойств воды для автоматического контроля

Нормируемые для контроля показатели	Заменяемые показатели ¹⁾	Рекомендуемые средства измерений (контроля)
1	2	3
Взвешенные вещества	Мутность (при контроле в потоке воды)	Мутномер, нефелометрический, турбидиметрический анализатор
ХПК	Общий органический углерод (ООУ)	Анализатор углерода, в том числе общего органического

Продолжение таблицы 34

1	2	3
Перманганатная окисляемость (ПО)	Общий органический углерод (ООУ)	Анализатор углерода, в том числе общего органического
ХПК, ПО или ООУ	Светопоглощение при длине волны 254 нм ²⁾	Спектрофотометр, УФ анализатор (датчик)
Нефтепродукты	Ароматические углеводороды (арены)	Флюориметр, флюориметрический анализатор (датчик)
Минерализация (сухой остаток)	Удельная электропроводность воды	Кондуктометр
Примечания: 1) обратная взаимозаменяемость не допускается; 2) показатель применяют только при технологическом контроле		

В работе осуществлен научный анализ и экономическое обоснование построения систем автоматического контроля качества питьевой воды при водоподготовке на основе СЖЦ. Автором рассмотрены аспекты организации классического лабораторного контроля и разработаны рекомендации по нормированию времени проведения анализов. Исходя из этого, автором проведен анализ и предложена схема организации контроля качества воды с использованием САК систем автоматического контроля загрязняющих веществ. На рисунках 4-6 предложены различные варианты дозирования реагентов в зависимости от возможности определения функционального показателя.

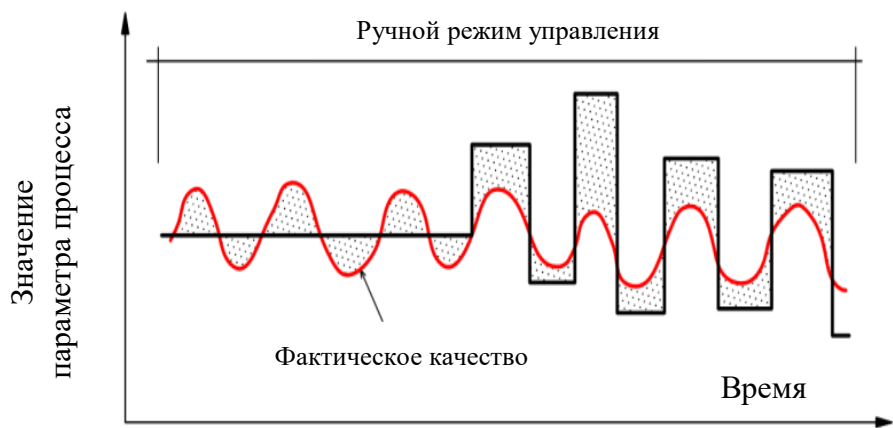


Рисунок 4– Ручной режим управления дозированием

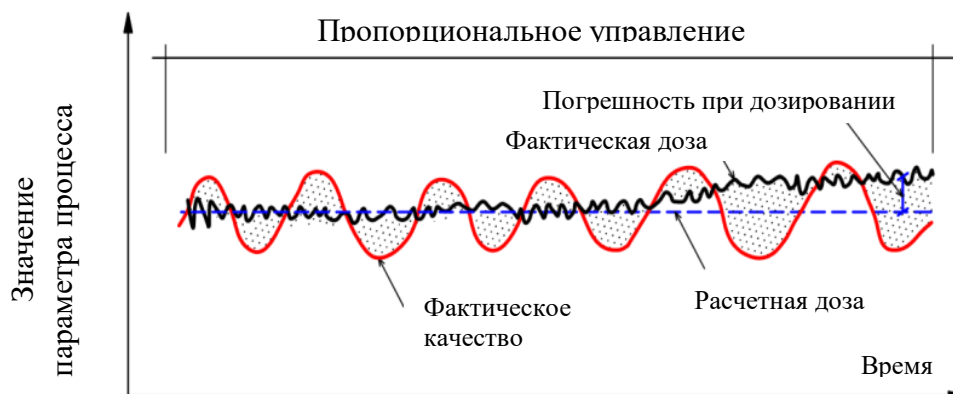


Рисунок 5 – Пропорциональный режим управления дозированием

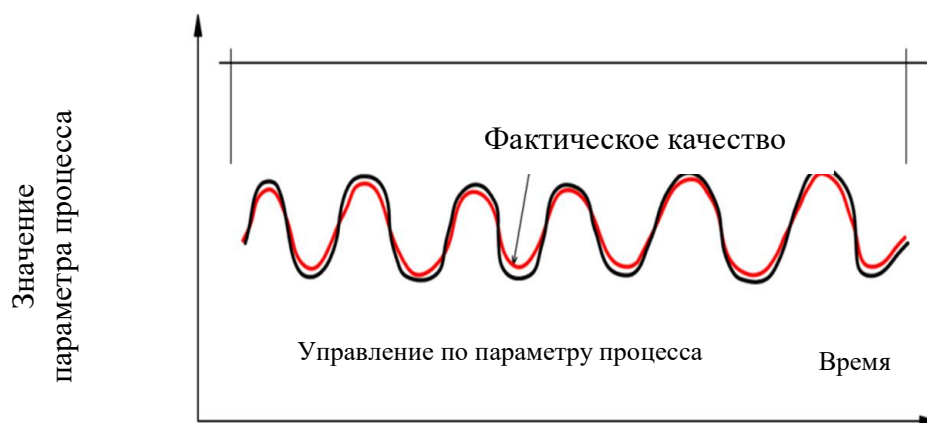


Рисунок 6 – Управление дозированием по параметру процесса

Для коагулянтов таким показателем будет являться мутность, которая может быть определена классически с интервалом определения, который не позволяет сделать мгновенные выводы по изменению режимов дозирования (режим дозирования фактически ручной), либо с помощью САК, в таком случае реализуется дозирование либо в пропорциональном, либо в ручном режиме. Применительно к оценке решений в области контроля качества вводятся показатели C_o – стоимость единичного анализа качества воды и оплата труда обслуживающего персонала; C_m – затраты на расход товара (реагента или материала); C_s – стоимость потерь от несоответствия качества воды. Исходные данные – вода поверхностного источника, класс 2 по ГОСТ 2761-84. Не достигаются результаты по обеспечению качества воды в паводковые сезоны года по показателям: хлороформ, алюминий, цветность. Предлагаемые варианты (таблица 35): 1 – технология с использованием ручного дозирования и обычного лабораторного контроля - РД; 2 – технология с использованием пропорционального дозирования коагулянта, на основе анализа мутности - ПрД; 3 – технология с использованием автоматического дозирования коагулянта на основе непрерывного измерения мутности - АвД.

Таблица 35 – Результаты расчета СЖЦ, тыс.руб.

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации, тыс.руб.	Вариант 1: РД	Вариант 2: ПрД	Вариант 3: АвД
C_{ic}^{3+C}	не учитывается по техническому заданию		
$C_{ic}^{ПР}$			
C_{ic} , с ценой оборудования	460	1050	1580
C_{in}	58	150	320
КАПИТ	518	1200	1900
C_e	12500	11750	10640
C_o	500	450	300
C_m	250	150	50
C_s	1550	-	-
C_{env}	25	15	15
C_d	не учитывается по техническому заданию		
ЭКСПЛ с учетом дисконтирования	14825	12365	11005
СЖЦ тыс.руб.	15343	13565	12905

Исходя из оценки СЖЦ, приоритетным решением является Вариант 3, поскольку использование автоматического дозирования позволяет снизить эксплуатационные затраты в сравнении с вариантами ручного дозирования и классического лабораторного контроля, а также и пропорционального дозирования на основе анализа мутности.

Далее автором проведен анализ эффективности трубопроводных систем водоснабжения. Основные проблемы существующих трубопроводных систем водоснабжения – высокий износ и недофинансированием отрасли. В рамках реализации НП «Экология» выделяется бюджетное финансирование для проектов модернизации сетей. Автором в 2020 - 2021 годах проведено расширенное анкетирование предприятий водоснабжения в нашей стране и на основании обработки полученных анкет предложен интегральный балльный показатель характеристики сетей из различных материалов. Данный показатель внедрен ГК Фонд ЖКХ в качестве основного критерия при согласовании бюджетного финансирования проекта модернизации. Оценивается суммарный показатель по данным таблицы 36 для выбранных на альтернативной основе решений. Данные в таблице 36 представлены на основании проведенного автором анкетирования 54 предприятий ВКХ. Суммарный балльный показатель риска (R_i) каждого выбранного решения рассчитывается по формуле (9):

$$R_i = \sum_{i=1}^n (R_{i1} + R_{i3} + R_{i5} + R_{i7} + R_{i8} + R_{i9} - (R_{i2} + R_{i4} + R_{i6})) \quad (9)$$

где i – выбранное решение, для которого составляющие определяют по данным таблицы 34

При наличии нескольких альтернативных технологий для одного объекта выполняется оценка эффективности каждой технологии (Eff_{mp}) по формуле (10):

$$Eff_{tr} = \frac{\Delta R}{Z(k) + Z(\text{экспл})} \quad (10)$$

Где ΔR – рассчитывается как разность баллов для величин риска до и после реализации проекта модернизации или при сравнении разных проектных решений, каждому из которых соответствует рассчитанное по формуле (9) значение R_i ; z – см. формулу (8)

Таблица 36 – Данные по итогам анкетирования

	Ri1.Риски с позиций надежности трубопроводных систем водоснабжения с точки зрения сроков безаварийной эксплуатации для диаметров					Ri2.Риски влияния факторов окружающей среды на целостность трубопровода при его штатной эксплуатации (в баллах от 1 до 10 чем выше балл, тем больше влияние)					Ri3.Нормативная обеспеченность требований к монтажу трубопроводных систем и требований к квалификации процесса монтажа при новом строительстве, согласно требованиям СП и других нормативных документов					Ri4.Риски с позиций требований к монтажу трубопроводных систем и возможности квалифицированного монтажа эксплуатируемых объектов, согласно требованиям СП и других нормативных документов					Ri5. Гидравлические характеристики трубопроводов из различных материалов с учетом рисков процессов внутренней коррозии и зарастания				
	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001
Асбестоцемент	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
Серый чугун (СЧ ЧВ)	6	6	7	8	8	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6
Железобетон	5	5	6	7	7	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
Чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ)	9	9	9	9	9	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	6	7	8	8	8
Полиэтилен	9	9	9	9	8	4	4	3	3	3	10	9	9	9	9	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10
ПВХ	10	8	8	8	8	4	4	3	3	3	8	8	8	8	8	10	10	8	8	8	9	9	9	9	9
Сталь	7	7	8	8	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	5	5	6	7	8
Продолжение таблицы 36																									
	Ri6.Риски образования отложений коррозии внутренней поверхности трубопроводных систем (в баллах от 1 до 10 - чем выше балл, тем значительнее зарастание и сильнее внутренняя коррозия)					Ri7.Возможность монтажа трубопроводной системы из единообразных материалов (подразумеваемая один тип материала для трубы, колодца, соединительных элементов) с точки зрения рисков влияния на надежность эксплуатации					Ri8.Потенциал доступности ремонта трубопроводных систем из разных материалов					Ri9.Потенциал строительства и ремонта трубопроводных систем бестраншейными методами									
Диаметры, мм:	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001	<100	101 - 300	301 - 600	601 - 1000	> 1001
Асбестоцемент	6	6	5	5	5	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Серый чугун (СЧ, ЧВ)	6	5	6	6	6	6	6	7	7	7	6	5	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Железобетон	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ)	5	5	6	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Полиэтилен	2	1	1	1	1	9	9	9	9	9	8	8	8	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ПВХ	2	1	1	1	1	9	9	9	9	9	8	8	8	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Сталь	9	9	8	8	8	5	5	5	5	5	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

В работе научно обоснован и предложен гидравлический критерий оценки $K_{\text{эф}}$ для разработки проектов реконструкции трубопроводов, построенных из металлических труб. Эффективным трубопроводом из металлических труб считается трубопровод, имеющий минимальные значения фактических потерь напора на сопротивления по длине i_{ϕ} , влияющие на величину энергозатрат насосного оборудования, т.е. на значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб. Значение i_{ϕ} определяется по эмпирической формуле профессора Шевелева Ф.А., имеющей вид:

$$i_{\phi} = 0,00107 \frac{V_{\phi}^2}{(d_{\text{вн}}^{\phi})^{1,3}}, \text{ при } V_{\phi} > 1,2 \text{ м/с} \quad (11)$$

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический внутренний диаметр труб, м (рис. 8); V_{ϕ} – фактическая средняя скорость потока, м/с; i_{ϕ} – фактические потери напора на трение по длине из-за внутренних отложений, м/м.

В формуле (11) для металлических труб установлено одно фиксированное значение толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} (рис.8). Проведенный анализ значений толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} , показывает, что использование справочных пособий Ф.А. Шевелева для гидравлического расчета металлических труб из стали и серого чугуна во всем диапазоне диаметров по сортаменту дает недопустимую погрешность при расчете фактических потерь напора i_{ϕ} , так как в них заложено только одно фиксированное значение расчетной толщины слоя внутренних отложений, равное $\Delta_p = 1,0$ мм. Для других значений Δ_p данные о величине значений i_{ϕ} во всех справочных пособиях отсутствуют. Значение величины i_{ϕ} зависит от толщины фактического слоя внутренних отложений на стенках труб Δ_{ϕ} (рисунок 7), периода эксплуатации трубопровода (возраста $T_{\text{исп}}$) и характеристик физико-химического состава транспортируемой воды. Значение величины фактического внутреннего диаметра труб с отложениями $d_{\text{вн}}^{\phi}$ зависит от возраста трубопровода $T_{\text{исп}}$, на величину которого влияет значение толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} . Совокупностью значений характеристик гидравлического потенциала металлических труб автором в работе определяется значение коэффициента эффективности использования трубопровода, характеризующего остаточную продолжительность и гидравлическую эффективность его использования (потери напора). Значение коэффициента гидравлической эффективности использования трубопровода определяется по формуле (12), имеющей вид:

$$K_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{ос}}^{\phi}}{N_{\text{ос}}^p} = \frac{i_{\phi} \cdot (d_{\text{вн}}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi}}{i_p \cdot (d_{\text{вн}}^p)^2 \cdot V_p}, \quad (12)$$

где: $N_{\text{ос}}^{\phi}$ – значение фактических энергозатрат насосного оборудования на момент проведения оценки, кВт/ч; $N_{\text{ос}}^p$ – расчетное (паспортное) значение энергозатрат насосного оборудования на момент запуска нового трубопровода в эксплуатацию, кВт/ч.

$$N_{\text{ос}}^{p(\phi)} = 10^6 \cdot i_{p(\phi)} \cdot (d_{\text{вн}}^{p(\phi)})^2 \cdot V_{p(\phi)} \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \quad (13)$$

где: i_{ϕ} , $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} – значения фактических характеристик гидравлического потенциала новых труб на момент оценки;

$i_p, d_{вн}^p, V_p$ – значения расчетных (паспортных) характеристик гидравлического потенциала новых труб на момент запуска трубопровода в эксплуатацию;
 η – КПД насоса. Для расчетов принимают значение $\eta=0,7$.

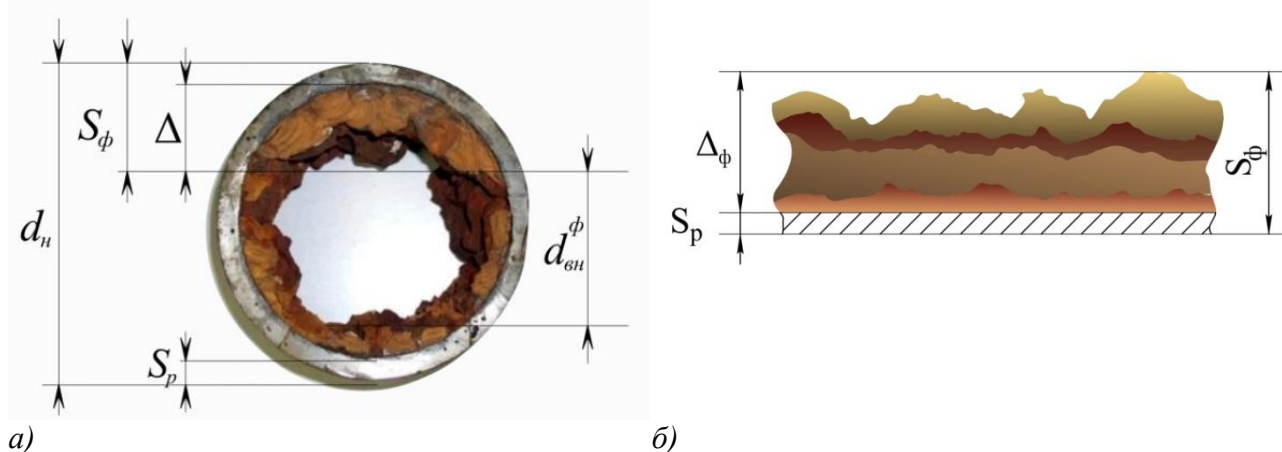


Рисунок 7 – Фрагмент внутренних отложений в стальных трубах

d_n – наружный диаметр труб по стандарту, м; s_p – расчетная толщина стенки трубы по стандарту, м; s_ϕ – фактическая толщина стенки трубы с отложениями, м; Δ_ϕ – фактическая толщина слоя внутренних отложений, м; d_p – расчетный внутренний диаметр труб по ГОСТ, м; $d_{вн}^\phi$ – фактический внутренний диаметр труб с отложениями, м.

В настоящей работе установлены четыре зоны изменения значений $K_{эф}$, характеризующих эффективность использования металлических трубопроводов. По значению величины $K_{эф}$ (таблица 37) определяют прогнозируемую продолжительность остаточного использования трубопровода.

Таблица 37 – Прогнозируемая продолжительность остаточного использования трубопровода

Значение величины $K_{эф}$	Продолжительность остаточного использования трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет
$0,95 \geq K_{эф} \leq 1$	$T_{исп} \geq 10$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора i_ϕ и толщины фактического слоя отложений Δ_ϕ
$0,90 \geq K_{эф} \leq 0,95$	$T_{исп} \geq$ не менее 5 лет с ежегодным контролем значений i_ϕ и Δ_ϕ
$K_{эф} \leq 0,90$	Трубопровод использовать нецелесообразно
$K_{эф} \ll 1$	Трубопровод использовать недопустимо

Далее в работе рассмотрены вопросы влияния реагентов водоподготовки на качество воды. Стоимость реагентов в процессе водоподготовки может достигать 6 процентов в совокупной стоимости подготовленной воды. На примере самых распространенных реагентов для питьевого водоснабжения – коагулянтов – отметим, что на сегодняшний день допускается выпуск продукции на основании технических условий конкретного производителя, поэтому необходимо научно и методологически обеспечить единообразие оценки качества предлагаемых коагулянтов. Автором впервые был сформирован методологический подход к стандартизации реагента водоподготовки – полиоксихлорида алюминия (ПОХА) и разработан национальный стандарт ГОСТ Р 58580, объединивший в едином документе требования к производству ПОХА из различных типов исходного сырья, исключая отходы и вторичный алюминий, не допустимые для целей питьевой водоподготовки. Общие требования к контролю качества ПОХА, сформулированные в стандарте, представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Показатели качества коагулянтов группы ПОХА

Требования	Тип 1	Тип 2	Тип 3**	Тип 4	Тип 5
1.Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %, не менее	10.0 ± 2.5	15.0 ± 2.5	20.0 ± 3.0	30.0 ± 3.0	45.0 ± 5.0
2.Плотность (при 20 °С), г/мл, в пределах	1.24 ± 0.04	1.33 ± 0.07	1.24 – 1.38	-	-
3.Массовая доля хлоридов, % масс, в пределах	10.0 ± 5.0	20.0 ± 2.5	10.0 ± 4.5	33.0 ± 5.0	21.0 ± 7.0
4.Основность, в пределах %	25 – 55	30 – 55	50 – 83	50 – 83	50 – 83
5.pH (ед) водного раствора, в пределах	2.5 ± 1.5	2.0 ± 1.5	3.0 – 5.5	3.2 – 5.0	3.5 – 5.0
6.Массовая доля нерастворимого в воде остатка, % масс, не более	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0
7.Массовая доля железа (Fe), % масс, не более	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0
Примеси, загрязняющие вещества* % масс, не более					
8.Массовая концентрация, Мышьяк (As)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
9.Массовая концентрация, Кадмий (Cd)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
10.Массовая концентрация, Хром (Cr)	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006
11.Массовая концентрация, Ртуть (Hg)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
12.Массовая концентрация, Никель (Ni)	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006
13.Массовая концентрация, Свинец (Pb)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
14.Массовая концентрация, Сурьма (Sb)	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
15.Массовая концентрация, Селен (Se)	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
16.Массовая концентрация, Бериллий (Be)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
*) Показатели 8-16 определяются в рамках расширенного контроля и по требованию потребителей					
**) Для высокоосновных (ВО) ПОХА требуется соответствие требованиям по типу 3 для массовой доли оксида алюминия. ПОХА с меньшей массовой долей действующего вещества, изготовленный разбавлением ПОХА, соответствующему типу 3, считается отвечающим требованиям стандарта. Показатели по хлоридам, плотности для высокоосновных ПОХА с меньшей массовой долей определяются, исходя из степени разбавления ПОХА с концентрацией оксида алюминия, соответствующей типу 3. Показатели по массовой доле железа, нерастворенного осадка и примесей (поз. 8-16 таблицы) не должны превышать значения для типа 3.					

Решение вопросов стандартизации в области подготовки кадров в работе реализуется посредством создания ряда профессиональных стандартов. Автором был разработан профессиональный стандарт «Специалист по водоснабжению и водоотведению. Акватроник», который включает в себя единый преемственный набор профессиональных компетенций для нужд водной отрасли. Таким образом, подходы, связанные с организацией процессов водоснабжения и учитывающие все стадии технологического процесса, по итогам проведенных в работе методических исследований интегрированы с требованиями к подготовке кадров.

Основные результаты работы

1. На основании проведенной инвентаризации систем обеспечения населения питьевой водой выполнен анализ действующих технологических и организационных аспектов питьевого водоснабжения субъектов и муниципальных образований РФ, по результатам которого определена недостаточность методологических требований к функционированию систем водоснабжения, в т.ч. в части сбора исходной информации, выявлены и классифицированы соответствующие риски.

2. На основании проведенного научного анализа предложены методология, принципы и механизмы описания систем обеспечения населения питьевой водой. Автором в целях создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности и оптимизации проектных решений строительства новых, технического перевооружения и реконструкции существующих систем обеспечения населения питьевой водой разработан и внедрен в практику применения соответствующий национальный стандарт.
3. На основании проведенного научного анализа и исследования влияния условий среды обитания автором с позиций экологического прогнозирования изменения качества воды стандартизована методология оценки качества водных объектов на основе использования показателя антропогенной нагрузки и аналитов-маркеров. Автором разработаны и внедрены в природоохранную практику четыре национальных стандарта.
4. При участии и кураторстве автора по заданию Минстроя РФ, в целях реализации НП «Экология», ФП «Чистая вода» подготовлен Справочник перспективных технологий водоподготовки. Установлены требования для целей оценки проектов к техническому перевооружению и реконструкции существующих систем в рамках НП «Экология».
5. Научно и методологически обоснован принцип учета рисков при выборе технологий водоподготовки в целях создании безопасной и комфортной среды жизнедеятельности. Представлены соответствующие шкалы рисков для оценки и уточнены показатели качества воды при реализации планов повышения качества питьевой воды. Рассчитаны максимальные сроки реализации планов повышения качества питьевой воды для различных показателей присутствия загрязняющих веществ в исходной воде.
6. Предложена и стандартизована для экологических целей методология построения систем автоматического контроля качества воды. Разработан и внедрен национальный стандарт.
7. Предложена методология оценки времени для проведения анализов в лабораториях аналитического контроля, что позволяет оптимизировать штатный состав и единообразно подходить к оценке стоимости единичного анализа
8. В ходе выполнения работы были внесены изменения и уточнения в документы национальной системы стандартизации в области качества воды. Под руководством автора были подготовлены и внедрены в практику 9 национальных стандартов в области оценки качества воды.
9. На основании проведенного научного и методологического анализа в целях создании безопасной и комфортной среды жизнедеятельности разработан и внедрен единообразный методологический подход с учетом оценки рисков для населения к оценке капитальных и эксплуатационных затрат при выборе технологий водоподготовки и транспортировки воды для целей питьевого водоснабжения. Итогом работы является также внесение изменений в действующие документы гигиенического нормирования в части уточнения показателей по допустимым концентрациям загрязняющих веществ.

10. В целях энерго- и ресурсосбережения предложена методология выбора материалов в целях реконструкции трубопроводной структуры СПВ и анализа пропускной способности металлических трубопроводов систем водоснабжения. Проведена оценка эффективности использования различных материалов для нужд трубопроводного хозяйства, построена балльная зависимость для определения рисков при выборе технологии модернизации трубопроводного хозяйства СПВ. Полученные данные внедрены в рамках мероприятий ФП «Чистая вода». Данная методология внедрена Минстроем России.

11. Предлагаемые автором научно-методологические результаты исследований, принципы и механизмы внедрены в практику работы на объектах водоснабжения, при участии автора разработаны Методические рекомендации Роспотребнадзора по производственному контролю качества воды. Результаты работы внедрены Минстроем России и ГК «Фонд содействия и реформирования ЖКХ» для оценки бюджетного финансирования проектов в рамках НП «Экология»

12. Под руководством автора разработан и внедрен приказом Минтруда от 25.05.2021 г. №340н первый цифровой стандарт отрасли «Специалист в области водных технологий водоснабжения и водоотведения. Акватроник». Требования профессионального стандарта введены в программы Национального агентства по развитию квалификаций для оценки квалификации работников.

13. По результатам работы, в целях энерго- и ресурсосбережения и оптимизации технологий водоподготовки, автором впервые разработан национальный стандарт на требования к качеству реагента водоподготовки полиоксихлорида алюминия и уточнены стандартизированные требования к качеству сульфата алюминия.

14. На основе разработанных автором принципов по управлению качеством питьевой воды в целях создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности разработаны и внедрены энерго- и ресурсосберегающие технологии водоподготовки для объектов питьевого водоснабжения АО «Вода Смоленска», обеспечивающие стабильное состояние природной среды и эффективность при их эксплуатации. Результаты построения автоматических систем контроля отражены в отчетах ГУП Водоканал Санкт-Петербурга.

15. Предложены методологические подходы на основе определения стоимости жизненного цикла материалов, реагентов, оборудования и объектов инфраструктуры водоснабжения, позволяющие формировать требования к выбору технологий обеспечения качества воды. Разработана методика оценки стоимости жизненного цикла для водоснабжения и водоотведения, позволяющая оценить технико-экономическую возможность применения новых технологических решений, материалов, реагентов. Под руководством автора работы разработан и внедрен национальный стандарт в области оценки стоимости жизненного цикла систем и сооружений водоснабжения.

16. Представлены данные о внедрении результатов работы автора по итогам выполненного диссертационного исследования.

17. Основные результаты исследований опубликованы в 41 статье, включая 27 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК, 8 – в изданиях, входящих в базы

Scopus и Web of Science. По итогам проведенных исследований автором подготовлено три монографии, получен патент, разработано и введено в действие 9 национальных стандартов.

Работы, отражающие результаты исследования и опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Самбурский Г.А., Шереметов П.В. Некоторые аспекты энергосбережения для предприятий ВКХ путем правильного подбора насосного оборудования // Вестник МИТХТ. 2015, Т, №2. С.68-75
2. Самбурский Г.А., Доканина Ю.В. Есть ли альтернатива неорганическим коагулянтам для питьевого водоснабжения // Тонкие химические технологии 2015 Т. 2, № 3. С.44-51
3. Самбурский Г.А. Эколого-экономические проблемы выбора технологии удаления аммиака (аммонийного азота) из воды, предназначенной для локального питьевого водоснабжения // Вестник МИТХТ им.М.В.Ломоносова. 2010. Т.5 №5. С.106-110
4. Самбурский Г.А. Анализ технико-экологических проблем удаления бора из питьевой воды // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова.2011 том 6, №4.С. 25-29
5. Самбурский Г.А., Лукьянов О.В. Синергетическая концепция организации управления // Интеграл. 2011. №3. С.36-37
6. Лукьянов О.В., Самбурский Г.А. Оценка использования ресурсов информационной системы // Интеграл. 2011. №4. С.107
7. Самбурский Г.А., Лукьянов О.В., Храпов И.В. Подход к построению гибридных систем прогнозирования на основе нейронных сетей // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Т. 17. №4. С. 932-935
8. Самбурский Г.А. Эколого-экономический подход к оптимизации водоочистных сооружений // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2012. Т. 7.№1. С. 93-95
9. Самбурский Г.А., Кадаева А.Г. Социо-эколого-экономические аспекты выбора технологий водоподготовки для предприятий АПК Республики Калмыкия // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2012. Т. 7. № 4. С. 25-29
10. Самбурский Г.А., Равикович В.И., Храпов И.В. Комплексная оценка уровня развития системы управления организацией // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18.№1. С. 47-57
11. Кощеев А.В., Самбурский Г.А. Социально-экологические проблемы современного санитарно-эпидемиологического законодательства // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. Серия: социально-гуманитарные науки и экология. 2014. Т. 1. № 2. С.46-53
12. Самбурский Г.А. Проблемы обеспечения качества воды, снижения качества водоисточников, формирования резервных источников и установления ЗСО. Пути достижения требований СанПиН // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 11-14
13. Самбурский Г.А., Плитман С.И., Пестов С.М. О некоторых проблемах водоподготовки в части реализации закона «О водоснабжении и водоотведении» // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 5. С. 4-8
14. Самбурский Г.А., Плитман С.И., Пестов С.М. О некоторых проблемах реагентной обработки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 10. С. 7-11

15. Алиев А.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А. Дезинвазия осадка: рекомендации предприятиям ВКХ по выполнению требований гигиенического законодательства // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 4-6
16. Баженов В.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А., Березин С.Е. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 10-19
17. Продоус О.А., Самбурский Г.А., Шипилов А.А. Система предварительной оценки направляемых на государственную экспертизу проектов по водоснабжению и водоотведению // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 5. С. 22-26
18. Краснова М.Г., Самбурский Г.А. Анализ технологий, направленных на совершенствование технологического процесса очистки питьевой воды // Инновации и инвестиции. 2018. №6. С. 202-207
19. Самбурский Г.А. Водный коагулянт полиоксихлорид алюминия: стандартизация и контроль качества // Контроль качества продукции. 2019. № 11. С. 57-61.
20. Оболдина Г.А., Поздина Е.А. Самбурский Г.А. Стандарты – инструмент экологического сопровождения регулирования // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. №3. С. 6-19
21. Оболдина Г.А., Самбурский Г.А., Попов А.Н. Оценка экологического состояния водных объектов: унифицированные подходы для выполнения задач национального проекта «Экология» // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. №4. С. 32-56
22. Самбурский Г.А., Леонтьева С.В., Устинова О.В. Особенности стандартизации химических реагентов для подготовки питьевой воды (на примере коагулянта полиоксихлорида алюминия) // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 1. С. 15-21
23. Самбурский Г.А. Гродзенский С.Я. Национальная стандартизация, как инструмент повышения эффективности Федерального проекта «Чистая вода» Метрологическое обеспечение инновационных технологий // Международный форум. СПб.: ГУАП, 2020 С. 288-289
24. Самбурский Г.А., Баженов В.И., Шкаредо В.А. Новый стандарт для организаций водоснабжения и водоотведения // Экология производства. 2020. № 4. С. 72-78
25. Виноградов С.А., Самбурский Г.А., Михайлов П.Б. Разработка национального стандарта в области автоматического контроля качества вод для систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 7. С. 30-34
26. Баженов В.И., Самбурский Г.А., Фрог Д.Б. Насосные станции. Рекомендации к определению стоимости жизненного цикла // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2021. № 6. С. 26-29
27. Самбурский Г.А. Оценка соответствия качества питьевой воды в условиях изменения гигиенических нормативов // Контроль качества продукции. 2021. № 5. С. 30-33

Работы, отражающие результаты исследования и опубликованные в научных изданиях баз SCOPUS и Webofscience

28. Самбурский Г.А., Погорелый А.М. Аспекты нормирования хлорсодержащих веществ, сбрасываемых со сточными водами в озеро Байкал Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 7. С. 16-19 SCOPUS, Q2
29. Пупырев Е.И., Самбурский Г.А. Системы водоотведения в природной хоне Байкала. // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 7. С. 4-10 SCOPUS, Q2

30. Sambursiy G A, Grodzenskiy S. Approaches to risk assessment and selection of water treatment technologies to provide consumers with quality drinking water. Amazonia Investiga, 9(25), 33-43. Web of Science
31. Sambursky G.A., Ustinova O.V., Pogorely A.M. Development of national standards for the needs of the water industry on the examples of the aluminium polyoxycloride // J. Phys.: Conf. Ser. 1515.2020.C. 52017 SCOPUS
32. Sambursky G.A. Approaches to standardization in the automatic control of water quality for water supply and wastewater systems //IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.919. 2020 C.032006 SCOPUS
33. Самбурский Г.А., Баженов В.И., Фрог Д.Б. Принципы оценки стоимости жизненного цикла технологий водоподготовки при реализации ФП «Чистая вода» // Жилищное строительство. 2021 № 7. С. 42–47. Web of Science
34. Rosental O M, Sambursky G.A. The inevitability of risk-based water quality assessment 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.848 012125 SCOPUS
35. Rosental O M, Sambursky G.A. Probabilistic nature of water and environmental standards 2021 J. Phys.: Conf. Ser.2094 052016 doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052016 SCOPUS

Доклады на конференциях

36. Самбурский Г.А., Баженов В.И., Фрог Д.Б. Использование жизненного цикла оборудования и капитальных объектов ЖКХ в решении задач водопроводно-канализационной специализации. Яковлевские чтения. Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Москва. 2020. С. 134-139
37. Мальцева С.Е., Самбурский Г.А. Онлайн контроль мутности как маркерный показатель качества воды системы водоснабжения. В сборнике: Актуальные проблемы менеджмента, экономики и экономической безопасности. Сборник материалов II Международной научной конференции. Под редакцией Г.В. Паниной. Чебоксары 2020. С. 172-178.
38. Самбурский Г.А., Гродзенский С.Я. Национальная стандартизация, как инструмент повышения эффективности Федерального проекта «Чистая вода»: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Международный форум. Санкт-Петербург. 2020. С. 288-289.
39. Самбурский Г.А. Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения. V Всероссийский водный конгресс. Москва, 2020 Сборник Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 2. С. 40.
40. Самбурский Г.А., Савельева К.А., Юрченко М.Н. Выбор технологии водоподготовки для участия в Федеральном проекте «Чистая вода». V Всероссийский водный конгресс. Москва Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 4. С. 20-26.
41. Самбурский Г.А., Устинова О.В. Разработка национальных стандартов для нужд водной отрасли на примерах реагента полиоксихлорида алюминия. В сборнике: Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2019". Материалы XII Международной научно-практической конференции. Москва 2019. С. 83-89.
42. Самбурский Г.А. Новый взгляд на развитие образования в водной отрасли. IV Всероссийский водный конгресс. Москва 2019. В сборнике Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. №5. С. 18-20.
43. Самбурский Г.А., Ткаченко В.С., Черкашин С.Л. Проектирование водопроводных сетей: алгоритмизация выбора решений. Материалы VI Конференции "Об опыте модернизации систем водоснабжения и водоотведения в ЖКХ и

- промышленности. Крым. Ялта, 2021 В сборнике : Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2021.№3. С. 22-29.
44. Самбурский Г.А. Природоподобные решения по управлению водными ресурсами в городах на основе замкнутых циклов. VI Всероссийский водный конгресс, 2021, Москва. В сборнике Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2021.№4. С. 41-55.
45. Самбурский Г.А., Крохин Г.Б. Техносферная безопасность. Современные реалии Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией Н.Х. Месробян. Махачкала.2020. С. 101-103.

Патенты и монографии

46. Патент на полезную модель RU 180108: Новиков М.Г., Петров С.В., Петров Д.С., Макаров В.Л., Самбурский Г.А., Турутина А.В. Устройство для осветления воды. Патент №180108, 04.06.2018. Заявка № 2018105177 от 12.02.2018. 5 с.
47. Самбурский Г.А. Расчетные затраты времени на проведение основных видов работ в лабораториях водопроводно-канализационного хозяйства Методические рекомендации Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения, Москва, РАВВ, 2016, 84 с. 100 экз. ISBN 978-5-4483-5274-4
48. Самбурский Г.А., Пестов С.М., Погорелый А.М. Аспекты выбора технологии очистки производственных сточных вод [Текст] / Г.А.Самбурский, С.М.Пестов, А.М.Погорелый. Издательские решения 2018, 120 экз. ISBN 978-5-4490-4918-6 124 с.
49. Плитман С.И., Тулакин А.В., Самбурский Г.А. Химия. Окружающая среда. Здоровье [Текст] : Справочное пособие / С.И.Плитман, А.В.Тулакин, Г.А.Самбурский. М. : Изд-во Технической литературы, 2016. 400 с. 25000 экз. ISBN 978-5-9909205-0-7
50. Самбурский Г.А., Пестов С.М. Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества [Текст]/ Г. А. Самбурский, С. М. Пестов. — [б. м.] : Издательские решения, 2017. — 184 с. — 120 экз. ISBN 978-5-4483-5369-7