

Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения

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

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук

Научный консультант:

Доктор технических наук, профессор

Пупырев Евгений Иванович

Москва

2022

Оглавление

Введение	6
1 Оценка состояния систем обеспечения питьевой водой населения России	21
1.1 Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения	22
1.1.1 Оценка качества питьевой воды.....	25
1.1.2 Удовлетворенность качеством питьевой воды	28
1.1.3 Механизмы управления устойчивым развитием водоснабжения в различных странах.....	28
1.1.4 Поведенческие аспекты, связанные с безопасностью обеспечения питьевой водой в России.....	35
1.2 Структура и группировка объектов централизованных систем водоснабжения. Влияние состояния объекта технологического передела на качество воды у конечного потребителя.	37
1.3 Анализ статистических данных по функционированию систем питьевого водоснабжения	39
1.3.1 Сети водоснабжения	40
1.3.2 Водозаборные сооружения.....	41
1.3.3 Водоподготовка.....	42
1.3.4 Балансовые характеристики систем питьевого водоснабжения	43
1.3.5 Эксплуатация систем водоснабжения.....	45
1.3.6 Экономическая характеристика предприятий водоснабжения	48
1.3.7 Техническое состояние объектов инфраструктуры водоснабжения	49
1.3.8 Качество воды.....	55
1.4 Основные факторы, определяющие безопасность и надежность процессов обеспечения населения питьевой водой	61
1.4.1 Требования к водным источникам.....	61
1.4.2 Классификация возможных загрязняющих веществ в питьевой воде во взаимосвязи с технологическими принципами их удаления	62
1.4.3 Выделение составляющих, определяющих экологическую, санитарную и технологическую надежность и безопасность питьевого водоснабжения	65
1.4.4 Представление подходов, направленных на перспективное повышение качества и безопасности питьевой воды централизованных систем водоснабжения	67
1.5 Выводы по главе 1 и направление дальнейших исследований.....	79

2 Материалы и методы исследования. Методологические и научные основы исследований технологий для нужд обеспечения населения питьевой водой.	82
2.1 Методология оценки качества водных источников.....	82
2.2. Риск - ориентированные подходы к определению качества питьевой воды ..	94
2.3 Метод синергетической структуры учета взаимовлияния факторов на организацию процесса водоснабжения.	96
2.4 Методы выполнения измерений контроля качества воды.....	102
2.5 Методы оценки стоимости жизненного цикла для процессов организации водоснабжения	104
2.6 Выводы по главе 2.....	106
3 Исследование процесса централизованного питьевого водоснабжения во взаимосвязи применяемых технологий водоподготовки и обеспечения инфраструктуры водоснабжения. Контроль показателей качества питьевой воды .	109
3.1 Структура оценки факторов, формирующих хозяйственно-питьевое водоснабжение. Влияние объекта технологического передела на качество питьевой воды.....	109
3.2 Формирование рисков для здоровья населения, связанных с получением питьевой воды (водоисточник и водосборная территория; водоподготовка; транспортировка; питьевая вода; лабораторный (производственный) контроль)	112
3.2.1 Принципы и подходы к характеристике водного источника.....	112
3.2.2 Принципы оценки технологий водоподготовки	119
3.2.3 Принципы совершенствования технологий водоподготовки для нужд централизованного питьевого водоснабжения	123
3.2.4 Принципы осуществления контроля процесса водоподготовки	130
3.2.5 Принципы оптимизации способов описания систем питьевого водоснабжения	135
3.2.6 Принципы характеристики распределительной сети,.....	137
3.2.6.1 Методические и научные подходы к выбору направления развития трубопроводного хозяйства.....	137
3.2.6.2 Рекомендации при выборе решения для водопроводных сетей	138
3.2.6.3 Исследование фактических и планируемых потерь воды при ее транспортировке с учетом опыта ООО «Вода Смоленска»	139
3.2.6.4 Существующие принципы оценки модернизации водопроводных систем...	144

3.2.6.5 Критерии оценки для проектов по модернизации объектов транспортировки (перекладка сети, ремонт)	145
3.3 Выводы по главе 3	151
4 Принципы формирования требований к технологиям для безопасного питьевого водоснабжения	152
4.1 Обеспечение соответствия требования оценки жизненного цикла.....	152
4.2 Принципы и требования реагентной обработки питьевой воды. Проблемы реагентной обработки питьевой воды	156
4.3 Принципы необходимого и достаточного уровня контроля качества реагентов и их дозирования.	161
4.4 Принципы и критерии обеспечения лабораторного контроля водоподготовки для процесса питьевого водоснабжения	168
4.4.1 Примеры автоматических систем контроля (САК)	172
4.4.1.1 Контроль мутности	173
4.4.1.2 Контроль содержания хлора	176
4.5 Критерии оценки для проектов по модернизации объектов транспортировки (перекладка сети, ремонт)	179
4.5.1 Критерии и принципы алгоритмизации выбора трубопроводного оборудования для централизованных систем водоснабжения.....	181
4.5.2 Способы и методы стабилизации пропускной способности инженерных сетей. Оценка гидравлической эффективности использования металлических водопроводных труб, подвергаемых реконструкции.....	187
4.6 Выводы по главе 4.....	189
5 Формирование системы стандартов для нужд централизованного питьевого водоснабжения	191
5.1 Стандартизация в области оценки качества водных источников для централизованного питьевого водоснабжения	191
5.2 Стандартизация в области описания систем питьевого водоснабжения	192
5.3 Стандартизация на принципе оценки стоимости жизненного цикла, как основа выбора технических решений	201
5.4 Стандартизация в области реагентов для нужд централизованного питьевого водоснабжения. Подходы к стандартизации, основанные на необходимом и достаточном уровне контроля качества реагентов и их дозирования.	209
5.5 Принципы стандартизации при оценке качества воды	214
5.5.1 Риск-ориентированная оценка качества воды.....	214

5.5.2 Вероятностная природа водно-экологических нормативов	220
5.5.3 Формирование стандартизированных требований к оценке качества на основе риск-ориентированного подхода	230
5.6 Стандартизация при построении автоматических систем водоподготовки. .	234
5.6.1 Автоматические средства контроля. Контролируемые параметры	234
5.7 Стандартизация в области подготовки кадров. Формирование рамки профессиональных квалификаций	238
5.8 Выводы по главе 5	239
6 Экономические и технико-экономические показатели результатов проведенного исследования	241
6.1 Обоснование параметров расчета стоимости жизненного цикла при выборе технологических решений водоподготовки	241
6.2 Обоснование требований к контролю качества воды с позиций оценки стоимости жизненного цикла	255
6.3 Обоснование рекомендаций к выбору насосного оборудования с позиций оценки стоимости жизненного цикла	262
6.4 Выводы по главе 6	269
Заключение и выводы	270
Список использованных источников	276
Приложения	301
Приложение А	301
Приложение Б	311
Приложение В	313
Приложение Д	317

Введение

Актуальность темы исследования

Питьевая вода – это сложная гетерогенная система, в которая сама вода является средой, где присутствуют растворенные и нерастворенные загрязняющие вещества. Вопросы подготовки 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 требуемого качества является важной государственной задачей и лежит в основе Национального проекта «Экология», реализуемого в РФ с 2019 года. Процессы организации централизованного питьевого водоснабжения населения находятся, исходя из требований экологического и санитарного законодательства и технического регулирования, в определяющей зависимости от качества имеющихся 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 питьевого водоснабжения и вопросов стандартизации технологических решений для водной отрасли. Разработке методических подходов по созданию и эксплуатации систем 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., Новикова М.Г., Орлова В.А. и др. Химические и физико-химические основы классификации загрязняющих веществ рассматривались Кульским Л.А. и др. Санитарная и экологическая 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 технологического 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 в части формирования требований к централизованному питьевому водоснабжению, остаются недостаточно изученными вопросы обеспечения требуемого качества воды. Необходима взаимосвязь стандартизации подходов к выбору технологических решений и оборудования. Следует предложить методологию оценки эффективности проектных и эксплуатационных составляющих систем водоснабжения с позиций

достаточного и необходимого уровней санитарной и технологической безопасности, учитывая на технико-экономическую эффективность и возможности предприятия.

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

Область исследования соответствует паспортам научных специальностей:

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

- 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.
- Технико-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 обеспечения качества питьевой воды, исходя из системного подхода, позволяющего стандартизировать технологические, экологические, санитарные и экономические требования, включая вопросы контроля и оценки эффективности, предъявляемые к проектированию и эксплуатации соответствующих 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 питьевого водоснабжения должен быть универсальным для объектов хозяйствования разного масштаба и расположенных в разных географических и климатических условиях в целях создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности.
4. Принцип формирования требований к оборудованию, материалам и реагентам, применяемым для процессов организации питьевого

водоснабжения должен основываться на предотвращении миграции в питьевую воду токсичных веществ.

5. Эколого-экономические аспекты исходят из принципов оценки стоимости жизненного цикла и формирования единого подхода 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 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 НП «Экология», 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 стандартизированы по заданию Минстроя России и ГК Фонд 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 и формирования 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 (приложение А).

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.

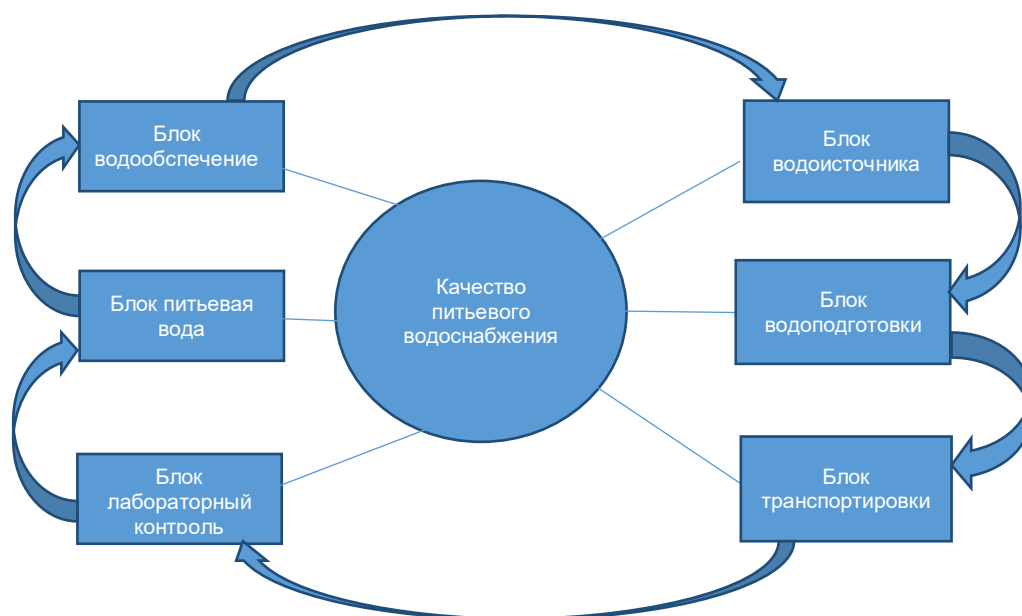


Рисунок 1 – Система комплексной оценки факторов, формирующих хозяйственно-питьевое водоснабжение

Совершенствование систем водоснабжения за счет 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 предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). Соответствующий документ внедрен Минстроем России.

На основе использования предложенных принципов и научно-методических подходов разработаны и внедрены технологические подходы к оптимизации процессов водоподготовки. Разработанные стандарты и технологические регламенты внедрены на предприятиях РФ и защищены патентами РФ.

На основе проведенных исследований при участии автора 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: химия, химическая технология, прикладная математическая статистика, экология, теория вероятности, информационные технологии. 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 ресурсосбережение.

При проведении экспериментальных, промышленных 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, разработанный национальный стандарт.

9. Формирование рамки квалификаций для целей водоснабжения и водоотведения с позиций исследование 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 опытно-аналитических исследований, лабораторных, пилотных и промышленных испытаний; использованием для исследований стандартных методик, современных сертифицированных приборов и оборудования, анализа требований в водным источникам питьевого водоснабжения, положительными результатами апробации разработанных риск-ориентированных принципов управления качеством питьевой воды; получением положительных согласований и заключений уполномоченных организаций по разработанным документам по стандартизации и техническим условиям (Приложение А).

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, 2017 г., Москва, Конференции «Об опыте модернизации систем водоснабжения и водоотведения в ЖКХ и промышленности», Ялта 09-13 октября 2017 г., 2-м Всероссийском Водном Конгрессе, 05-07 июня 2018 г., Международной научно-практической конференции «Яковлевские чтения» 14-15 марта 2019 г., Москва, 3-м Всероссийском Водном конгрессе, Москва, 24-27 июня 2019 г., 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» 2020 г., Санкт-Петербург, Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная безопасность. Современные реалии» 2020 г., Махачкала, 4-м Всероссийском Водном конгрессе, Москва, 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», в Российском технологическом университете Московский институт радиотехники, электроники, автоматики (РТУ-МИРЭА), в программах дополнительного профессионального образования Автономного негосударственного образовательного учреждения «Водная академия», г Санкт-Петербург, Национальном исследовательском университете НИУ МГСУ.

На основании выполненных исследований 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 справочное пособие, рекомендованное Федеральным агентством по надзору за защитой прав потребителей 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», ГУП Водоканал Санкт-Петербурга, при формировании обновленных редакций строительных правил в области водоснабжения и водоотведения НИИ Строительной Физики Минстроя России (Приложение А). На основании работ автора разработан «Справочник перспективных технологий водоподготовки», входящий в паспорт ФП «Чистая вода» 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.

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.

По итогам проведенных исследований разработаны и утверждены приказами Росстандарта 9 национальных стандартов (приложение А).

1 Оценка состояния систем обеспечения питьевой водой населения России

Изучению особенностей эксплуатации систем питьевого водоснабжения посвящены труды множества отечественных и зарубежных исследователей [1-6]. Общие требования к проектированию и эксплуатации систем питьевого водоснабжения представлены в [7,8]. Традиционно полагают, что система водоснабжения в зависимости от выбранного источника состоит из так называемых технологических стадий или переделов, укрупнено включающих в себя водозаборный узел, насосные станции первого подъема, сооружения водоподготовки, насосные станции второго подъема и распределительную сеть, характеристики которой зависят от таких факторов, как производительность, географические и ландшафтные особенности местности, особенностей водопотребления и т.п.

Системы питьевого водоснабжения классифицируются по ряду признаков.

1. По надежности подачи воды: водопроводы бывают одной из 3-х категорий зависимо от требований бесперебойной подачи воды [7]

2. По виду обслуживаемого объекта: системы водоснабжения подразделяют на городские, поселковые, а также промышленные, сельскохозяйственные, железнодорожные и др.

3. По виду используемых природных источников: системы водоснабжения, забирающие воду из поверхностных (рек, водохранилищ, озер, морей) и подземных (артезианских, родниковых) источников [9]. Имеются также системы смешанного типа питания.

4. По назначению системы водоснабжения делят на хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные и объединенные. Последние, как правило, устраивают в населенных пунктах.

5. По технологическим переделам:

- по виду источника водоснабжения: с водоснабжением из поверхностных, подземных источников, а также со смешанными источниками водоснабжения.
- по способу подачи воды: водопроводы бывают напорные с механической подачей воды насосами и самотечные при расположении водоисточника на высоте, обеспечивающей естественную подачу воды потребителям.
- по давлению: низкого или высокого давления.
- по производительности водоподготовительные сооружения целесообразно классифицировать в следующем порядке (таблица 1.1 [9]).

Таблица 1.1 – Классификация сооружений по производительности [5,9]

Наименование	Производительность	Обслуживаемое население
Крупные	более 40 тыс.м ³ /сут.	более 200 тыс. чел.
Большие	10 - 40 тыс.м ³ /сут.	50 - 200 тыс. чел.
Средние	4 – 10тыс.м ³ /сут.	20 - 50 тыс. чел.
Небольшие	1- 4 тыс.м ³ /сут.	5 - 20 тыс. чел.
Малые	100 – 1000м ³ /сут.	500 - 5 000 чел.
Сверхмалые	20 - 100 м ³ /сут.	100 - 500 чел.
Индивидуальные	менее 20 м ³ /сут.	менее 100 чел.

С учетом современного развития техники и технологий крупные водоподготовительные сооружения производительностью более 40 тыс.м³/сут. относятся к объектам капитального строительства. Водоподготовительные сооружения производительностью от 20 м³/сут. до 40 тыс.м³/сут. могут изготавливаться в заводских условиях в контейнерном и блочно-модульном исполнении и поставляться в готовом виде. Населенные пункты с численностью менее 100 человек целесообразно обеспечивать индивидуальными средствами очистки воды или используя подвоз воды питьевого качества [9].

1.1 Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения

Вопросы государственной политики в области повышения доступности и безопасности питьевого водоснабжения сфокусированы чаще

всего на технологиях водоподготовки [10]. Тарифная политика, являясь заложником политической конъюнктуры, ограничивает возможности устойчивого развития водоснабжения, что требует очень взвешенного подхода к вопросу выбора технологий. Обосновать наиболее подходящее для конкретных условий решение позволит сравнительный анализ технологий водоподготовки на основе использования методологии оценки риска здоровью населения [9,28,29], который рассмотрен в дальнейших главах работы.

Оценка удовлетворенности населения услугами водоснабжения позволяет сформировать различные траектории обеспечения населения питьевой водой. Исходя из проведенного анализа [11], учитывающего современный международный опыт, необходимо рассмотреть фактор формирования практики организации безопасного водоснабжения.

По результатам системного обзора [11,12] исследований, проведенных в 2012 г. в 145 населенных пунктах с населением, имеющим низкий и средний уровень дохода, заболеваемость, связанная с водой неудовлетворительного качества, превышала треть всех смертных случаев от острых кишечных инфекций. Это примерно полмиллиона случаев в странах с низким и средним уровнем доходов.

Подходы к безопасности питьевой воды централизованных систем могут быть различными, при этом обеспечение только качества источника воды не является гарантией ее безопасности [13-16]. В нашей стране вопросы повышения качества питьевой воды считаются государственными и в настоящий момент решаются в рамках ФП «Чистая вода». Показатели данного проекта: во-первых, универсализация при выборе технологий водоподготовки, во-вторых, повышение качества самого процесса водоподготовки, т.е. эффективное извлечение загрязнений до попадания их к конечному потребителю. Пожалуй, это самое главное, а допущения, связанные с реализацией проекта, основаны на некотором периоде времени, когда осуществляются мероприятия по повышению качества питьевой воды

– вода в это время может не соответствовать питьевой до завершения комплекса мероприятий повышения качества. Кроме того, допущением является приоритет микробиологических показателей над всеми остальными, что полностью согласуется с позицией Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [17]. Например, несмотря на продолжающиеся дискуссии о токсичности побочных продуктов химической дезинфекции [18,19,20], действующие руководства ВОЗ по качеству питьевой воды оценивают преимущества дезинфекции хлором, как перевешивающие в значительной степени риски образования побочных продуктов, и, следовательно, рекомендуют очистку воды с использованием хлора в установленных пределах дозировки [17].

Периодически возникающая дискуссия о том, что необходимо разделять потоки питьевой воды и воды для гигиены и прочих нужд, множество видов расфасованной воды, кулеры и бытовые фильтры формируют различные сценарии повышения безопасности питьевой воды у потребителя. Водоснабжение и обеспечение потребителей качественной питьевой водой требует решения нескольких взаимосвязанных задач [5,28,29]:

- Определение и обеспечение качества источника водоснабжения населенного пункта или предприятия.
- Получение разрешения на использование источника водоснабжения и обеспечение мероприятий, направленных на сохранение качества источника водоснабжения.
- Расчет и прогноз на перспективу производительности сооружений.
- Выбор технологий водоподготовки с учетом качества воды водоисточника и региональных особенностей, климатических и гидрогеологических условий, обеспечения безопасности, надежности функционирования системы водоснабжения в целом.
- Гарантированное обеспечение качества подаваемой абонентам питьевой воды в соответствии с требованиями санитарного законодательства.

- Экономическая обоснованность возможности применения выбранных технических решений при строительстве или реконструкции сооружений централизованной системы водоснабжения.

По данным [21] практика очистки воды и безопасного хранения воды в домашних условиях является весьма многообещающим инструментом повышения качества воды для конечного потребителя. Примеры ряда стран показывают, что зачастую недостаточно просто предоставить населению инфраструктуру или технологические методы без дальнейшего содействия изменению поведения [22,23]. Ориентация на процесс изменения поведения, а не только на совершенствования технологий, рассматривается как ключ к успеху в будущих разработках [24]. Обратим внимание на то, что применительно к нашей стране все выстроено таким образом, что должен прилететь вдруг «волшебник в голубом вертолете и ...» сделать качественную питьевую воду для всех. К сожалению или к счастью, так не будет, поэтому каждый потребитель услуги питьевого водоснабжения должен самостоятельно сформировать поведенческую модель в отношении качества воды. На сегодняшний день до сих пор неясно, в какой степени социально-психологические мотивы могут способствовать пониманию различия в практике водопотребления. Для их общего сравнения не хватает исследований поведения людей в разных географических и социокультурных условиях.

1.1.1 Оценка качества питьевой воды

Согласно рекомендациям ВОЗ [17], определение качества воды основано на измерении основных параметров конкретного водного источника, такой подход, в целом, принят и в нашей стране. Полагаем, что определение качества питьевой воды для централизованных систем водоснабжения является весьма неопределенной позицией. Об удовлетворенности качеством питьевой воды в регионах России можно судить практически по единственным доступным источникам – ежегодным Государственным докладам Роспотребнадзора о санитарно-

эпидемиологическом благополучии населения РФ. В них представлены данные о качестве воды в водных источниках питьевого водоснабжения, влияющих на качество питьевой воды централизованных и нецентрализованных систем.

В целях учета риска для конечного потребителя воды централизованных систем водоснабжения (население) необходима оценка рисков воздействия уровня типовых загрязнений на здоровье [5,9,29].

Существуют требования к источникам питьевого водоснабжения; на основании данных об источнике проектируются и работают сооружения водоподготовки [25]. Количество и периодичность проб воды, отбираемых для лабораторных исследований, перечень показателей присутствия неорганических и органических веществ в воде на водозаборе и перед подачей в распределительную сеть в Российской Федерации устанавливаются соответствующими гигиеническим нормативами [26,29]. Представляется весьма вероятным, что объем и уровень контроля качества воды водных источников не является корреспондирующим основанием выбора технологии водоподготовки. За основу при выборе технологий очистки питьевой воды берутся результаты качественной оценки вида и качества источника водоснабжения (например, «загрязненная поверхностная вода, защищенные грунтовые воды»). Связанные с конкретной технологией целевые показатели чаще всего применяются в отношении микробных и химических факторов риска. В соответствии с руководством по обеспечению качества питьевой воды [27] целевые показатели безопасности, связанные с конкретной технологией, устанавливаются в форме рекомендаций, применяющихся при водоподготовке воды источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

Предложения в части учета фактора питьевого водоснабжения для попадания загрязнений в организм человека и потенциальных рисков для здоровья рассмотрены автором ранее в работах [28,29,30] и показаны на примере таблиц:

Таблица 1.2 – Оценка рисков для здоровья за счет питьевого фактора, обусловленного водоподготовкой

Оценка риска	Критерии риска за счет воды, поступающей в сеть после водоподготовки	Регламент работы сооружений	Качество реагентов, загрузок, материалов	Производственный контроль
Несущественный	Низкий по уровню коэффициента опасности и индивидуального пожизненного риска	Согласован с органами Роспотребнадзора	Концентрации веществ менее 0,1 ПДК*	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне и менее 0,1 ПДК
Неопределенный	Приемлемый по уровню коэффициента опасности и индивидуального пожизненного канцерогенного риска	Согласован с органами Роспотребнадзора	Концентрация веществ менее 0,5 ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне 0,5 ПДК
Существенный	Неприемлемый по коэффициенту опасности и индивидуальному пожизненному канцерогенному риску	Не согласован с органами Роспотребнадзора	Концентрация на уровне и выше ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне ПДК

*Здесь и далее – установленная в СанПиН лимитирующая ПДК для питьевой воды

Таблица 1.3 – Классификация риска для здоровья, обусловленная транспортировкой и распределением воды

Класс риска	Остаточные уровни реагентов	Вымывание из материалов трубопроводов	Биообразование	Эффективность контроля качества
Несущественный	Ниже концентраций, эквивалентных референтным дозам		Низкое	Соответствует по всем измеряемым показателям
Неопределенный	На уровне концентраций, эквивалентных референтным дозам		Среднее	Соответствует по приоритетным показателям
Существенный	Выше ПДК		Интенсивное	Не соответствует по контролируемым показателям

Таким образом, существует возможность учета технологических составляющих риска для здоровья людей от воды, не соответствующей требованиям безопасности. [9,26,29]. Однако проблема повышения качества питьевой воды в настоящий момент не имеет полноценных механизмов решения, т. к. решения часто основаны на неполных данных о качестве водных источников, а также как ранее было указано, на допущениях в части приоритета микробиологической безопасности. Это должно быть понято потребителями. Данное понимание, с одной стороны, требуется сформировать, а с другой стороны, – оно должно вести к некоторым

последствиям, например, к изменению поведенческих моделей водопользования.

1.1.2 Удовлетворенность качеством питьевой воды

Организация питьевого водоснабжения выявила ряд факторов, которые управляют поведением человека, связанным со здоровьем, в конкретных ситуациях [31,32,33]. Весьма интересно, полагаем, дополнительно показать социально-психологические факторы, определяемые как детерминанты (определяющие факторы) для объяснения целевого поведения потребителей воды. Данные исследования основаны на ряде теорий из психологии здоровья, таких как модель веры в здоровье [34], теория мотивации к защите [35], теория запланированного поведения [36] и изменение поведения в отношении здоровья [37]. Четкие группы поведенческих детерминант являются существенными для прогнозирования поведения в отношении здоровья, как описано [38]. Нормативные факторы представляют собой воспринимаемое социальное давление в отношении определенного поведения.

1.1.3 Механизмы управления устойчивым развитием водоснабжения в различных странах

Если рассматривать вышеуказанные факторы с позиции реализации программ повышения качества питьевого водоснабжения, поведенческого выбора и приоритетов потребителей, то необходимо уточнить, что ожидания органов власти и потребителей будут разными. В контексте социально-политических факторов (доступ к воде, здравоохранение, защита от наводнений, охрана окружающей среды, ограничения на природные ресурсы, равенство поколений и устойчивость к глобальным изменениям) существует потребность в переходе от текущего режима водоподачи к управлению качеством воды в системах водоснабжения, т.е. к обеспечению устойчивого развития систем водоснабжения [5,148].

В качестве важнейшего инструмента управления устойчивым водоснабжением можно рассматривать тарифы на воду, поскольку они обеспечивают возможную связь между предложением (например, возмещением затрат) и спросом (например, управлением спросом), способным достичь нескольких целей. Установление тарифов – это политический процесс, который изобилует противоречиями. Вместе с тем, не только в нашей стране, как представляется, установление цен на водные услуги является сложной задачей для правительств на национальном и местном уровнях [11,14]. Основные проблемы возникают при установлении цен и тарифов на воду при выборе структуры тарифа, отвечающей целям, как коммунального предприятия, так и общества. Плохо продуманная структура тарифов на воду может привести к обильному использованию ограниченных водных ресурсов или несправедливой маргинализации наиболее бедных слоев населения [11]. Хотя тарифы на воду являются концептуально простым способом продвижения нескольких целей, но, если они не будут должным образом структурированы, результат может быть катастрофическим [14]. Важно оценить, как изменяются следующие зависимости:

- водопользование и доходы,
- предельные и средние затраты по целевому уровню возмещения затрат,
- цена (предельная или средняя), на которую реагируют клиенты.

В соответствии с такими взаимосвязями основные цели и проблемы, которые необходимо учитывать при установлении тарифа на воду, могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) Экологическая устойчивость (т. е. не допускать истощения критически важного природного ресурса).
- 2) Финансовая устойчивость (т. е. гарантия возмещения затрат и долгосрочного содержания основных фондов).

3) Экономическая эффективность (т. е. вода выделяется на наиболее выгодные виды использования и экономические ресурсы не тратятся впустую).

4) Социальные проблемы (т. е. адекватный доступ к воде на справедливых и равноправных условиях).

5) Управление (т. е. содействие установлению четких, понятных и предсказуемых тарифов с учетом особенностей осуществления и административного/ управленческого характера).

Установление структуры тарифов на воду, которая позволит достичь всех вышеуказанных целей, является сложной задачей для всех органов местного самоуправления (ОМСУ) с учетом компромиссов между этими целями. Плата, взимаемая с пользователей, должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить возмещение расходов и препятствовать расточительному потреблению воды, но в то же время достаточно низкой, чтобы гарантировать доступность услуги. В дополнение к этому сложному компромиссу установление тарифов на воду может подлежать институциональным ограничениям, таким как правовые ограничения, информационные проблемы или лежащие в их основе неформальные правила, признание ООН права на воду в качестве одного из основных прав человека, а также политическим ограничениям [39,40]. Цены на воду были названы политически чувствительным (возможно, взрывоопасным) вопросом во всем развивающемся мире [41]. Установление тарифов на воду является особой проблемой для развивающихся стран, население которых с низкими доходами, как правило, неохотно принимает любое повышение тарифов на воду [42]. Тем не менее, даже в развитых странах, если ценовая политика должным образом не реализуется, это может привести к социальным волнениям и неизбежно к политическим потрясениям [42].

Реализуемый в РФ ФП «Чистая вода» также должен рассматриваться через призму платежеспособности потребителя. Предлагаемые решения в области водоподготовки должны быть экономически обоснованы. Исходя из

имеющихся данных, имеется серьезная проблема: сооружения водоподготовки могут быть спроектированы и построены в рамках федерального финансирования, но далее встанет вопрос их эксплуатации и себестоимости питьевой воды.

Политические соображения и надлежащая реализация могут сыграть значительную роль в установлении тарифов на воду, учитывая необходимость сохранения популярности власти у населения. Ценовая политика должна сопровождаться неценовой политикой, например политикой регулирования спроса на воду (например, через образование и водосберегающие устройства). В нашей стране в качестве примера можно рассмотреть программы повышения экологической грамотности населения. Например, по данным водоканала г. Клин, реализуемая совместно с управлением образования программа «Водные тропинки родного края» позволила за счет повышения экологической грамотности школьников и студентов снизить водопотребление в Клинском районе Московской области более чем на 20 %. Учитывая тот факт, что продажа ресурса для абонентов сельской местности осуществляется большей частью по нормативам водопотребления, снижение последнего является бонусом для водоканала, и позволяет не повышать или ограниченно повышать тарифы на водоснабжение.

На примере ряда стран, сопоставимых с Россией по текущему уровню инфраструктуры водоснабжения, с учетом значительного географического и климатического разнообразия, рассмотрим особенности регулирования тарифов.

Южная Африка была «страной, испытывающей нехватку воды» с историей неравенства в доступе [11]. В последние годы достигнут определенный успех благодаря введению в 2001 г. национальной политики в области бесплатной базовой воды (FBW) и бесплатной базовой санитарии (FBS). Эта политика обязывает коммунальные службы (как правило, на местном уровне) обеспечивать бесплатную базовую водоснабжение и

санитарию. Тем не менее, также подчеркивается, что необходимо осознанно пользоваться услугами, предоставляемыми сверх основной услуги, за которую необходимо платить. В результате был существенно расширен доступ к чистой и безопасной питьевой воде, от среднего показателя по стране около 80 % (1990 год) до 95 % (2012 год). В то время как в большинстве городских районов данная политика осуществлялась относительно быстро и успешно, ее воплощение в пригородных, неформальных и сельских районах было гораздо более сложным, поскольку многие из них еще не получили доступа к этой базовой услуге.

Вьетнам представляет собой типичный пример развивающейся страны в управлении услугами водоснабжения, где низкие тарифы применяются для городских систем водоснабжения и, следовательно, в значительной степени субсидируются правительством (Азиатский банк развития) [11,43]. Вьетнам также представляет собой типичную ситуацию, когда политические соображения часто препятствуют своевременному применению корректировок тарифов. Вместе с тем, в соответствии с законодательством Вьетнама в качестве областей для участия частного сектора выделяются отдельно системы водоснабжения, системы водоотведения, а также системы сбора и обработки отходов, тем самым делая этот сектор одним из самых высоких уровней частных инвестиций в стране. Однако для управляемых частным сектором систем тарифы должны соответствовать диапазону, указанному Министерством финансов и согласованному с местными органами власти. Как заявил Международный Банк Реконструкции и развития, это создает не поддерживающий инвестиционный климат [44].

Вьетнам добился прогресса, в частности, за счет акционирования и отмены платы за подключение для решения проблем малоимущего населения. Субсидирование будет исходить от существующих клиентов; такой шаг поощряется, чтобы препятствовать незаконным подключениям к воде. Тарифы обычно устанавливаются на уровне, который покрывает основные эксплуатационные расходы, но который не поддерживает новые

инвестиции, связанные с обслуживанием активов. Эта ситуация с низкими тарифами ухудшается, когда речь заходит о сельской местности, в которой существует несколько субсидий. Правительство страны намерено было отменить все субсидии, связанные с водоснабжением, в 2020 г., чему помешала пандемия.

Сингапур представляет собой экстраординарный случай, не имеет никаких поверхностных или подземных источников. Совет по коммунальным услугам управляет всем циклом водоснабжения от сбора дождевой воды/сточных вод и производства воды (опреснение) до распределения воды/обработанной "использованной воды". За свои решения Совет удостоин множества международных наград. Кроме того, частные компании владеют и инвестируют в заводы (т. е. опреснение и повторное использование/переработку), а также продают произведенную воду в коммунальные службы [45].

Сингапур применяет принцип полного возмещения расходов через тариф на воду [45] фактор дефицита воды путем включения высоких производственных затрат на опреснение и рециркуляцию воды, а также затрат на очистку сточных вод [45]. Цены на воду в Сингапуре также включают водосберегающий налог, плату за воду, позволяющую собрать каждую каплю воды для возможного вторичного использования перед выпуском в канализацию, и плату за используемые санитарные приборы (количественно на жилое помещение). Стремясь к полному возмещению расходов на воду, Сингапур предпринял смелый шаг, проведя в 1997 г. реформу цен. Это привело к росту цен на 120 % для домашних хозяйств. Такая система не поощряет чрезмерное использование воды для домашних хозяйств и успешно снижает потребление. Недостатком этой системы является то, что она отдает предпочтение мелким домохозяйствам, а не домохозяйствам с низким уровнем дохода. Для решения проблем социальной справедливости была введена система скидок с учетом типа (размера) домохозяйства (например, с учетом количества проживающих).

Австралия является одним из самых засушливых обитаемых континентов, часто страдает от физического дефицита воды, и поэтому управление водными ресурсами является одним из самых важных вопросов. Цены на воду должны соответствовать установленным в 2010 г. Национальной водной инициативой (НВИ) принципам, которые направлены на возмещение капитальных затрат, охватывающих реконструкцию/замену активов (нижняя граница ценообразования) и возврат капитала для отражения стоимости потребления активов и стоимости капитала (верхняя граница ценообразования). На основе этих принципов правительства штатов устанавливают оптовые цены на воду, а затем вода распределяется и оплачивается в каждом регионе либо местным советом, либо водным органом. В докладе [46] подчеркивается важность получения от правительств национальных обязательств по регулированию воздействия роста расходов на водоснабжение на домохозяйства с низким доходом с помощью механизмов, отличных от популистского снижения цен на воду (например, подлинно независимые регулирующие органы, обязательные водосберегающие устройства и т.д.). Работа [47] заявляет, что "все еще существует возможность для политического влияния, даже несмотря на то, что НВИ привержена полному возмещению расходов с регулирующим надзором, который стремится объективно выровнять затраты и цены".

Требование оплачивать все расходы, которые обеспечивают непрерывное предоставление услуг и адекватное функционирование коммунального хозяйства в отношении водного цикла (например, общие водные пути), побудило европейские страны искать транснациональные решения на основе сообщества. Европейский союз (ЕС) представляет собой примечательный случай, когда его члены приняли Рамочную Директиву по водным ресурсам (ЕС-РДВ) для разработки общих руководящих принципов, для обеспечения возмещения расходов и разработки надлежащих стимулов. Эта правовая основа способствовала принятию конкретных мер по созданию устойчивой структуры тарифа. Соответственно, тарифы на воду могут

содержать несколько компонентов, в том числе связанных с потребительскими характеристиками, соответствующими Целям устойчивого развития, сформулированным ООН. В связи с тарифами важно подчеркнуть роль налогов, поскольку только НДС варьируется от 0 % до 25 %. Кроме того, как было проанализировано [48] доступность воды может стать проблемой при полном возмещении расходов.

В случае субсидий, применяемых в отношении всех потребителей, важно гарантировать эффективный доступ к услуге и понять бытовые характеристики потребления (размер, структуру потребления). Также необходимо формирование у конечных потребителей мировоззренческих и поведенческих навыков безопасного водоснабжения.

1.1.4 Поведенческие аспекты, связанные с безопасностью обеспечения питьевой водой в России

В нашей стране можно отметить следующие поведенческие аспекты, связанные с безопасностью водоснабжения:

- Безопасный водный источник предпочтительнее сложных технологий водоподготовки исходной «плохой» воды.
- Предположение о безопасности воды из скважин у потребителя серьезно превалирует над необходимостью проведения оценки качества воды в скважине.
- Кипячение – это, по мнению большинства потребителей, панацея от всех загрязнений, содержащихся в воде.
- Воспринимаемые денежные и не денежные издержки (такие как дополнительные усилия властей или управляющих организаций в целях обеспечения безопасного источника водоснабжения) являются факторами, имеющими отношение к альтернативному поведению в том смысле, что люди готовы решать проблемы самостоятельно, убедить в необходимости издержек почти невозможно.

- Вкус очищенной воды, а также разница во вкусе между безопасной водой, очищенной традиционными и альтернативными методами, является одним из наиболее значимых факторов эмоционального убеждения.
- Признание самоэффективности в значительной степени способствует объяснению поведения, связанного с потреблением безопасной воды.

На примере исследований в развивающихся странах, можно предположить развитие ситуации с модернизацией водоснабжения для ряда регионов нашей страны. Можно утверждать, что формирования поведенческих реакций у потребителей услуг питьевого водоснабжения, связанных с реализацией ФП «Чистая вода», фактически не происходит. Население, со своей стороны, пытается приспособиться к наличию или отсутствию водоснабжения, при этом качественная модернизация будет приятным бонусом, за который можно заплатить. Подчеркнем важный результат обсуждаемых исследований, который заключается в том, что учет социально-психологических факторов в прогностических моделях обеспечил высокую степень понимания целевого поведения населения. Это означает, что исследования, включающие эти факторы, могут надежно идентифицировать и оценить степень влияния различных мотивационных факторов на потребителей, придерживающихся и игнорирующих практику потребления безопасной воды. То же самое относится и к факторам, специфичным для разных групп населения, так как одно и то же поведение определялось различными факторами при сравнении двух разных групп населения даже в пределах одной страны. Эти результаты подчеркивают уникальность мышления местного населения и важность подхода, ориентированного на данные, для оценки поведенческих мотивов в конкретных условиях. Они также подчеркивают необходимость разработки адаптированных к населению интервенционных стратегий для внедрения практики потребления безопасной воды. Методику изменения поведения при разработке кампаний по изменению поведения следует выбирать системно,

на основе обширных базовых исследований для определения факторов, наиболее важных для конкретной обстановки.

В российском случае реализация ФП «Чистая вода» исходит из формирования поведенческой модели на основе риск–ориентированного подхода [13,30]. Выбор технологий водоподготовки основывается на технологическом минимуме, позволяющем обеспечить показатели качества, соответствующие гигиеническим нормативам. Дальнейший анализ технологий водоподготовки на основе использования методологии оценки риска здоровью населения с учетом перечня опасных событий и связанных с ним опасных факторов позволит обосновать выбор наиболее подходящей технологии для конкретных условий [29].

Результативность реализации проектов модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки) оценивается по уровню достижения приемлемого/целевого индивидуального и/или популяционного риска здоровью по [9,28,29]. Такой подход является принципиально верным, однако отсутствует единая методология расчета затрат, что приводит к необъективным данным при оценке эффективности предлагаемых технологических решений.

1.2 Структура и группировка объектов централизованных систем водоснабжения. Влияние состояния объекта технологического передела на качество воды у конечного потребителя.

Для обеспечения единообразия стратегий технического воздействия на систему водоснабжения, с целью гарантированного улучшения качества питьевой воды у потребителя, необходимо понимание агрегирования и группировки объектов системы водоснабжения по функциональным, технологическим, территориальным и иным признакам, характеризующим специфику объектов и их взаимосвязь [9]. На основе работ [1,4,5] показано, что группировка объектов систем водоснабжения позволяет обеспечить технологическое и организационное единство объектов при формировании

инвестиционных программ направленных на реализацию мероприятий по реконструкции, модернизации и строительству объектов централизованных систем водоснабжения. На основании ранее проведенных исследований и работ авторов [1,3,4] нами предлагался [9] вариант группировки объектов, представленный на рисунке 1.1

Одним из важнейших мероприятий для формирования программ модернизации и совершенствования сооружений и инфраструктуры водоподготовки является техническое обследование. В соответствии с требованиями [8] организации, осуществляющие водоснабжение, при формировании инвестиционной программы должны руководствоваться результатами обязательного технического обследования объектов системы водоснабжения.

Состав работ по техническому обследованию включает в себя:

- камеральное обследование;
- техническую инвентаризацию имущества, включая натурное, визуальное-измерительное и инструментальное обследование объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения;
- определение технико-экономической эффективности объектов централизованных систем водоснабжения и водоотведения.

Информация, получаемая при техническом обследовании, является базовой при планировании развития систем водоснабжения и водоотведения. На основании ее формируются состав мероприятий для конкретного объекта системы водоснабжения. Наравне с оценкой эффективности отдельно взятого мероприятия, в обязательном порядке должно оцениваться влияние этого мероприятия на функционирование системы в целом. Это позволит эффективно расставить приоритеты и сформулировать общие проблемы СПВ и задачи, которые решает конкретное мероприятие.

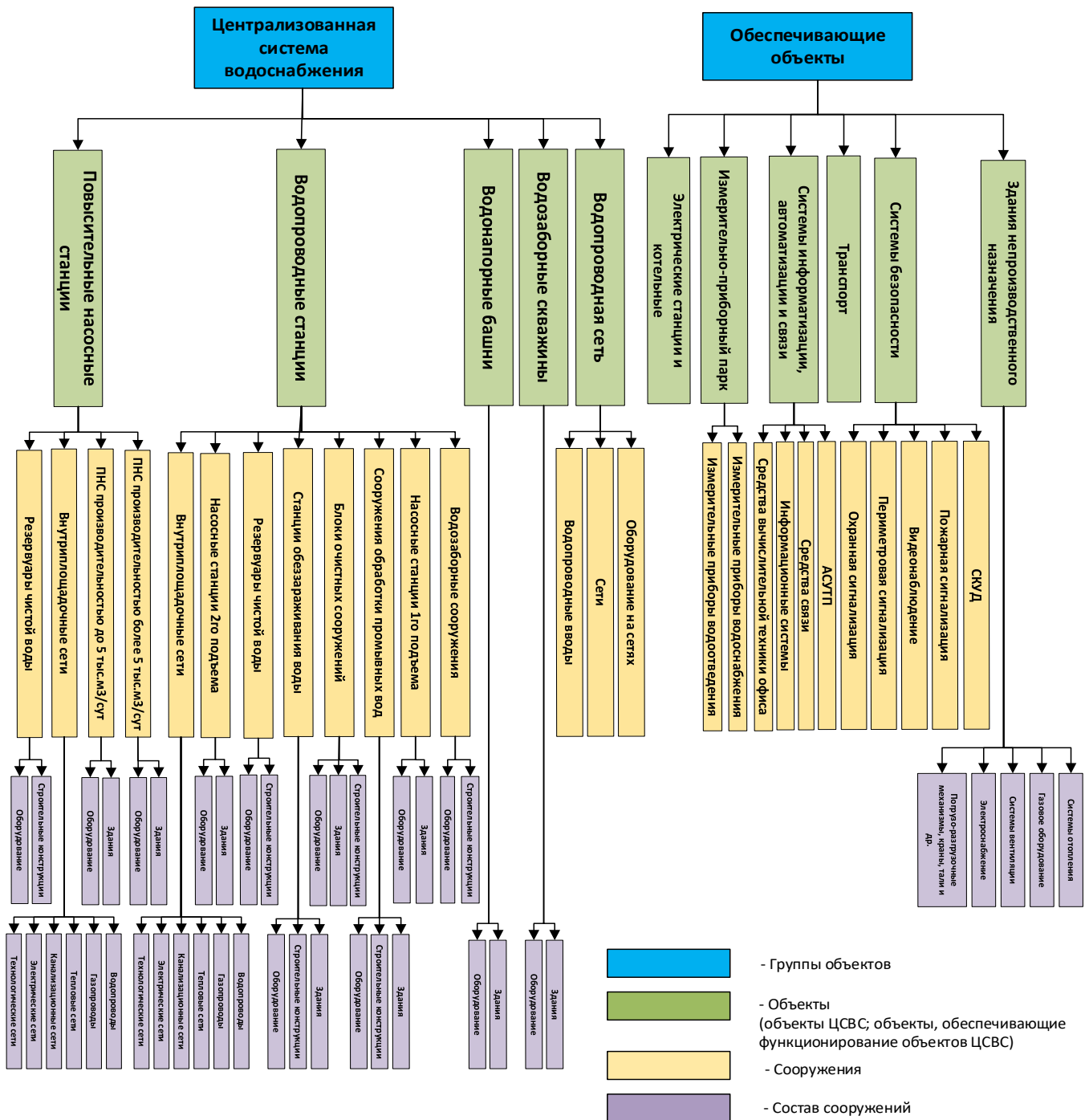


Рисунок 1.1 – Группировка объектов системы питьевого водоснабжения [9].

1.3 Анализ статистических данных по функционированию систем питьевого водоснабжения

В рамках выполнения исследования нами проведена оценка систем питьевого водоснабжения по регионам Российской Федерации. Согласно данным оценки установлены характеристики системы водоснабжения Российской Федерации.

1.3.1 Сети водоснабжения

Общая протяженность сетей водоснабжения, включая магистральные водоводы и уличные разводящие сети, составила 546,4 тыс. км.

При сопоставлении данных о протяженности сетей водоснабжения с данными федерального статистического учета по форме «1-водопровод» за 2018 год установлено, что по данным статистики общая протяженность водопроводных сетей в Российской Федерации (без учета городов Москвы и Санкт-Петербурга) составляет 558,9 тыс. км. Расхождение статистических данных с данными, полученными в результате оценки, находится в пределах 3%. С данными федерального статистического учета также согласуется перечень субъектов с наиболее протяженными сетями – наиболее протяженные сети на территории Краснодарского края – 30,7 тыс. км (5,6 % от общей протяженности сетей по России) и Ростовской области – 20,0 тыс. км (3,7 %). По федеральным округам наибольшая совокупная протяженность водопроводных сетей в Приволжском федеральном округе – 130,1 тыс. км, что составляет 23,8 % от общей протяженности сетей Российской Федерации.

В таблице 1.4 приведен расчет средней протяженности сетей водоснабжения, приходящихся на 1 потребителя услуг питьевого водоснабжения по федеральным округам. Из приведенных данных можно сделать вывод, что на дальневосточных территориях потребители сконцентрированы на территориях с плотной застройкой, это преимущественно населенные пункты городского типа. На Северном Кавказе разветвленность сетей выше, что предполагает больший охват централизованным водоснабжением населенных пунктов с меньшей плотностью населения и, соответственно, меньшим уровнем урбанизации.

Таблица 1.4 – Данные по протяженности сетей водоснабжения

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

1.3.2 Водозаборные сооружения

В Российской Федерации насчитывается 70,4 тыс. источников водоснабжения. Из них 3,1 тыс. ед. (4,4 %) поверхностных и 67,3 тыс. ед. (95,6 %) - подземных. При этом соотношение видов источников сильно зависит от территориальной принадлежности. По ряду регионов поверхностные источники составляют преобладающую долю от общего количества, это Астраханская область (100 %), Мурманская область (86 %), Республика Карелия (66 %), Республика Дагестан (58 %), Карачаево-Черкесская Республика (66 %).

Общий объем воды, забранной в 2018 году из поверхностных и подземных источников, составил 14,14 млрд. м³ воды. Из них из поверхностных источников забрано 6,35 млрд. м³ (44,9 %), из подземных 7,79 млрд. м³ (55,1 %). Значительную долю поверхностные источники имеют на территории Северного Кавказа (31,6 % от общего количества водозаборов СКФО). В данном случае наблюдается прямая зависимость от геологических характеристик местности и, одновременно, насыщенности территории водными объектами с водой питьевого качества. Противоположная ситуация наблюдается в Европейской части России, где преобладают подземные

источники: абсолютная доля поверхностных источников водоснабжения по Центральному Федеральному округу составляет 0,5 %. С учетом вышесказанного, расчет показывает, что средняя мощность подземных водозаборных сооружений значительно меньше, чем поверхностных. Соотношение объемных показателей забора воды по видам водозаборных узлов (ВЗУ) приведено в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Соотношение объемных показателей забора воды по видам ВЗУ

Вид ВЗУ	Количество источников, ед.	Объем поднятой воды, тыс. м ³ /год	Удельный показатель поднятой 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

В дополнение к этому следует отметить, что характерной особенностью систем водоснабжения, питающихся от подземных источников, является простота организации системы. Если для поверхностных ВЗУ следующим этапом, как правило, предусматривается водоподготовка, то от подавляющего большинства подземных водозаборных сооружений вода без очистки через накопительные резервуары, водонапорные башни подается непосредственно в сеть. Данная схема организации водоснабжения характерна для сельских территорий и некрупных населенных пунктов.

1.3.3 Водоподготовка

Общее количество сооружений водоподготовки на территории Российской Федерации составило 9,6 тыс.ед. Из общего объема забранной из источников воды, составившего 14,14 млрд. м³, водоподготовка реализовывалась для 7,4 млрд. м³ (52,3 %).

Общая проектная производительность сооружений водоподготовки составляет 54430,77 тыс. м³/сутки. Фактически задействованная в 2018 году производительность составила 33 308,61 тыс.м³/сутки (61,2 % от проектной).

Кроме того, к учету могли приниматься не только полномасштабные водопроводные очистные сооружения, но и блочно-модульные сооружения водоподготовки, а также мобильные установки.

К числу субъектов с наибольшей долей воды, прошедшей очистку, относятся:

1. Томская область – 95,1 %,
2. Омская область – 94,8 %,
3. Ханты-Мансийский автономный округ – 93,6 %,
4. Астраханская область – 92,9 %,
5. Псковская область – 91,3 %,
6. Вологодская область – 90,1 %.

Помимо регионов, где очистка отсутствует, наименьшая доля воды, подвергнутая очистке, выявлена в следующих субъектах Российской Федерации:

- | | | |
|---|----------------------|----------|
| 1 | Республика Мордовия | – 0,10 % |
| 2 | Забайкальский край | – 0,14 % |
| 3 | Воронежская область | – 1,41 % |
| 4 | Республика Бурятия | – 2,68 % |
| 5 | Оренбургская область | – 4,09 % |
| 6 | Республика Марий Эл | – 4,60 % |

В разрезе федеральных округов наибольший объем водоподготовки наблюдается в Уральском федеральном округе – 0,93 млрд. м³, что составляет 71,67 % от объема забранной воды по рассматриваемой территории.

1.3.4 Балансовые характеристики систем питьевого водоснабжения

Согласно данным оценки в сети водоснабжения в 2018 году было подано 13,2 млрд. м³ воды, из которых 0,4 млрд. м³ (менее 3 %) воды подано в сети технического водоснабжения и 12,75 млрд. м³ – в сети питьевого водоснабжения. Если отталкиваться от 14,4 млрд. м³ воды поданных, то можно обозначить потери на забор и водоподготовку или расход на собственные нужды в районе 8%. Расхождение с данными статистики (без учета городов Москвы и Санкт-Петербурга) составляет 14,3 %. Реализованы

услуги поставки питьевой воды в объеме 9,3 млрд. м³, из которых 6,7 млрд. м³ (72 %) – населению и 2,6 млрд. м³ (28 %) – прочим потребителям, включая бюджетные организации.

Средний по Российской Федерации уровень водопотребления для населения на момент получения данных составил 140 л/сутки на человека (4,2 м³/мес). Проводя анализ водопотребления, исходя из [7], констатируем, что объем соответствует нижней категории водопотребления для жилья, оборудованного водоснабжением и канализацией, что говорит об отсутствии чрезмерного расходования воды. По отдельным субъектам Российской Федерации водопотребление составляет от 30-50 л/сут на человека (Республика Тыва, Республика Алтай, Республика Калмыкия), что свидетельствует об очевидном дефиците питьевой воды, подаваемой по централизованным системам. По ряду субъектов водопотребление превышает 300 л/сутки на человека (Иркутская, Ленинградская области, Забайкальский край, Республики Хакасия и Северная Осетия – Алания), что может быть следствием недостаточного распространения среди населения приборов учета воды и осуществления расчетов по нормативу.

Потери питьевой воды на сетях (при транспортировке) на основе анализа полученных данных составили 2,29 млрд. м³ воды. Это составляет 18 % от поданного в сети питьевого водоснабжения объема воды. Потери питьевой воды при транспортировке приняты как совокупность технологических потерь (порывы, утечки) и безучетного потребления воды (вследствие искажения данных приборов учета либо численности потребителей в случае осуществления расчета за услуги водоснабжения по нормативу). В связи с этим прямую связь между уровнем потерь воды и уровнем износа сетей водоснабжения объективно выявить не удастся. В ряде субъектов Российской Федерации, согласно данным оценки, уровень потерь превышает 30 %, причем 5 из них относятся к Южному федеральному округу (Астраханская область, Ростовская область, Республика Калмыкия, Республика Крым и город Севастополь). В связи с этим среди федеральных

округов наибольшая доля потерь приходится на Южный федеральный округ (30,98 % от объема воды, поданной в сеть на территории округа, и 21,45 % от всех потерь воды по Российской Федерации). Среди регионов с наибольшим уровнем потерь воды при транспортировке в 4 регионах потери превысили 40 %:

- | | | |
|---|---------------------------------|-----------|
| 1 | Сахалинская область | – 49,55 % |
| 2 | Камчатский край | – 47,65 % |
| 3 | Карачаево-Черкесская Республика | – 46,35 % |
| 4 | Республика Крым | – 43,09 % |

Следует отметить, что указанные потери формируются преимущественно за счет наиболее крупных муниципальных образований – региональных центров. В указанных городах объемные показатели потерь превышают объемные показатели оказанных потребителям услуг питьевого водоснабжения (таблица 1.6):

Таблица 1.6 – Данные анкетирования по потерям воды

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

1.3.5 Эксплуатация систем водоснабжения

Согласно данным инвентаризации преобладающая доля объектов находится в муниципальной и государственной собственности (таблица 1.7):

Таблица 1.7 – Типы собственности объектов водоснабжения

Вид сооружений	Единица измерения	Общие количественные характеристики	Вид публичной собственности		Доля публичной собственности, %
			муниципальная	государственная	
Водозаборные сооружения	тыс. ед.	81,7	60,6	9,7	86,04
Сооружения водоподготовки	тыс. ед.	9,6	6,8	1,1	82,29
Водонасосные объекты	тыс. ед.	19,1	14,8	1,2	83,77
Сети водоснабж.	тыс. км.	546,4	404,3	60,3	85,03

Согласно отчетам субъектов Российской Федерации, число объектов инфраструктуры водоснабжения, право собственности, на которые не оформлено в установленном порядке, в целом по Российской Федерации составляет (таблица 1.8):

Таблица 1.8 – Сведения об инфраструктуре водоснабжения

Вид сооружений	Единица измерения	Общие количественные характеристики	Доля бесхозных объектов от общего количества, %
Водозаборные сооружения	тыс. ед.	3,2	3,9
Сооружения водоподготовки	ед.	78	0,8
Водонасосные объекты	ед.	176	0,9
Сети водоснабжения	тыс. км.	11,9	2,2

Из приведенных обобщенных показателей наибольшее количество бесхозных объектов находится на территории следующих субъектов:

1) по водозаборным сооружениям:

Псковская область – 437 объектов,

Республика Мордовия – 432 объекта,

Челябинская область – 318 объектов;

2) по сооружениям водоподготовки

Омская область – 39 объектов;

3) по водонасосным объектам:

Челябинская область - 31 объект,

Красноярский край – 23 объекта,

Республика Башкортостан – 17 объектов;

4) по водопроводным сетям

Республика Мордовия – 1632 км,

Республика Татарстан – 1089 км,

Республика Башкортостан – 907 км.

Указанные выше данные могут быть рассмотрены как невыполнение поручения Президента Российской Федерации от 9 августа 2015 г. № Пр-1608 об обеспечении регистрации прав государственной (муниципальной) собственности на объекты жилищно-коммунального хозяйства, включая

бесхозные. Вместе с тем это может быть обусловлено активной деятельностью перечисленных регионов по выявлению бесхозных объектов водоснабжения. В данном случае по результатам оценки в последующие периоды будет наблюдаться динамика по снижению приведенных выше показателей. Эксплуатацию систем водоснабжения на территории Российской Федерации осуществляют 6996 предприятий ВКХ. Распределение объектов инфраструктуры по виду эксплуатирующих организаций приведено в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Распределение объектов инфраструктуры по виду эксплуатирующих организаций

Вид сооружений	Единица измерения	Общие количественные характеристики	Форма собственности организации		Доля объектов от общего количества, %
			Государственная	муниципальная	
Водозаборные сооружения	тыс. ед.	81,7	8,0	30,97	47,7 %
Сооружения водоподготовки	тыс. ед.	9,6	0,96	4,62	58,1 %
Водонасосные объекты	тыс. ед.	19,1	0,99	7,27	43,2 %
Сети водоснабжения	тыс. км.	546,4	51,64	215,62	48,9 %

Распределение объектов инфраструктуры по виду основания для их эксплуатации приведено в таблице 1.10

Таблица 1.10 – Распределение объектов инфраструктуры по виду основания для их эксплуатации

Вид сооружений	Единица измерения	Общие количественные характеристики	Эксплуатация на основании договора аренды		Эксплуатация на основании концессионного соглашения	
			Количество	Доля объектов, %	Количество	Доля объектов, %
Водозаборные сооружения	тыс. ед.	81,7	13,8	16,9	5,2	6,4
Сооружения водоподготовки	тыс. ед.	9,6	1,0	10,4	0,4	4,2
Водонасосные объекты	тыс. ед.	19,1	4,5	23,6	1,4	7,33
Сети водоснабжения	тыс. км.	546,4	149,5	27,4	35,2	6,4

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что преобладающее количество объектов инфраструктуры водоснабжения

эксплуатируется на основании права хозяйственного ведения, права оперативного управления или иных правах, что не отвечает положениям [8].

1.3.6 Экономическая характеристика предприятий водоснабжения

В рамках оценки проводился анализ финансово-экономического состояния предприятий водоснабжения и инвестиционного потенциала отрасли водоснабжения в регионах. Согласно данным оценки по итогам 2018 года из 6996 предприятий 2685 предприятий (38,4 %) осуществляют свою деятельность с убытками, размер убытков за отчетный период составил 11,7 млрд. рублей [5,152]. Наибольшая доля убыточных предприятий (52,6 %) выявлена в Дальневосточном федеральном округе, размер убытков по округу составил 3,25 млрд. рублей, причем 2 млрд. рублей приходится на Чукотский автономный округ. Для отдельных регионов наибольшая доля убыточных предприятий выявлена на следующих территориях (табл.1.11):

Таблица 1.11 – Убыточность предприятий водоснабжения

Субъект Российской Федерации	Число предприятий водоснабжения, единиц	Число убыточных предприятий водоснабжения, 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

При этом в Калужской области, г. Севастополе и Республике Хакасия все предприятия являются прибыльными, в Республике Татарстан прибыльно 90,9 % предприятий (110 из 121).

Оценка инвестиционной деятельности в сфере водоснабжения по данным, предоставленным субъектами Российской Федерации, показала, что в Российской Федерации по состоянию на 2018 год утверждено 516 инвестиционных программ с общим объемом финансирования 134,4 млрд. рублей. Учитывая, что указанный объем инвестиций значительно превзошел ожидаемый уровень, была проведена дополнительная верификация информации как по альтернативным источникам данных, так и непосредственно во взаимодействии с регионами, представившими данные

сомнительной достоверности. В результате верификации было установлено, что по ряду субъектов (Белгородская, Архангельская, Вологодская, Нижегородская, Челябинская, Свердловская области, Республика Саха (Якутия), Пермский край и другие) были допущены ошибки в указании объемов финансирования, предусмотренных инвестиционными программами. Ошибки заключались преимущественно в указании финансирования не за отчетный период, а за весь период реализации инвестиционных программ, имеющихся в наличии по состоянию на 2018 год. Кроме того, ряд субъектов допустил включение объемов финансирования, предусмотренных разделами инвестиционных программ в сфере водоотведения. В связи с этим данные об объемах финансирования в рамках инвестиционных программ подлежат уточнению в последующие отчетные периоды оценки. В качестве оценочного значения может приниматься объем финансирования, указанный Федеральной антимонопольной службой в рамках работы по верификации данных. Согласно указанным данным объем финансирования, предусмотренный инвестиционными программами в сфере водоснабжения за 2018 год, составил 38,6 млрд. рублей.

1.3.7 Техническое состояние объектов инфраструктуры водоснабжения

В качестве одного из ведущих показателей состояния инфраструктуры водоснабжения, влияющего на эффективность эксплуатации и качество оказываемых услуг, рассматривается уровень износа. Уровень износа в рамках оценки определялся для основных структурных элементов систем водоснабжения: водозаборов, водопроводных очистных сооружений (сооружений водоподготовки), насосных объектов и сетей. Значительный уровень износа как амортизационного (бухгалтерского), так и физического накоплен сетевыми объектами. Данный показатель для сетей водоснабжения в целом по Российской Федерации составил 69,54 % по бухгалтерскому учету и 69,24 % по уровню физического износа.

В отношении износа водозаборных сооружений данные показатели составляют соответственно 72,3 % и 68,35 %; износ сооружений

водоподготовки – 41,38 % и 49,7 %, износ водонасосных объектов – 55,96 % и 51,63 %. Более быстрое изнашивание сетей обусловлено меньшим нормативным сроком эксплуатации сетевых объектов и их значительной протяженностью.

Малое расхождение значений амортизационного и физического износа сетевых объектов обусловлено сложностью проведения оценки технического состояния подземных коммуникаций (таблица 1.12). При невозможности визуальной оценки технического состояния трубопроводов необходимо инструментальное обследование, что влечет дополнительные затраты для эксплуатирующих организаций. В связи с этим данные инвентаризации дают основания полагать, что по ряду субъектов в полном объеме (по значительной части субъектов в разрезе отдельных муниципальных образований) в качестве основы для оценки физического износа сетей использованы данные бухгалтерского учета.

Таблица 1.12 – Значения амортизационного и физического износа сетевых объектов

Наименование субъекта	Амортизационный износ сетей водоснабжения, %	Физический износ сетей водоснабжения, %	Совпадение по муниципальным образованиям
Республика Мордовия	76,83	76,83	23 из 23
Алтайский край	72,84	72,85	67 из 69

Также данные об уровне физического износа сетей водоснабжения в значительной степени сопоставимы с данными о наличии вторичного загрязнения питьевой воды при транспортировке. В таблице 1.13 приведены данные о наличии вторичного загрязнения воды для регионов с наибольшим уровнем физического износа сетей.

Таблица 1.13 – 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	2	3	4
1	Республика Тыва	84,67	да
2	Новгородская область	82,44	нет
3	Ленинградская область	82,00	да
4	Забайкальский край	81,15	нет

Продолжение таблицы 1.13

1	2	3	4
5	Ставропольский край	80,60	да
6	Тверская область	79,87	да
7	Липецкая область	79,82	нет
8	Калининградская область	78,90	да
9	Псковская область	78,82	Нетданных
10	Тамбовская область	77,88	да
11	Республика Мордовия	76,83	да
12	Республика Карелия	76,61	да
13	Карачаево-Черкесская Республика	76,37	да
14	Рязанская область	75,93	да
15	Орловская область	75,82	да

Прирост доли проб, выявляющих микробиологическое загрязнение, может быть обусловлен захватом дополнительного загрязнения из почвы. По регионам, в которых прироста выявленных нарушений не фиксируется, в сети водоснабжения подается вода, уже имеющая значительные отклонения от нормативных показателей.

Территорий с уровнем износа сетей водоснабжения менее 40 % в Российской Федерации нет. Для регионов самый меньший уровень физического износа сетевых объектов в Тюменской области – 44,1 %, Кемеровской области – 48,49 %, Сахалинской области – 50,08 %, Республике Саха (Якутия) – 55,29 %, а также Владимирской области – 56,05 %. Это в целом может являться как следствием более «молодого» возраста коммунальной инфраструктуры, так и следствием наличия финансовых ресурсов на ее модернизацию. Согласно [49], технологическое оборудование, имеющее технический (физический) износ:

- от 61 до 80 % – находится в аварийном состоянии и опасно в эксплуатации: имеет риск нарушения работы сетей или подвергает опасности жизнь и здоровье обслуживающего персонала. Данное оборудование не может эксплуатироваться без постоянного надзора;
- от 81 до 100 % – оборудование, включение которого невозможно и (или) опасно для сетей, и (или) жизни и здоровья обслуживающего персонала. Эксплуатация такого оборудования неминуемо приведет к аварии и (или) такое оборудование физически невозможно включить в работу.

В таблицах 1.14-1.16 представлены данные регионов, наиболее высокий уровень износа, превышающий критический, наблюдается на следующих территориях:

Таблица 1.14 – Данные по уровню физического износа водозаборов

№	Наименование субъекта	Уровень физического износа, %
1	Новгородская область	86,88
2	Ярославская область	85,01
3	Псковская область	83,27
4	Томская область	83,27
5	Смоленская область	83,72
6	Волгоградская область	80,34
7	Республика Мордовия	80,16

Таблица 1.15 – Данные по уровню физического износа объектов водоподготовки

№	Наименование субъекта	Уровень физического износа, %
1	Ленинградская область	83,81
2	Ярославская область	78,16
3	Тульская область	77,21
4	Республика Крым	75,78
5	Архангельская область	75,69

Таблица 1.16 – Данные по уровню физического износа насосного оборудования

№	Наименование субъекта	Уровень физического износа, %
1	Республика Крым	80,36
2	Республика Мордовия	78,58
3	Республика Тыва	77,50
4	Еврейская автономная область	76,93
5	Республика Марий Эл	76,92

По другому основанию классификации, исходя из федеральных округов, данные представлены в таблицах 1.17-1.20. По перечисленным регионам сформирована балльная шкала для общей оценки:

Таблица 1.17 – Данные по уровню физического износа по сетям водоснабжения:

Федеральный округ	% износа	Балл
Уральский федеральный округ	61,72 %	1 балл
Дальневосточный федеральный округ	64,05 %	2 балла
Сибирский федеральный округ	65,60 %	3 балла
Приволжский федеральный округ	66,64 %	4 балла

Продолжение таблицы 1.17

Центральный федеральный округ	70,45 %	5 балла
Южный федеральный округ	72,87 %	6 балла
Северо-Кавказский федеральный округ	74,33 %	7 балла
Северо-Западный федеральный округ	75,84 %	8 баллов

Таблица 1.18 – Данные по уровню физического износа по водозаборным сооружениям:

Федеральный округ	% износа	Балл
Уральский федеральный округ	61,95 %	1 балл
Приволжский федеральный округ	62,46 %	2 балла
Дальневосточный федеральный округ	66,74 %	3 балла
Северо-Кавказский федеральный округ	67,38 %	4 балла
Сибирский федеральный округ	68,80 %	5 балла
Центральный федеральный округ	71,10 %	6 балла
Южный федеральный округ	73,56 %	7 балла
Северо-Западный федеральный округ	76,24 %	8 баллов

Таблица 1.19 – Данные по уровню физического износа по сооружениям водоподготовки:

Федеральный округ	% износа	Балл
Приволжский федеральный округ	33,86 %	1 балл
Сибирский федеральный округ	36,96 %	2 балла
Уральский федеральный округ	43,68 %	3 балла
Дальневосточный федеральный округ	55,10 %	4 балла
Центральный федеральный округ	59,43 %	5 балла
Северо-Кавказский федеральный округ	61,19 %	6 балла
Северо-Западный федеральный округ	62,19 %	7 балла
Южный федеральный округ	68,31 %	8 баллов

Таблица 1.20 – Данные по уровню физического износа насосных объектов:

Федеральный округ	% износа	Балл
Уральский федеральный округ	40,74 %	1 балл
Северо-Западный федеральный округ	44,46 %	2 балла
Северо-Кавказский федеральный округ	44,93 %	3 балла
Сибирский федеральный округ	48,94 %	4 балла
Дальневосточный федеральный округ	49,54 %	5 балла
Приволжский федеральный округ	52,89 %	6 балла
Центральный федеральный округ	55,87 %	7 балла
Южный федеральный округ	63,60 %	8 баллов

По совокупности показателей наименьший физический износ имеет инфраструктура водоснабжения на территории регионов, относящихся к Уральскому федеральному округу (6 баллов), наибольший – на территории регионов, относящихся к Южному (29 баллов) и Северо-Западному (25 баллов) федеральным округам. Следует отметить, что с 2018 года оценка износа коммунальной инфраструктуры исключена из Федерального плана статистических работ на основании [50].

Еще одним важным показателем технического состояния систем водоснабжения, напрямую связанным с показателями надежности и бесперебойности услуг водоснабжения, является аварийность. Всего за отчетный год по информации субъектов Российской Федерации произошло 107,8 тыс. аварий, из которых 21,4 тысячи – на объектах водоснабжения (19,8 %) и 86,4 тысячи – на водопроводных сетях (80,2 %).

В относительных показателях:

- в течение года произошла 1 авария на каждые 6,3 км сетей (при общей протяженности сетей водоснабжения 546,4 тыс. км);
- ежедневно происходило 295 значимых аварийных ситуаций в целом по России или 3,6 аварийных ситуации в среднем на 1 регион, из них 2,8 – по причине неудовлетворительного технического состояния водопроводных сетей.

В сопоставлении с данными статистики по форме «1-водопровод» за 2018 год оценка показала превышение статистических данных по аварийности на 64 %, что, равно как и значительная разница в показателях по отдельным регионам, может быть обусловлено различными подходами к оценке значимости аварийной ситуации. В рамках оценки было предложено указать число аварий, повреждений и иных технологических нарушений, повлекших перерывы в подаче воды. При этом в [51] указано, что допустимая продолжительность перерывов в поставке воды потребителям не должна превышать 8 часов (суммарно) в течение месяца или 4 часов одновременно. Нижний предел перерыва нормативно не определен, в связи с

чем в общую численность аварийных ситуации могли быть включены как длительные (от 4 до 12 часов), так и кратковременные перерывы. В то же время правилами формирования статических показателей по форме «1-водопровод» определено, что к учету принимаются перерывы в подаче воды продолжительностью более 8 часов.

1.3.8 Качество воды

Согласно результатам оценки наиболее высокий уровень загрязненности воды наблюдается на источниках водоснабжения – не выявляются загрязнения на источниках только в 2 регионах: Республика Алтай и Кабардино-Балкарская Республика.

К преобладающим загрязнениям относятся санитарно-химические показатели — общая минерализация, мутность, жесткость и т.д. В целом по России данный вид загрязнений присутствует в 21,2 % проб воды на источниках в целом по Российской Федерации. По отдельным регионам отклонения по физико-химическим показателям фиксируются в подавляющем количестве проб: Ненецкий автономный округ (84,9 % проб), Ханты-Мансийский автономный округ (73,7 %), Калужская область (67,3 %) и Республика Мордовия (65,6 %).

На порядок ниже, как правило, уровень выявления бактериальных загрязнений – доля проб с выявлением микробиологического загрязнения в целом по РФ не превышает 3,77 %. При этом по ряду регионов данные загрязнения фиксируются более чем в 1/10 доле проб. Наиболее сложная ситуация с микробным загрязнением источников водоснабжения, что подтверждается долей проб, выявляющих нарушения, в Ленинградской области – 21,6 %, Карачаево-Черкесской республике – 20,6 %, Еврейской автономной области – 19,35 %, Хабаровском крае – 16,1 %, Республике Дагестан – 15,3 %, Республике Саха (Якутия) 12,3 % и Новгородской области – 10,7 %.

По отдельным субъектам Российской Федерации фиксируется значимый уровень паразитологического загрязнения на источниках при

среднем уровне выявления данных загрязнений по Российской Федерации в 0,36 % проб. Это Республика Карелия (10 % проб с нарушениями), Архангельская область (6,25 %), Тюменская область (3,85 %), Республика Калмыкия (2,38 %) и Приморский край (2,35 %). Это может являться следствием отсутствия надлежащим образом организованных зон санитарной охраны источников водоснабжения (ЗСО), в результате чего может происходить загрязнение водных объектов поверхностным стоком либо подземных водных горизонтов инфильтрационными водами.

Также для ряда субъектов характерно фоновое радиологическое загрязнение: Челябинская область (19,17 % проб), Забайкальский край (13,52 %), Курская область (6,25 %), Оренбургская область (4,06 %) и Приморский край (2,35 %). По остальным регионам данный вид загрязнения фиксируется в незначительном количестве проб (менее 2 %), в водных источниках большей части субъектов Российской Федерации (62 региона) данный вид загрязнения отсутствует полностью. Перечень субъектов с наибольшим количеством проб с нарушениями на источниках водоснабжения приведен в таблице 1.21.

Таблица 1.21 – Перечень субъектов с наибольшим количеством проб с нарушениями на источниках водоснабжения

Наименование субъекта Российской Федерации	Общий уровень выявления загрязнений в источниках	Доля проб с выявлением нарушений санитарных норм по							
		санитарно-химическим показателям		микробиологическим показателям		паразитологическим показателям		радиологическим показателям	
		доля проб	балл	доля проб	балл	доля проб	балл	доля проб	балл
Республика Карелия	162	46,7	73	8,8	65	10	24	0	0
Республика Калмыкия	154	42,1	70	8,5	63	2,4	21	0	0
Ленинградская область	142	40,1	68	21,6	74	0	0	0	0
Калужская область	141	67,3	77	8,7	64	0	0	0	0
Новгородская область	141	47,5	74	10,7	67	0	0	0	0
Еврейская автономная область	137	37	65	19,3	72	0	0	0	0
Ненецкий автономный округ	137	84,9	79	6,4	58	0	0	0	0

На этапе очистки воды на водопроводных очистных сооружениях в среднем по России уровень загрязненности снижается. Доля проб с выявлением отклонений по санитарно-химическим показателям снижается на 6,57 % (выявляемость в среднем по России составляет 14,66 %), по

микробиологическим показателям на 0,83 % (выявляемость в среднем по России составляет 2,94 %).

При соблюдении установленных требований к осуществлению контроля качества воды снижение доли проб, выявляющих загрязнения, может служить оценкой эффективности водоподготовки. Однако этот показатель применим при значительном объеме воды, прошедшей очистку. При отсутствии водоподготовки загрязнения фиксируются уже на сетях водоснабжения, и данная характеристика не столь показательна. Ниже (таблица 1.22) приведены данные об эффективности водоподготовки в субъектах Российской Федерации, где очистке подвергается более 85 % от объема воды, забранной из источников. Из приведенной таблицы видно, что эффективной очистка является в Астраханской области; достаточно высокая эффективность водоподготовки в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах. Необходимо отметить, что данная таблица не дает возможности оценить технологии водоподготовки, т.к. не отвечает на вопрос, от каких веществ очищают воду. По имеющимся данным, например, в г. Астрахань высокоцветная волжская вода требует для очистки титанических усилий и вторичное загрязнение там просто не показывается производственным контролем, т.к. вещества не входят в перечень прямо контролируемых.

Более низкие показатели по эффективности водоподготовки и прирост доли проб с нарушениями по прочим регионам формируются за счет отдельных муниципальных районов и городских округов, что указывает на необходимость повышения эффективности работы местных водопроводных очистных сооружений.

Данные замеров качества воды в разводящих сетях показали тенденцию к вторичному загрязнению питьевой воды при транспортировке. На сетях водоснабжения прирост выявления загрязнений по санитарно-химическим показателям в целом по Российской Федерации оценивается на уровне 1,95 %, по микробиологическим – прирост на уровне 0,92 %.

Таблица 1.22 – Данные об эффективности водоподготовки

Объемные показатели очистки воды:			Доля проб, выявляющих нарушения по санитарно-химическим показателям			Доля проб, выявляющих нарушения по микробиологическим показателям		
Поднято млн. м ³	Прошло очистку, млн. м ³	Доля очищенной воды, %	На источнике	Перед подачей в СПВ	Снижение уровня выявления, %	На источнике	Перед подачей в СПВ	Снижение уровня 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	10,38	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	20,63	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
11. Псковская область								
32,7	29,9	91,3	-	-	-	-	-	-

Ухудшение санитарно-химических показателей качества воды [5,151] наблюдается в 56 субъектах, микробиологических – в 62 субъектах; из них в 50 наблюдается ухудшение воды по совокупности показателей. По ряду субъектов (Республика Ингушетия, Республика Марий Эл, Республика Алтай) при отсутствии загрязнений в воде до подачи ее в сеть при транспортировке наблюдается ухудшение качества воды одновременно по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. В Астраханской области на сетях наблюдается ухудшение качества нормативно очищенной воды по микробиологическим показателям, причем прирост (5 % проб с отклонениями) дают исключительно сети водоснабжения города Астрахани, физический износ согласно отчету региона, составил 91,7 %.

С целью унификации расчетов в ходе оценки применена [12], утвержденная Роспотребнадзором 27 марта 2019 года. В качестве основы для вычисления показателей использованы данные о численности населения,

обеспеченного качественной питьевой водой, и численности населения, обеспеченного питьевой водой в целом.

По результатам оценки численность населения Российской Федерации, обеспеченного питьевой водой, составила 127446,93 тыс. человек (на момент проведения оценки использовались оперативные данные Росстата о численности населения субъектов Российской Федерации). Численность населения, обеспеченного качественной питьевой водой из СПВ, составила 103912,74 тыс. человек, что составляет 81,53 % от численности населения, обеспеченного питьевой водой – оценочный уровень целевого показателя федерального проекта. По данным, представленным регионами, наиболее высокий уровень обеспеченности населения качественной питьевой водой из ЦСВ наблюдается в следующих субъектах Российской Федерации:

1. Мурманская область – 99,91 %;
2. Камчатский край – 98,81 %;
3. Астраханская область – 98,0 %;
4. Город Севастополь – 97,51 %.

Субъекты Российской Федерации с наиболее низким уровнем обеспеченности населения качественной питьевой водой из СПВ:

1. Республика Калмыкия – 7,95 %;
2. Республика Тыва – 23,3 %;
3. Вологодская область – 43,71 %;
4. Республика Бурятия – 46,11 %.

Для оценки обеспеченности городского населения качественной питьевой водой из СПВ использовалась численность городского населения, обеспеченного качественной питьевой водой из СПВ (81 393,2 тыс. человек), и численность городского населения, обеспеченного питьевой водой (91628,9 тыс. человек). Оценочный уровень данного показателя составил 88,83 %.

По данным, представленным регионами, наиболее высокий уровень обеспеченности городского населения качественной питьевой водой наблюдается в следующих субъектах Российской Федерации:

1. Курская область – 100 %;
2. Республика Адыгея – 100 %;
3. Камчатский край – 99,93%;
4. Мурманская область – 99,91 %;
5. Алтайский край – 98,89 %.

Наиболее низкий уровень обеспеченности городского населения качественной питьевой водой в следующих субъектах Российской Федерации:

1. Республика Тыва – 44,95 %;
2. Вологодская область – 51,91 %;
3. Свердловская область – 56,41 %.

В разрезе федеральных округов наилучшие показатели имеют — Центральный (85,53 %), что может быть обусловлено высокой степенью урбанизации, и Сибирский федеральный округ (85,82 %), что может быть обусловлено наличием значительных водных ресурсов высокого качества.

В целом более высокая обеспеченность населения водой наблюдается в европейской части России – Центральном, Южном и Приволжском федеральных округах. Для данных территорий характерна высокая плотность и компактность проживания людей, что способствует значительному охвату населения централизованным водоснабжением, что, как следствие, создает условия для обеспечения более высокого качества услуг.

Самый низкий показатель — 67,98 % — наблюдается в Дальневосточном федеральном округе, что обусловлено значительной протяженностью территорий субъектов и невозможностью обеспечить значительную часть населения централизованным водоснабжением с применением соответствующих технологий водоподготовки.

Следует отметить, что за рамками оценки осталось население, не являющееся потребителем услуг водоснабжения в формах, предусмотренных действующим законодательством. Совокупная численность указанного

населения составила 1 491,6 тыс. человек, что составляет 1,16 % от общей численности населения Российской Федерации.

1.4 Основные факторы, определяющие безопасность и надежность процессов обеспечения населения питьевой водой

Вопросы надежности и безопасности СПВ нами исследовались в срезе обеспечения технологической надежности [5,11] и санитарной безопасности [28,29]. Согласно пункту 4 статьи 2 [8] под холодным водоснабжением понимается водоподготовка, транспортировка и подача воды абонентам с использованием централизованных или нецентрализованных систем холодного водоснабжения. Основные вопросы, решаемые при определении факторов безопасности и надежности систем водоснабжения, относились к корректному выбору источников питьевого водоснабжения, подбору соответствующих технологий, решению вопросов гидравлической надежности систем и обеспечению качества питьевой воды.

1.4.1 Требования к водным источникам.

Водные источники относят к источникам питьевого водоснабжения, исходя из требований соответствия нормам экологического и санитарного законодательства. Показатели водного источника могут быть оценены с использованием [5,9,25]. Источники водоснабжения делятся на поверхностные и подземные. Выбор, получение разрешения на использование источника водоснабжения и обеспечение мероприятий, направленных на сохранение качества источника водоснабжения населенного пункта или предприятия [9], регулируется санитарным законодательством в случае поверхностного источника, а в случае подземных источников необходимо выполнять требования законодательной базы по недропользованию [52]. Характеристика и класс водного источника определяет исходное основание для выбора технологических решений [9]. Общим для всех типов источников питьевого водоснабжения является необходимость формирования зон санитарной охраны и соблюдение

режимов соответствующих поясов [8]. Недостатком существующей классификации водных источников является практическая невозможность их использования, если качество воды не отвечает требованиям питьевого законодательства. Таким образом, далеко не в полной мере учитывается возможность корректировки качества воды водного источника для обеспечения нужд питьевого водоснабжения.

1.4.2 Классификация возможных загрязняющих веществ в питьевой воде во взаимосвязи с технологическими принципами их удаления

Исследования, посвященные вопросам присутствия загрязняющих веществ в питьевой воде, методам их удаления, а также формированием допустимых уровней присутствия представлены в значительном количестве работ [1-6,17,24,27,233]. Основной задачей для текущего принципа построения систем водоснабжения является не превышение установленных уровней [29] допустимых концентраций загрязняющих веществ в питьевой воде. Таким образом теоретически обеспечивается санитарная надежность систем питьевого водоснабжения. Вместе с тем, по исследованиям [27] следует обратить внимание на тот факт, что загрязняющих вещества, присутствующие в воде оказывают разное воздействие на здоровье человека даже в том случае, когда имеют одинаковый класс опасности [26,32,53.54]. Оценка потенциальных рисков для здоровья человека в зависимости от экспозиции различных загрязняющих веществ в питьевой воде может оцениваться по рекомендациям [13,28,29]. Учитывая возможность такого анализа при формировании программ модернизации и реконструкции систем водоснабжения, в дальнейших главах настоящей работы проведены соответствующие расчеты для оценки возможности присутствия различных загрязняющих веществ в питьевой воде. Тем не менее, такая оценка практически не проводится и на сегодняшний день, в рамках отраслевого санитарного законодательства, подходы к организации контроля качества питьевой воды основываются исключительно на соблюдении соответствующих ПДК [29].

Для измерения количества загрязняющих веществ в воде предусматривается контроль качества воды методами лабораторных исследований. В системах централизованного водоснабжения контроль проводится непосредственно организациями, поставляющими питьевую воду потребителям и контролирующими органами Роспотребнадзора, в рамках социально-гигиенического мониторинга и мероприятий санитарного надзора. Основное требование к измерениям качества воды заключается в том, чтобы уровни не превышали норматив более чем на величину допустимой ошибки метода определения (см. статью 23, п.4 [8]). Контроль качества питьевой воды осуществляется посредством прямых измерений присутствия загрязняющих веществ и сравнения обнаруженных концентраций с ПДК для питьевой воды [26]. Для выбора рационального и эффективного плана контроля качества воды необходим учет следующих аспектов:

- Выбор показателей качества и значений уровня несоответствия
- Риск-ориентированный подход к оценке качества питьевой воды, подаваемой потребителям (населению)
- Возможность и целесообразность непрерывного контроля с целью оперативного принятия управленческих решений при несоответствиях. [5,29]

На основании ст. 23 п. 5 [8] если средние уровни показателей проб питьевой воды после водоподготовки, отобранных в течение календарного года не соответствуют нормативам качества питьевой воды, органы местного самоуправления обязаны осуществлять мероприятия по приведению качества питьевой воды в соответствие с установленными требованиями. Это напрямую связано с капитальными вложениями в технологию и инфраструктуру водоподготовки и дальнейшими эксплуатационными расходами [4,5,6]. Количество и периодичность проб воды (табл. 1), отбираемых для лабораторных исследований, перечень показателей присутствия неорганических и органических веществ в воде на водозаборе (водном источнике) и перед подачей в распределительную сеть,

устанавливаются в [26]. Представляется весьма вероятным, что объем и уровень контроля качества воды водных источников не является корреспондирующим основанием выбора технологии водоподготовки. Подход к комплексной оценке результатов всех видов контроля качества воды (производственного, в том числе и с помощью приборов он-лайн, социально-гигиенического мониторинга), при условии стабильно (без нарушений) функционирующей эффективной технологической системы водоподготовки гарантирует, что вода, обеспечиваемая конкретной системой водоснабжения, безопасна для питья. Комплексный контроль охватывает все этапы водоснабжения – от «забора» воды до ее очистки, хранения и подачи населению. [28,29]

В нормативной правовой базе отраслевого и санитарного законодательства [26,55] отсутствуют основания для использования систем онлайн контроля качества воды в рамках производственного контроля. По мнению автора настоящей работы, особенно актуально получение оперативной информации о качестве воды. Выбор технологических решений питьевой водоподготовки осуществляется на основании данных о присутствии загрязняющих веществ с учетом их свойств и является, как правило, системой с прямой связью, т.е. жестко детерминируется входными характеристиками воды. Несовершенство и недостаточность входных данных не компенсируется текущим контролем качества, следовательно, при ухудшении качества воды технологии водоподготовки могут не справиться с задачами обеспечения безопасности питьевого водоснабжения.

Общие принципы выбора технологий представлены на рисунке 1.2. Представленные на рисунке 1.2 данные по свойствам загрязняющих веществ, определяющих выбор технологии, основаны на работах [1,2,3,4,5,6,11,28,29,234-236], при этом выбор технологии основан на соответствии требованиям действующего законодательства в области технического регулирования.

Свойства, определяющие разделение

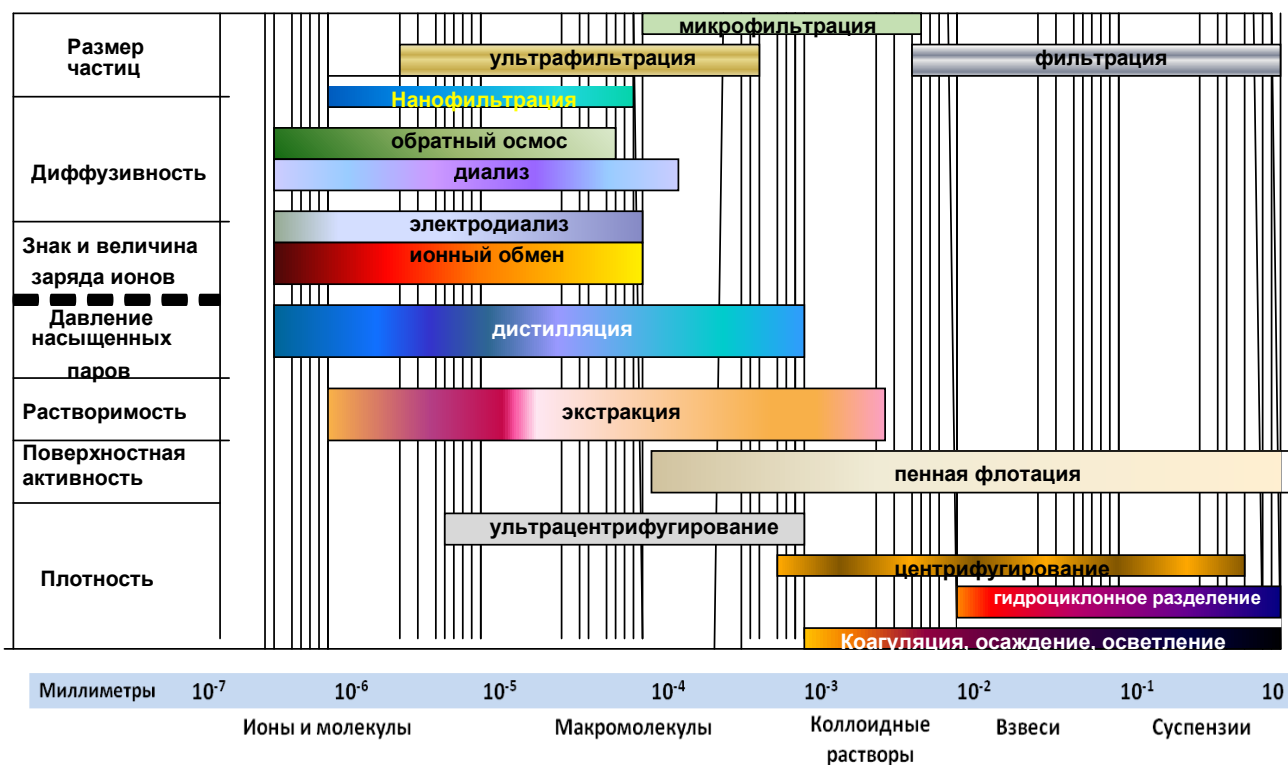


Рисунок 1.2 – Диапазон свойств загрязняющих веществ и возможности методов их удаления

1.4.3 Выделение составляющих, определяющих экологическую, санитарную и технологическую надежность и безопасность питьевого водоснабжения

Вопросы обеспечения санитарной безопасности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения рассматривались в работах [1,4,28]. Проведенные ранее исследования [5,30] показали необходимость формирования технических регламентов работы сооружений водоподготовки и систем в целом, определили основные требования к последовательности технологических операций удаления из воды загрязняющих веществ и требования к обеззараживанию воды. На основании проводимых исследований происходит формирование технической регламентации процессов водоснабжения, разработка и совершенствование соответствующих строительных правил, в т.ч. на основании изменения

технологическая надежность систем водоподготовки не учитывает необходимость и достаточность поддержания качества воды в распределительных системах, вероятность нарушения регламентных процессов на сооружениях и прогнозов по качеству воды в водных источниках.

1.4.4 Представление подходов, направленных на перспективное повышение качества и безопасности питьевой воды централизованных систем водоснабжения

Современные международные стандарты для питьевой воды содержатся в [17]. Риск-ориентированная модель является центральным звеном Руководства по качеству питьевой воды ВОЗ [17], что обуславливает необходимость комплексного анализа современных международных стандартов в контексте их перспектив для интеграции в российскую систему очистки поверхностных вод. Риск-ориентированная модель также является неотъемлемой частью Директивы Европейского Союза [56], международных стандартов качества [57].

Сегодня в связи с растущим валовым потреблением воды в мире и уменьшением её запасов проблеме водоснабжения уделяется особое внимание. Повсеместно происходит снижение стандартов уровня загрязнения для питьевой воды, увеличивается допустимое содержание патогенных веществ, некоторые из них не фигурируют в национальных системах контроля качества. Вода, которая сегодня доставляется конечным потребителям в регионах РФ, как правило, не подходит для употребления в пищу без дополнительной очистки.

В соответствии с Руководством [17] риск-ориентированная модель основывается на следующих принципах:

1. Новая система оценки качества воды. Классическая, строго регламентированная оценка качества воды, которая сегодня применяется в России, является неэффективной. Риск-ориентированная модель основывается на проведении разносторонней и «гибкой» оценки качества питьевой воды в целях обеспечения высоких стандартов питьевой воды.

2. Оптимизация стандартов качества и способа взятия проб. Показатели качества питьевой воды являются основополагающими факторами для функционирования не только систем очистки, но и для поддержания всей системы здравоохранения. Необходимо подчеркнуть, что современные российские стандарты качества воды устарели. Эффективная оценка качества питьевой воды непосредственно связана с имплементацией международных стандартов качества и процедур осуществления мониторинга.

3. Анализ структуры водоочистных сооружений. Этот принцип включается в себя проверку их технического состояния, а также систем доставки к конечному потребителю. Риск-ориентированная модель позволяет получить информацию о важнейших составляющих системы водоочистки.

4. Повышение эффективности при проведении санитарных инспекций. Результаты санитарной инспекции являются основным показателем качества воды и эффективности систем очистки вод.

5. Вариативность систем оценки качества воды и методов забора проб. Риск-ориентированная модель позволяет осуществлять оценку рисков в водоснабжении с учетом наиболее соответствующих для конкретного региона параметров. В зависимости от выбранного региона система оценки должна варьироваться. Подобная система позволяет вносить корректировки в порядок отбора проб, частоту сбора и повысить общую эффективность системы.

6. Аккредитация. Система оценки качества воды не должна определять работу всей системы. При оценке качества воды должна проводиться аккредитация водоочистных сооружений на соответствие стандартам риск-ориентированной модели.

7. Специальные методы. Методы оценки качества воды, разработанные в соответствии с риск-ориентированной моделью, в том числе методы санитарно-гигиенического назначения могут частично компенсировать

недостатки лабораторий в отдаленных регионах. Предполагается использование оборудования для проведения исследований на месте забора проб, что также могут улучшить общее качество мониторинга.

8. Повышение надежности водных ресурсов. Риск-ориентированная модель также затрагивает и сами водные источники: качественный мониторинг поможет выявить на ранних этапах проблемы водных источников, определить угрозы для их устойчивого функционирования, ликвидировать риски.

9. Эффективная коммуникация. Создание и разработка систем эффективной коммуникации являются неотъемлемой частью при реализации риск-ориентированной модели.

Общеизвестно, что питьевая вода может быть средством передачи болезней. Именно поэтому обеспечение безопасности питьевой воды имеет жизненно важную функцию для общественного здравоохранения. Каждый поставщик питьевой воды берет на себя ответственность за защиту здоровья населения. Поставщик питьевой воды обязан применять наилучшую международную практику в соответствии с наивысшими достижимыми стандартами [58]. Мониторинг качества питьевой воды на основе риск-ориентированной модели является наилучшей международной практикой в отношении обеспечения безопасности питьевой воды и, следовательно, наиболее важным аспектом для поставщиков. В течение всего XX века качество систем питьевого водоснабжения оценивалось на основании тестирования образцов воды на соответствие обширному списку параметров с определенной частотой, методологией. Значения параметров и показатели соответствия были четко определены в правилах и стандартах. Вода признавалась безопасной, если концентрации химических элементов были в указанных пределах. Тем не менее, подобные «жесткие стандарты», применяемые в качестве единственной меры по оценке безопасности воды, обладают существенным недостатком. В системах водоснабжения постоянно меняется содержание химических элементов, что сказывается на качестве

воды: от незначительных изменений до тяжелых. Подобные изменения в составе могут быть краткосрочными или долгосрочными. Именно в контексте постоянно меняющегося состава воды «жёсткая система» оценки качества обладает рядом недостатков: взятые пробы отражают качество воды только в то время, когда они были собраны и только в конкретной точке сбора проб. Т.е. подобная «жесткая система» не учитывает временные изменения в качестве воды. Переменные загрязнения, вероятно, будут пропущены, что приведет к недооценке риска для здоровья населения. Подобную ситуацию можно проиллюстрировать на примере небольших источников водоснабжения. Правила водоснабжения в Англии 2016 года предусматривают, что для водных источников с производительностью СПВ меньше, чем $100 \text{ м}^3/\text{сутки}$, что эквивалентно примерно 150 домам, пробы должны отбираться два раза в год. Время на забор пробы составляет менее одной минуты, таким образом, две пробы не покажут состояние водного источника в любое другое время. Не важно, насколько короткий интервал между заборами проб, всегда есть неопределенность в отношении качества воды в промежуточный период.

Издание Руководства ВОЗ [17] по качеству питьевой воды представило альтернативу «жесткому» мониторингу - План безопасности. План безопасности подразумевает анализ возможных загрязняющих веществ, которые могут повлиять на водоснабжение, и их последующую оценку. «Жесткий» мониторинг качества воды не был исключен из методов Руководства, но теперь он используется для проверки успешной работы «Плана безопасности»: выявить возможные загрязняющие вещества, подтвердить их через «жесткий мониторинг». Этот подход к управлению водоснабжением был принят в Директиве ЕС [59] по питьевой воде.

Во-вторых, относительно оптимизации стандартов и мониторинга. Вспышки инфекций и заболеваний напрямую связаны с качеством систем водоочистки [60-66], аналогичные выводы содержатся и в Докладе ВОЗ [67]. Например, определение маркерных микроорганизмов, которые указывают на

потенциальную возможность патогенного загрязнения воды не является эффективным. Вместо этого следует использовать ранее обозначенную систему «гибкого» мониторинг для выявления возможных рисков и «классический» мониторинг через забор проб для проверки процесса, чтобы убедиться, что он работает правильно. Помимо этого, необходимо установить эффективную систему контроля в отношении систем водоснабжения. Это избавит систему водоснабжения РФ от сбора лишних проб за счет проведения стратегического анализа, а также поможет отказаться от низкоэффективного сбора маркерных организмов.

В-третьих, риск-ориентированная модель позволяет выстроить систему комплексного сбора и анализа данных, которая может быть представлена в форме таблицы. Проведение «гибких» исследований в отношении водных источников позволит собрать полную статистику в отношении разных видов поверхностных вод в зависимости от загрязняющих факторов, а также в зависимости от географических особенностей местности. В дальнейшем база данных может быть использована для оценки экономической и технической целесообразности при разработке проекта модернизации СПВ.

В-четвертых, проведение санитарных и иных видов инспекций. Современные методы проведения санитарных инспекций могут быть расширены за счет имплементации риск-ориентированной модели. В докладе ВОЗ [67] отмечается, что не было установлено прямой корреляции между загрязнением воды патогенными бактериями (в том числе и термостойкой E.Coli) и общим санитарным уровнем на объекте. При этом функции санитарных инспекций заключаются в том, чтобы:

1. Определить потенциальные источники и точки загрязнения водоснабжения;
2. Количественно определить опасность (провести оценку опасности), связанную с источниками и источником поставки воды;

3. Предоставить наглядные данные для оператора и пользователя в отношении рисков загрязнения на объекте;
4. Дать четкие указания относительно корректирующих действий, необходимых для защиты здоровья и улучшения качества источника;
5. Предоставить исходные данные для стратегического планирования.

Таким образом, становится очевидным, что в «классической» модели санитарные инспекции лишь устанавливают фактор загрязнения на основании сравнительно устаревшего метода. Потенциал инспекций не используется в полном объеме в отношении оценки потенциальных источников загрязнения. Внедрение риск-ориентированной модели помогло бы значительно увеличить эффективность инспекций.

В-пятых, единая структура по оценке систем очистки поверхностных вод в большей степени должна заключаться в аккредитации предложенных способов, а не определять общий механизм действия, как следствие, и общую эффективность систем очистки. В этом случае риск-ориентированная модель должна обеспечить достаточное количество проб в разных погодных условиях. Например, классическая модель за счет отсутствия гибкой системы забора, часто не подразумевает отдельный мониторинг во время ливней и паводков и не учитывает патогенный фактор и временное помутнение воды (рисунок 1.5). В итоге конечный потребитель воды сталкивается с низким качеством воды. Конечно, подобная ситуация в большей степени характерна для небольших поселений, чем ниже плотность населения, тем ниже и количество забора проб. Так в некоторых районах РФ частота забора не превышает 1 пробы на два года. Разумеется, показатели Москвы или других крупных городов значительно выше.

В-шестых, риск-ориентированная модель может значительно повысить безопасность водных источников. Безопасность водных источников является неотъемлемой частью устойчивого развития.

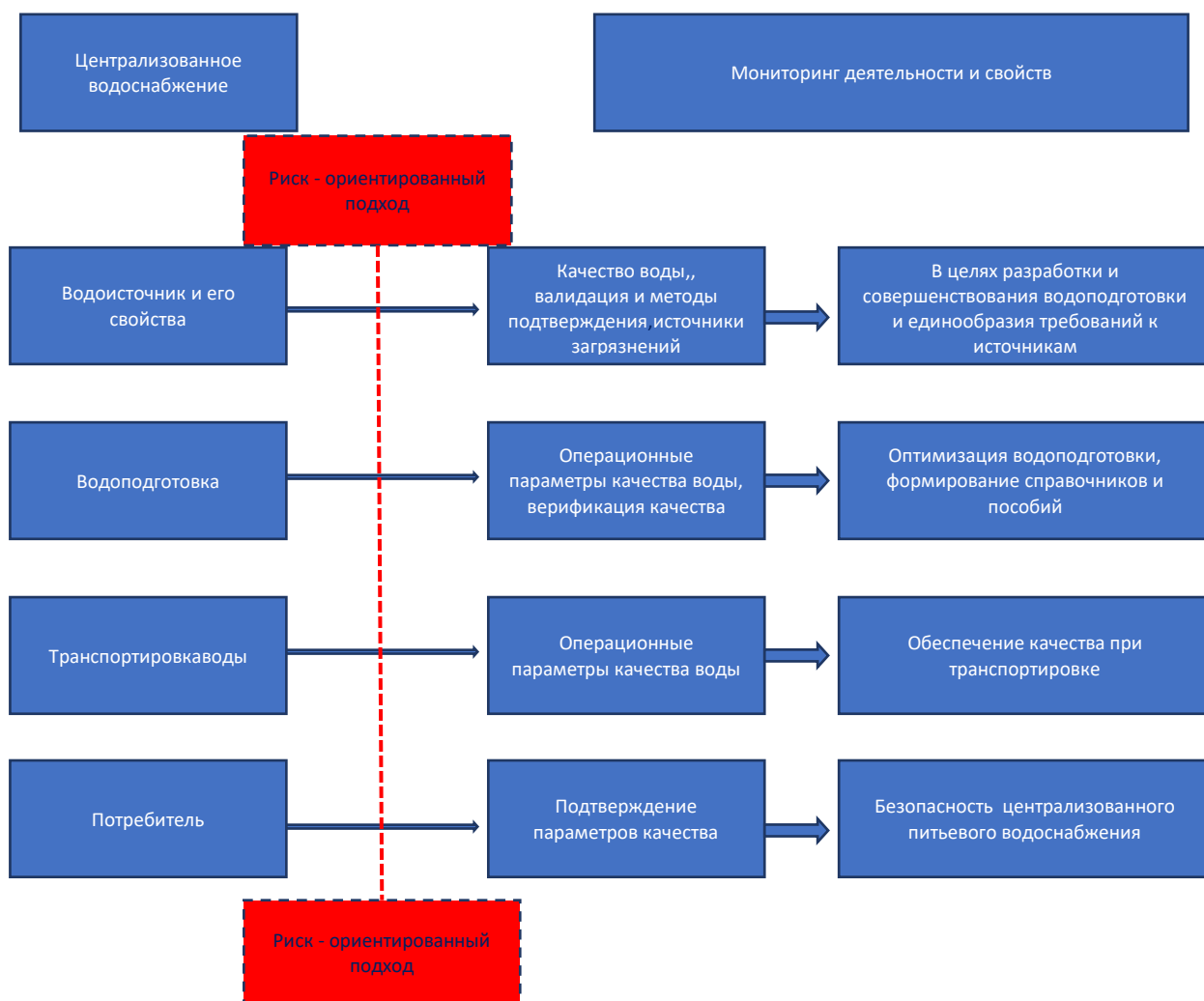


Рисунок 1.4 – Формирование подходов к повышению качества централизованного питьевого водоснабжения

Системы водоснабжения и методы их оценки должны быть адаптивными: как к текущим процессам изменениям климата, так и к будущим последствиям. Прогнозируемое распространение бактерий, наводнения и засухи, окажут неблагоприятное воздействие на инфраструктуру, выраженное в потере водных ресурсов и изменении качества воды, что создаст дополнительную нагрузку на систему водоснабжения [68]. Дальнейшая урбанизация в Российской Федерации и расширение форм промышленной деятельности также приведут к увеличению спроса на воду и усугубят последствия от климатических изменений [239,240].

Риск-ориентированные подходы направлены на принятие стратегических решений. Современные технологии получения питьевой воды статичны и не учитывают динамику изменения климата и состояния

окружающей среды. Как отмечает Д. Бартрам [69], риск-ориентированная модель и имплементация «Планов безопасности» значительно повысит адаптивность отбора проб при изменении климата.



Рисунок 1.5 – Изменение значений мутности водного источника в зависимости от сезона

В-седьмых, создание системы эффективной коммуникации является неотъемлемой частью риск-ориентированной модели. Среди заинтересованных сторон в риск-ориентированной модели: правительство, государственные агентства, корпорации, отраслевые группы, союзы, СМИ, ученые, профессиональные организации, заинтересованные группы и отдельные граждане [70]. Коммуникация в риск-ориентированной модели используется для обмена информацией и для корректировки поведения людей. Необходимо выстроить систему эффективной коммуникации и координации для реализации целей «адаптивного» мониторинга за качеством воды.

Коммуникационные стратегии должны затрагивать:

1. Адекватное обучение персонала для проведения инспекций. Персонал должен быть подготовлен к действиям в чрезвычайных обстоятельствах, а также к рутинному мониторингу.
2. Составление отчетов о результатах измерений и предоставление результатов деятельности для ознакомления соответствующей заинтересованной стороне. Составление и публикацию сводной информации, которая должна быть доступна для потребителей. Например, через годовые отчеты и в интернете;
3. Процедуры быстрого информирования заинтересованных сторон о любых значительных инцидентах в рамках системы питьевого водоснабжения, в том числе уведомление органов здравоохранения.
4. Осуществление связи с общественностью, СМИ и региональными властями;
5. Создание механизмов обратной связи и рассмотрения жалоб пользователей. Риск-ориентированная модель основывается на создании эффективной связи как внутри органов надзора, так и между государственными органами и конечным потребителем.

Таким образом, суммируя информацию, риск-ориентированная модель направлена на повышение общей эффективности систем контроля качества питьевой воды, а именно:

1. Расширение методологии оценки качества воды за счет использования стратегического анализа потенциальных загрязняющих веществ, включая микробиологические и химические. «Жесткий» забор проб предполагается использовать лишь для подтверждения эффективности стратегического анализа.
2. Повышение стандартов качества воды.
3. Приоритезацию разработки программ эпидемиологического надзора. Это облегчит оценку состояния водных источников на местном

уровне, которые, в конечном счете, и определяют общую устойчивость системы и уровень её адаптивности [71].

Современные технологические проблемы, которые стоят перед Россией в рамках федерального проекта «Чистая вода», включая процесс обеспечения эффективной водоподготовки, стерилизации и выбора труб, уже были решены в международной практике с минимальными затратами при использовании дискретных систем. Особый интерес в этом контексте представляет опыт Китая, как страны с (в целом) аналогичной структурой урбанизации, социально-экономическим положением населения, состоянием системы водоснабжения. Весьма интересным может служить опыт создания дискретных систем водоснабжения. Дискретные системы водоснабжения – это системы, где для подачи питьевой воды используется одна трубопроводная система, а другая трубопроводная система подает техническую воду для использования в саду, чистки транспортных средств, промышленного охлаждения и т.д. В свою очередь, международный опыт показывает, что в связи с растущим спросом на питьевую воду, инвестиции в дискретные системы водоснабжения стали очень выгодными [72]. Основными инвесторами выступают строительные компании, осуществляющие управление имуществом, и компании, обеспечивающие технические работы. Стоимость дискретных систем водоснабжения значительно варьируется в зависимости от особенностей процесса очистки воды, пропускной способности и используемых материалов. Строительство систем дискретного водоснабжения для жилого квартала из примерно 3000 семей обойдётся приблизительно в 30 миллионов рублей, что составляет около 20 000 рублей на семью. Эта стоимость является доступной для большинства семей в крупных городах России.

Российские города обладают высоким потенциалом для установки дискретных систем. Аналогичные системы были успешно установлены и эксплуатировались в крупных городах Китая, включая Шанхай, Гуанчжоу и Чэнду ещё в 1990-х годах. Сегодня существует «стандартный» набор

технологии для дискретных систем [72]. В последнее время исследования дискретных систем сосредоточены в основном на использовании передовых процессов очистки, регулировании pH, стерилизации и выборе труб. Как правило, основным этапом подготовки воды для передовых дискретных систем является мембранная фильтрация, которая сегодня в России используется только в Москве и Петербурге.

Типичный процесс предварительной подготовки воды в Китае состоит из: флокуляции и коагуляции, фильтрации на скорых песчаных фильтрах, обеззараживания озоном или фильтрации на активированных углях или комбинации этих процессов. Неприятные запахи, цвета и вредные примеси, такие как органические вещества, коллоиды, тяжелые металлы и побочные продукты дезинфекции, удаляются частично или полностью на этом этапе. В зависимости от характеристик воды, в процессе очистки могут быть использованы технологии мембранной фильтрации, включая микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и обратный осмос. Процесс мембранной фильтрации эффективно удаляет тяжелые металлы, бактерии, вирусы и уменьшает мутность. Тем не менее, pH воды остается низким, т.е. требуется дополнительная корректировка. Озон и ультрафиолетовое излучение являются распространенными методами обеззараживания при подготовке питьевой воды в дискретных системах. Эти два вида обеззараживания не могут обеспечить последствие, а обработанная вода может быть повторно загрязнена в распределительной системе. В качестве возможного решения на китайских дискретных системах используется диоксид хлора. В Китае почти не используются системы электрической дезинфекции из-за их высокой стоимости.

Выбор труб является важной частью при установке дискретной системы, поскольку некачественные системы могут привести к повторному загрязнению воды. По мнению [73] необходимо учитывать широкий спектр параметров при подборе труб, помимо прочности и химической стабильности. В [3] дан расширенный список факторов, а также разработано

руководство по выбору подходящих труб для дискретных систем водоснабжения. Исследование проводилось следующим образом: различные образцы труб погружали в воду с дезинфицирующими средствами, а затем проводили измерения концентрации химических веществ в воде. Результаты исследования показали, что трубы, изготовленные из алюминия и пластика наиболее пригодны для использования в дискретных системах из-за соотношения цены, долговечности и безопасности. К сожалению, данный вид труб значительно меняет вкусовые характеристики воды. Поэтому в рамках возможной интеграции дискретной системы в Российской Федерации необходимо уделить дополнительное внимание подбору труб.

В отношении перспектив для интеграции дискретной системы в России можно сказать следующее: большинство дискретных систем водоснабжения в Китае установлены в гостиницах и в недавно построенных жилых комплексах. С дальнейшей разработкой технологии очистки в дискретных системах стоимость питьевой воды продолжит снижаться. Аналогичную систему интегрирования дискретной системы можно предположить и в России. Тем не менее, доработка проекта «Чистая вода» в соответствии с современными вызовами в сфере очистки водных источников и модернизации системы водоснабжения может значительно ускорить процесс повышения общей эффективности систем водоснабжения в России. Уже сегодня по всему миру системы дискретного водоснабжения устанавливаются в школах, деловых центрах, больницах и т. д. Однако на уровне имплементации систем в России необходимо подчеркнуть, что для подобных систем нет рекомендаций по эксплуатации от Роспотребнадзора. Таким образом, необходимо и далее разрабатывать технологические рекомендации для систем водоснабжения, в особенности в контексте риск-ориентированной модели. Разработка стандартов и принципов эксплуатации приведет к повышению эффективности систем водоснабжения и интеграции наилучшей мировой практики, в том числе и в сфере дискретного водоснабжения.

1.5 Выводы по главе 1 и направление дальнейших исследований

С точки зрения износа сетей и устаревших методов контроля качества воды, текущее состояние систем централизованного питьевого водоснабжения не предполагает каких-либо комплексных решений, программ и ограничивается общими рекомендациями по наиболее актуальным технологиям в сфере очистки и сохранения качества воды водных источников [28.29]. Не учитываются особенности забора проб и метод оценки соответствия воды. Так, соответствие санитарным нормам обусловлено устаревшей системой оценки качества воды. В первую очередь это связано с отсутствием единой технической политики в строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. В отношении загрязнения поверхностных водных источников фактически не учитывается загрязнение имеющихся источников водозабора, которые также являются причинами неудовлетворительного качества работы центрального водоснабжения.

Адаптивность системы сводится к формальному выбору технологии для обновления системы водоснабжения и очистки, но не выполняет конечную цель проекта – повышение качества питьевой воды. Расходы на модернизацию систем очистки без переосмысления процедур контроля качества и взаимодействия основных заинтересованных сторон в итоге приведет к формальному обновлению систем очистки в то время, как потенциал модернизации не будет использован. Обновленные трубы и очистительные станции, во-первых, обойдутся бюджету в колоссальные денежные ресурсы. Во-вторых, новое оборудование не будет учитывать лучшую международную практику в связи с устаревшей системой проведения оценочных мероприятий, что в конечном итоге приведет к повышенному износу вновь введенных сетей и нерациональному использованию водных ресурсов. На уровне региональных властей модернизация столкнется с отсутствием профильных специалистов[237], высокой стоимостью проведения работ, более того, установка

исключительно систем очистки воды до её питьевого состояния во многих регионах является невыгодной, проект не сможет окупить себя или приведет к удорожанию воды.

Исследования будут направлены на повышение общей эффективности систем контроля качества питьевой воды, в частности:

1. Расширение методологии оценки качества воды за счет использования стратегического анализа потенциальных загрязняющих веществ, включая микробиологические и химические параметры. «Жесткий» забор проб предполагается использовать лишь для подтверждения эффективности стратегического анализа.

2. Повышение стандартов качества воды. Необходимо подчеркнуть, что подход к обеспечению надлежащего уровня очистки воды должен учитывать такие аспекты, как вероятность потенциального ущерба от наводнений, наличие альтернативных источников, общая надежность систем водоснабжения, наличие химикатов и материалов для водоподготовки, программы обучения сотрудников, наличие обученного персонала, состояние резервуаров, охрану на объекте, аварийные процедуры, надежность систем связи и наличие лабораторного оборудования.

3. Продвижение более эффективных и устойчивых систем водоснабжения, разработку новых инструментов оценки качества воды[238]. Это облегчит оценку состояния водных источников на местном уровне, которые, в конечном счете, и определяют общую устойчивость системы и уровень её адаптивности [70].

Исследования показали важность системного подхода, основанного на моделях психологии здоровья, для оценки поведенческих факторов и, таким образом, для объяснения практики потребления безопасной воды использования. Включение этих факторов позволяет понимать поведение, обеспечивая, таким образом, инструмент для разработки эффективных кампаний по его изменению. Тарифная политика, являясь заложником политической конъюнктуры, не дает возможность устойчивого развития

водоснабжения и, таким образом, необходимо очень взвешенно подходить к вопросу выбора технологий водоподготовки.

Восприятие потребителем риска и знания о здоровье вряд ли будет основным фактором реализации мероприятий указанного федерального проекта, но, с другой стороны, внедрение в практику риск-ориентированного подхода позволит обеспечить соблюдение гигиенических требований к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Сравнительный анализ технологий водоподготовки на основе использования методологии оценки риска здоровью населения, с учетом перечня опасных событий и, связанных с ним опасных факторов, позволит обосновать выбор наиболее подходящей технологии для конкретных условий [8,27,28,29].

В качестве основы расчета затрат при сравнительном анализе технологий водоподготовки предложено использование механизма оценки стоимости жизненного цикла. Данный инструментарий практически не применяется в РФ. Оценка стоимости жизненного цикла для сооружений водоподготовки должна стать инструментарием, позволяющим выбрать оптимальный вариант сооружений с учетом капитальных и эксплуатационных затрат. [9,28,29] Одновременно с этим полагаем необходимым ввести в систему государственного мониторинга удовлетворенность населения услугами водоснабжения [29], т.к. такой показатель позволит со временем сформировать различные траектории водообеспечения населения безопасной питьевой водой, а выбор решений в области питьевого водоснабжения для конечного потребителя будет основываться на сформированных объективных поведенческих мотивах.

2 Материалы и методы исследования. Методологические и научные основы исследований технологий для нужд обеспечения населения питьевой водой.

В основе методологии исследования в настоящей работе рассматриваются принципиальные основы действующего определения требований к питьевой воде, в т.ч. подходы к оценке водных источников, требования к контролю определяемых показателей и общие принципы оценки предлагаемых технических решений. Автором дополнительно предложена методология формирования синергетической структуры для реализации процессов питьевого водоснабжения. Вместе с тем, в работе обращается внимание на тот факт, что действующая методологическая система исследований процессов питьевого водоснабжения не позволяет объективно оценить формирование требований к источникам питьевого водоснабжения, к формированию программ контроля технологического процесса подготовки питьевой воды и к выбору общей методологии, которая должна быть основой выбора технологий и оценки технико-экономических показателей. Выбор такой методологии должен основываться на максимальной объективности и учитывать риск – ориентированные подходы в целях формирования технологического и гигиенического соответствия питьевого водоснабжения требованиям качества. На рисунке 2.1 представлены общие составляющие процесса водоснабжения, которые учитывались в рамках формирования методологии и проведения исследований автором настоящей работы.

2.1 Методология оценки качества водных источников

Главным критерием загрязненности – содержания в воде загрязняющих примесей, является предельно допустимая концентрация (ПДК). Эта характеристика используется в целях установления степени загрязнения водоисточника, а также дает возможность оценить, можно ли использовать этот водоем для питьевого водоснабжения. ПДК –

утвержденный в законодательном порядке санитарно-гигиенический или рыбохозяйственный норматив [74,75,76]. Оценка состояния водных объектов и выработка соответствующих мероприятий является системной задачей, основанной на текущих принципах оценки воздействия на водный объект [74,241]. Не отрицая системы ПДК, как важной меры сдерживания дальнейшего роста загрязнений, следует признать, что назрела необходимость разработки новых подходов к регулированию и нормированию водохозяйственной деятельности.[74]



Рисунок 2.1 – Формирование методологии для процессов водоснабжения

Однако реализуемый в настоящее время подход, основанный на технологическом нормировании, также вызывает много вопросов [74]. Более того, с 01 января 2019 года [77] декларируется: «Соблюдение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, за исключением технологических нормативов и технических нормативов, должно обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды». Согласно ч. 2 ст. 35 Водного кодекса РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ [78], нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются на основании предельно допустимых концентраций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах. Иных, нормативно закрепленных принципов и

методик определения нормативов допустимого воздействия в настоящее время нет. Таким образом, можно сказать, что вообще не предполагается установление причинно-следственной связи между технологическими нормативами и нормативами качества воды или, другими словами, между промышленной политикой и экологическими аспектами (рисунок 2.2).

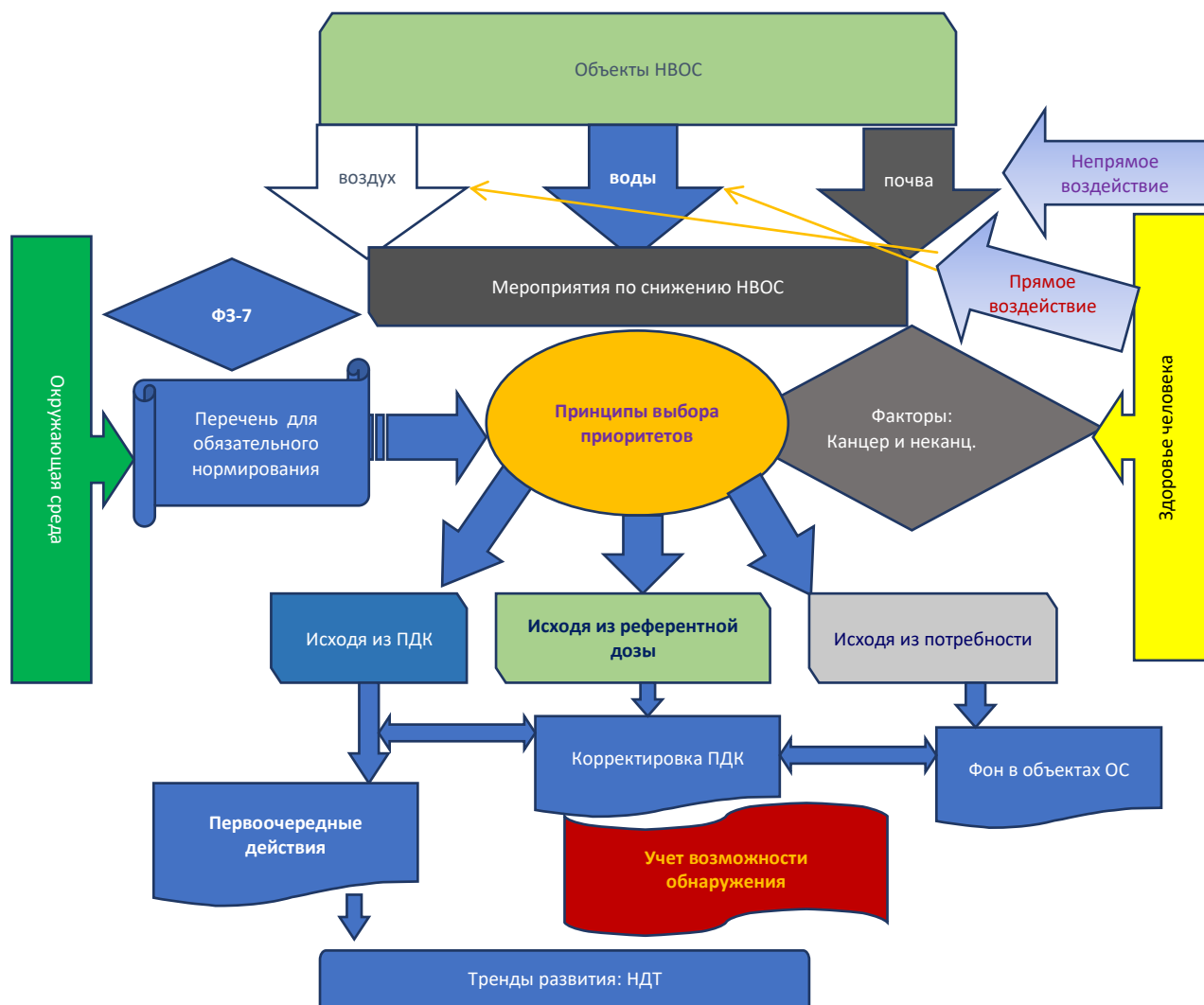


Рисунок 2.2 – Взаимосвязи экологических и технологических требований

Одним из основных принципов европейской водоохранной методологии является тесная взаимосвязь технологических характеристик с экологической оценкой, которая практически не прослеживается в российском экологическом законодательстве, в котором явно возникла потребность в использовании экологических критериев [74,77,82].

Исходя из вышесказанного, а также принимая во внимание необходимость адекватной оценки состояния водных объектов в целях реализации водоохраных мероприятий, нами предложен алгоритм оценки, основанный на параметрах импактного мониторинга по ограниченному перечню базовых (фундаментальных) показателей, который может обеспечить объективную оценку [74,79,80,81]:

- качества воды водных объектов;
- экологического состояния используемых водных объектов и т.п.

Подземные водные источники для нужд питьевого водоснабжения выбираются, исходя из их защищенности и постоянства химического состава воды. Предполагается [83,84], что анализ запасов подземного источника и формируемый объем забора воды поддерживают постоянство качества. При неоднозначности выводов могут использоваться другие гидрохимические и биотические комплексные показатели, например, индекс трофической комплектности (ИТК) [74,85,86].

Таблица 2.1 – Классификация базового показателя антропогенной нагрузки природных вод [74]

Комплексный оценочный показатель (*)	Класс качества воды водных объектов с экологических позиций (*)				
	I	II	III	IV	V
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная
Состояние кризисности экосистемы	Состояние обратимых изменений		Пороговое уязвимое состояние	Состояние обратимых и необратимых изменений	
ПАНб, усл.м ³ /м ³ [ГОСТ Р 57075]	< 4,2	4,2 ÷ 10,8	10,9 ÷ 24	24,1 ÷ 70	70,1 ÷ 135
Примечания * При ПАНб > 135 качество воды водного объекта оценивается как «хуже V класса качества»; ** В дальнейшем возможно дополнение стандарта другими комплексными оценочными показателями, например, показателем антропогенной нагрузки по токсичности (ПАНт), показателем антропогенной нагрузки с учетом теплового воздействия (ПАНтепл), общим показателем антропогенной нагрузки с учетом экотоксичности (ПАНо), индексом Балушкиной, индексом трофической комплектности (ИТК) и т. п.					



Рисунок 2.3 – Общий порядок и возможные корректировки в части регулирования водопользования [74]

Базовый показатель антропогенной нагрузки ПАНб вод по установленным типам воздействий определяют суммированием ПАН_i:

$$ПАНб = \sum_{i=1}^n ПАН_i, \quad (2.1)$$

где ПАН_i – ПАН *i*-го типа воздействия;

n – количество учитываемых типов воздействия.

Показатель антропогенной нагрузки, (ПАН_i, усл. м³/м³), в соответствии с [14] и методом условного объемного разбавления [9,74] рассчитывают по формуле:

$$ПАН_i = \frac{C_i}{ЦП_{iЭ-НДТ}} - 1, \quad (2.2)$$

где $ЦП_{iЭ-НДТ}$ – виртуальное целевое значение концентрации показателя (аналита-маркера) по i -му типу воздействия, мг/усл. $дм^3$, достижимое при использовании НДТ и удовлетворяющее условиям предотвращения деградации качества воды поверхностного водного объекта (таблица 2.1);

C_i – концентрация ананта-маркера в сточных или загрязненных природных водах, отражающего определенный тип негативного воздействия, мг/ $дм^3$.

Метод условного объемного разбавления (условной водоемкости) широко используется за рубежом при оценке токсичности вод [74,82]. Расчет ПАНб для конкретной пробы представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет базового показателя антропогенной нагрузки для конкретной пробы воды [74]

Базовый аналит-маркер, C_i	Фактическое значение C_i в пробе воды	Расчетная формула для $ПАН_i$	Целевой показатель ($ЦП_{iЭ-НДТ}$)	$ПАН_i$, усл. $м^3/м^3$
1	2	3	4	5
Сухой остаток (общая минерализация), мг/ $дм^3$	455	$(C_i^{(1)} - C_{ф}^{(2)})/100$ (3)	100-300 мг/усл. $дм^3$	3,55
pH, ед. pH	7,26	$(6,5 - pH_i)/0,1$ при $pH_i < 6,5$; $(pH_i - 8,5)/0,1$ при $pH_i > 8,5$	(6,5–8,5)	0
Взвеш. вещества (4), мг/ $дм^3$	8,0	$(0,2C_i - 1)$	5 мг/усл. $дм^3$	0,6
ХПК, мг O_2 / $дм^3$	42	$(0,1C_i - 1)$	10 мг O_2 /усл. $дм^3$	3,2
БПК ₅ (5), мг O_2 / $дм^3$	4,7	–	–	
Фосфор фосфатов, мг/ $дм^3$	(6) 6,6 x 0,326	$(10C_i - 1)$	0,1 мг/усл. $дм^3$	20,52
Азот аммония, мг/ $дм^3$	(6) 7,3 x 0,777	$(2,5C_i - 1)$	0,4 мг/ усл. $дм^3$	13,18
Азот нитратов, мг/ $дм^3$	(6) 0,87 x 0,226	$(0,33C_i - 1)$	3,0 мг/ усл. $дм^3$	0
Азот нитритов, мг/ $дм^3$	(6) 1,0 x 0,304	$(50C_i - 1)$	0,02 мг/ усл. $дм^3$	14,2
Железо общее, мг/ $дм^3$	0,21	$(3,3C_i - 1)$	0,3 мг/ усл. $дм^3$	0
Марганец общий, мг/ $дм^3$	0,29	$(10C_i - 1)$	0,1 мг/ усл. $дм^3$	1,9
ПАНб				57,15
Примечания: (1) – фактическая концентрация сухого остатка в пробе воды; (2) – концентрация сухого остатка в фоновом створе, либо минимальное значение целевого показателя; (3) – используется эмпирическая формула; (4) – взвешенные вещества, трансформируемые в водной среде или аккумулируемые гидробионтами; (5) – БПК₅ при расчете ПАНб не используется, но используется для оперативной укрупненной оценки теоретической токсичности вод при ХПК > 30 мгO_2/$дм^3$ по формуле:				

Базовый аналит-маркер, C _i	Фактическое значение C _i в пробе воды	Расчетная формула для ПАН _i	Целевой показатель (ЦП _i Э-НДТ)	ПАН _i , усл. м ³ /м ³
1	2	3	4	5
(I_T = ХПК / БПК₅ - 3). При I_T > 3 контроль острой токсичности включается в программы производственного контроля хозяйствующих субъектов, оказывающих влияние на состояние исследуемого водного объекта; (6) Первым этапом предусматривается период до момента массового освоения гидрохимическими лабораториями количественного химического анализа в пробах вод углерода общего, азота и фосфора органического и общего. Для удобства накопления информации о соотношении C : N : P на первом этапе обычно результат количественного химического анализа (КХА) по содержанию фосфора в пробе предоставляется в виде фосфатов, азота в виде иона аммония, нитратов, нитритов. В столбце 2 таблицы 2 необходимо результат КХА в виде фосфатов пересчитать на фосфор фосфатов, умножив результат КХА в виде фосфатов на K = 0,326. Соответственно, выполняется перерасчет КХА иона аммония на азот аммония (K = 0,777), КХА нитратов на азот нитратов (K = 0,226), КХА нитритов на азот нитритов (K = 0,304).				

В соответствии с рассчитанным ПАНб (таблица 2.2) качество воды в исследуемом створе соответствует IV классу качества. Водная экосистема находится в истощенном состоянии. ПАНб обеспечивает выводы о фундаментальном качестве/(классе качества) воды исследуемого створа поверхностного водного объекта и благополучии водной экосистемы и на определенном уровне качества воды может служить целевым экологическим нормативом. Но не только - общий ПАН загрязненности этой же пробы воды с учетом присутствия в ней токсичных ионов металлов (меди, кадмия, хрома и др.) в соответствии с [74,84] значительно превышает ПАНб. Методология расчета общего ПАН временно представляет собою черный ящик. Методология расчета ПАНб – проста и понятна. Доказано [74,75,76], что сдвигка фундаментального качества воды в сторону худшего происходит при повышении минерализации, накоплении биогенных компонентов, токсикантов, нарушении равновесия продукционно-деструкционных процессов. Когда, каких и в каком количестве - задачи будущих исследований. И в этом отношении ПАНб явится мощным двигателем систематизирования накопленных мониторинговых данных и глубоких исследований синергизма внутриводоемных процессов. При формировании «шкалы» ПАНб использована классификация качества поверхностных вод с

экологических позиций (таблица 2.3), включающая в себя системно обработанные, обобщенные результаты физико-химических показателей (разделы А–Г) и биологических данных (раздел Д). [74,203]

Таблица 2.3 – Нормативы качества поверхностных проточных вод с экологических позиций [74,79] (Формат данных таблицы (понятия, размерности) представлен в соответствии с первоисточником).

Показатели	Классы качества воды					
	I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7
А. Общезифические показатели и показатели неорганических веществ						
Температура, °C	< 20	25	25	30	30	> 30
Значение pH	6,5 - 8,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Растворённый кислород, мг/л	> 8	6	5	4	2	< 2
Насыщенность кислородом, %	>90	75	60	40	20	< 20
Удельная электропроводность, мкС·см ⁻¹	< 400	700	1100	1300	1600	> 1600
Общее количество растворённого вещества, мг/л	< 300	500	800	1000	1200	> 1200
Общее количество взвешенных веществ, мг/л	< 20	30	50	100	200	> 200
Общая жёсткость, н°	< 15	20	30	40	50	> 50
Хлориды, мг/л	< 50	150	200	300	500	> 500
Сульфаты, мг/л	< 50	150	200	300	400	> 400
Железо общее, мг/л	< 0,5	1	1	5	10	> 10
Марганец общий, мг/л	< 0,05	0,1	0,3	0,8	1,5	> 1,5
Аммоний (N), мг/л	< 0,1	0,2	0,5	2,0	5,0	>5,0
Нитриты (N), мг/л	< 0,002	0,005	0,02	0,05	0,1	>0,1
Нитраты (N),мг/л	< 1	3	5	10	20	> 20
Фосфаты (PO ₄), мг/л	< 0,025	0,2	0,5	1,0	2,0	> 2,0
Общий фосфор (PO ₄), мг/л	< 0,05	0,4	1,0	2,0	3,0	> 3,0
Б. Общие показатели органических веществ						
Химическая потребность в кислороде (перманганатная), мгО ₂ /л	< 5	10	20	30	40	> 40
Химическая потребность в кислороде (бихроматная), мгО ₂ /л	< 15	25	50	70	100	> 100
Биохимическая потребность в кислороде (БПК ₅), мгО ₂ /л	< 2	4	8	15	25	> 25
Органический углерод, мг/л	< 3	5	8	12	20	> 20
Экстрагируемые в ССl ₄ вещества, мг/л	< 0,2	0,5	1,0	3,0	5,0	> 5,0
Органический азот, мг/л	< 0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	> 10,0
В. Показатели неорганических промышленных загрязняющих веществ						
Ртуть, мкг/л	< 0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	> 5,0
Кадмий, мкг/л	< 3	5	10	20	30	> 30
Свинец, мкг/л	< 10	20	50	100	200	> 200

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7
Мышьяк, мкг/л	< 10	20	50	100	200	> 200
Медь, мкг/л	< 20	50	100	200	500	>500
Хром общий, мкг/л	< 20	50	100	200	500	>500
Хром (3+), мкг/л	< 20	100	200	500	1000	>1000
Хром (6+), мкг/л	0	20	20	50	100	> 100
Кобальт, мкг/л	< 10	20	50	100	500	> 500
Никель, мкг/л	< 20	50	100	200	500	> 500
Цинк, мкг/л (<i>Эксперт: опечатка в первоисточнике в размерности</i>)	< 0,2	1,0	2,0	5,0	10,0	> 10,0
Легко освобождаемые цианиды, мг/л	0	0	<0,05	0,1	0,2	>0,2
Общее количество цианидов, мг/л	0	0	<0,5	1,0	2,0	>2,0
Фториды, мг/л	< 0,2	0,5	1,0	1,5	3,0	>3,0
Свободный хлор, мг/л	0	0	0	< 0,05	0,1	>0,1
Сульфиты, мг/л	0	0	0	< 0,01	0,02	>0,02
Г. Показатели органических промышленных загрязняющих веществ						
Анионоактивные детергенты, мг/л	0	< 0,5	1,0	2,0	3,0	> 3,0
Фенолы летучие, мг/л	< 0,002	0,01	0,05	0,1	1,0	> 1,0
Производные нефти, мг/л	0	< 0,05	0,1	0,3	1,0	> 1,0
Д. Биологические показатели (**)						
Сапробность (индекс Пантале - Букка) Модификация Сладечека	<1,0 ксено	1,5 олиго	2,5 бета- мезо	3,5 альфа- мезо	4,0 поли	> 4,0 гипер
Коли-титр (фекального типа)	1	0,1	0,01	0,001	< 0,001	< 0,001
Общая численность микроорганизмов	< 5·10 ⁵	<10 ⁶	< 3·10 ⁶	< 5·10 ⁶	<10 ⁷	<10 ⁷
Снижение интенсивности биохимической трансформации	0	0	< 10 %	< 30	< 70 %	>70 %
Биотический индекс по Вудвису, балл	10	7 - 9	5 - 6	4	2 - 3	0 - 1
Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	< 20	35	50	65	85	> 85 или макро- бентос отсутст- вует
Токсичность воды, балл	0	1	2	3	4	5
Е. Категория реки по длине загрязнённых участков						
Отношение длины загрязнённых участков к общей длине реки, %	< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50

Раздел Д таблицы 2.3 – Биологические показатели, включен в [75].

Поэтому ПАНБ по внутреннему содержанию сжатой информации косвенно связан с биотическими характеристиками водных экосистем, что подтверждено специальными исследованиями [74,83,89]. На основе данных табл. 2.3 по анализам-маркерам сформирована классификация качества

поверхностных вод (таблица 2.4), используемая для обоснования шкалы ПАНб и рекомендуемая к использованию на федеральном или региональном уровнях для принятия/установления с экологических позиций базовых целевых показателей качества охраняемых/используемых/реабилитируемых вод на уровне определенного класса качества, например, II или III.

Таблица 2.4 – Оценочные показатели качества поверхностных проточных вод с экологических позиций [74]

Показатели	Класс качества вод (*)				
	I	II	III	IV	V
Значение рН, ед. рН	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0
Минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	< 300	500	800	1000	1200
Взвешенные вещества природного происхождения, мг/дм ³	< 20	20-30	31-50	51-100	101-200
Железо общее, мг/дм ³	< 0,5	0,5-1	0,5-1	0,5-5	5,1-10
Марганец общий, мг/дм ³	< 0,05	0,05-0,1	0,2-0,3	0,4-0,8	0,9-1,5
Аммоний (N), мг/дм ³ (**)	< 0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-2,0	3,0-5,0
Нитриты (N), мг/дм ³ (**)	< 0,002	0,002-0,005	0,006-0,02	0,03-0,05	0,05-0,1
Нитраты (N), мг/дм ³ (**)	< 1	1-3	4-5	6-10	11-20
Фосфаты (PO ₄), мг/дм ³ (**)	< 0,025	0,025-0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	1,1-2,0
Общий фосфор (PO ₄), мг/дм ³ (**)	< 0,05	0,05-0,4	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0
Химическое потребление кислорода (ХПК), мгО ₂ /дм ³	< 15	15-25	26-50	51-70	71-100
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅), мгО ₂ /дм ³	< 2	2-4	5-8	9-15	16-25
Органический углерод, мг/дм ³ (**)	< 3	3-5	6-8	9-12	13-20
Органический азот, мг/дм ³ (**)	< 0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	6-10
Примечания: * При значении параметра выше значения, указанного для V класса качества, качество воды характеризуется как «хуже V класса качества». ** В хорошо оснащенных испытательных лабораториях мониторинг качества вод водных объектов рекомендуется дополнительно осуществлять по азоту общему и органическому наряду с группой показателей: аммоний (N), нитриты (N), нитраты (N), по фосфору общему и органическому, по общему и органическому углероду.					

Расчет шкалы ПАНб по классам качества природных вод представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Расчет шкалы ПАНб по классам качества природных вод [74]

Базовые показатели, мг/дм ³	Класс качества воды с экологических позиций [6]					ЦПэ-ндт(1)	Показатель антропогенной нагрузки(1)				
	I	II	III	IV	V		ПАН ^I	ПАН ^{II}	ПАН ^{III}	ПАН ^{IV}	ПАН ^V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Общие (базовые) показатели											
N (NH ₄ ⁺)	0,1	0,2	0,5	2	5	0,4	0,0	0,0	0,3	4,0	11,5
N (NO ₂ ⁻)	0,002	0,005	0,02	0,05	0,1	0,02	0,0	0,0	0,0	1,5	4,0
N (NO ₃ ⁻)	1	3	5	10	20	3	0,0	0,0	0,7	2,3	5,7
P (PO ₄ ³⁻)	0,008	0,065	0,163	0,326	0,652	0,1	0,0	0,0	0,6	2,3	5,5

Продолжение таблицы 2.5											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ХПК, мг О ₂ /дм ³	15	25	50	70	100	10	0,5	1,5	4,0	6,0	9,0
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	2	4	8	15	25		-		Фактические значения используются при расчете ПАН токсичности (ПАН _т) по формуле (ХПК/БПК ₅₋₃)		
Взв. в-ва	20	30	50	100	200	5	3,0	5,0	9,0	19,0	39,0
рН, ед. рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0		0,0	0,0	0,0	5,0	5,0
Сух. ост.	300	500	800	1000	1200	300	0,0	2,0	5,0	7,0	9,0
Железо общее	0,5	1	1	5	10	0,3	0,67	2,33	2,33	15,67	32,33
Марганец общий	0,05	0,1	0,3	0,8	1,5	0,1	0,0	0,0	2,0	7,0	14,0
ПАНб, усл. м³/м³ (2)							4,2	10,8	24	70	135
Примечания (1) – в соответствии с ГОСТ 57075-2016 (2) – Представленные данные ПАНб справедливы при отсутствии нефтяной пленки на поверхности исследуемого водотока. В случае стабильного наличия нефтяной пленки на поверхности исследуемого водотока ситуация рассматривается как чрезвычайная.											

Для оценки качества водного источника, используемого в целях питьевого водоснабжения, степень нарушения качества и изменения состояния водных экосистем при антропогенной нагрузке, способствующей истощению вод и изменениям в водных экосистемах, согласно предлагаемым нами методам[74] следует характеризовать, как:

– низкая – речная экосистема находится в хорошем естественном состоянии, не испытывающем, или слабо испытывающем антропогенное воздействие от загрязнения воды: $\text{ПАНб} \leq 10,8$, что соответствует I-II классу качества вод с экологических позиций;

– средняя – речная экосистема испытывает умеренную антропогенную нагрузку из-за периодического или постоянного превышения антропогенной нагрузки над процессами самоочищения: $10,8 < \text{ПАНб} \leq 24,0$, что соответствует III классу качества вод с экологических позиций;

– высокая – речная экосистема подвержена постоянному истощению и деградации из-за высоких концентраций загрязняющих веществ в водах: $\text{ПАНб} > 24$, что соответствует IV-V классу качества вод с экологических позиций.

Удельный показатель истощения качества вод на оценочном участке водотока ($K_{\text{ПАНб}}$, усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$.) рассчитывают по формуле:

$$K_{\text{ПАНб}} = (\text{ПАНбк} - \text{ПАНбф}) / L_y, \quad (2.3)$$

где ПАНбк, ПАНбф – значения базового показателя антропогенной нагрузки, соответственно в контрольном и фоновом створах, усл. $\text{м}^3/\text{м}^3$;
 L_y – длина участка водотока между фоновым и контрольным створами, км.

$K_{\text{ПАНб}}$ сравнивают с нормативным удельным показателем истощения качества вод исследуемого участка водотока ($K_{\text{нПАНб}}$, усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$), рассчитываемым по формуле:

$$K_{\text{нПАНб}} = \text{ДАН} / L_b, \quad (2.4)$$

где ДАН – допустимая антропогенная нагрузка, устанавливаемая по данным мониторинга ПАНб и соответствующая среднегодовому максимальному значению, наблюдаемому в контрольных створах после локальных воздействий и сопровождаемому последующим превышением процессов самоочищения над антропогенной нагрузкой;

L_b – длина водотока, км.

При отсутствии $K_{\text{нПАНб}}$ сравнивают с условно-нормативным удельным показателем истощения качества вод исследуемого участка водотока ($K_{\text{унПАНб}}$, усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$), рассчитываемым по формуле:

$$K_{\text{унПАНб}} = (24 - 4,2) / L_b, \quad (2.5)$$

где 24 и 4,2 – верхние пограничные значения ПАНб, соответствующие III и I классу качества вод;

L_b – длина водотока, км.

$K_{\text{нПАНб}}$ и $K_{\text{унПАНб}}$ зависит от гидрогеологических характеристик водотока. При длине водотока 1000 км $K_{\text{унПАНб}} = 0,02$ усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$, при длине водотока 100 км $K_{\text{унПАНб}} = 0,2$ усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$.

Оценку экологического состояния водного участка характеризуют в результате следующих процедур [74,75]:

- исследование трендов внутригодовой и межгодовой изменчивости качества вод в исследуемых створах;

- анализ динамики качества участков водотоков по ПАНб (превышение интенсивности процессов самоочищения над истощением или преобладание интенсивности процессов истощения и деградации (обратимой или необратимой) над самоочищением) путем исследования тренда ПАНб/км по течению реки. Для водоемов исследуется преимущественно тренд ПАНб/(дни, годы) (т.е. во времени для каждого створа) и др.;
- обоснование допустимой антропогенной нагрузки на участке водотока;
- сравнение фактически установленного тренда процесса истощения качества воды на исследуемом участке реки с нормативным или с условно-нормативным или целевым трендом и др.;

2.2. Риск - ориентированные подходы к определению качества питьевой воды

Учет риска для населения связан с необходимостью оценки рисков воздействия уровней типовых загрязнений на здоровье [28,29]. Такая оценка реализуется при формировании программ контроля качества питьевой воды и при установлении гигиенических требований к ней [12,25,90]. Вместе с тем, питьевое водоснабжение должно учитывать всю совокупность рисков, которая связана с техническим оснащением, с потенциальным экологическим фактором и с экономическими реалиями [29].

За основу при выборе технологий очистки питьевой воды берутся результаты качественной оценки вида и качества источника водоснабжения (например, «загрязненная поверхностная вода, защищенные грунтовые воды»). Связанные с конкретной технологией целевые показатели чаще всего применяются в отношении микробных и химических факторов риска [29]. Внедрение риск-ориентированной модели в функционирование систем питьевого водоснабжения позволяет значительно повысить эффективность подготовки воды для конечного потребления. Как отмечено в главе 1, российская практика подготовки и очистки воды значительно уступает в

качестве наилучшей доступной практике Европейского Союза и ВОЗ.

Оценка риска может состоять в установлении различия между существенными и менее существенными опасными (нештатными) факторами или событиями. Риск можно описать путем определения вероятности возникновения опасного фактора (например, несущественный, неопределенный, существенный уровень) и оценки тяжести последствий в случае, если опасность все же возникнет (например, незначительные, серьезные, катастрофические) (см. таблицы 1.2 и 1.3). Такой подход был предложен [27,28,29] при подготовке автором настоящей работы Справочника перспективных технологий водоподготовки [9]. В соответствии с Руководством по обеспечению качества питьевой воды [26] целевые показатели безопасности, связанные с конкретной технологией, устанавливаются в форме рекомендаций, применяющихся при водоподготовке воды источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [29].

Таблица 2.6 – Варианты определений категорий вероятности и тяжести последствий для оценки риска здоровью населения

Категории	Класс	Примечания
<i>Определения событий:</i>		<i>Частота возникновения:</i>
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
<i>Тяжести последствий:</i>		<i>Последствия:</i>
Катастрофическое воздействие на здоровье населения	5	Воздействие на химический состав с превышением ПДК
Существенное воздействие	4	Воздействие на химический состав в пределах 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

Данные таблицы 2.6 в настоящей работе взяты в качестве основы для формирования факторов опасности при оценке технологий очистки воды и работы централизованных систем питьевого водоснабжения.

Существующие нормативные документы, относящиеся к качеству питьевой воды [12,26,91] основаны на учете рисков для здоровья населения и потенциале снижения таких рисков в результате применения технологий водоподготовки. Частично методика представлена в разделе 1.1.4 настоящей работы. Выбор технологических решений основан на оценке эффективности, представляющей собой отношение снижаемого риска для здоровья (фактически – санитарной надежности системы питьевого водоснабжения) и суммы затрат, связанных с внедрением технологии водоподготовки [9,92,93].

2.3 Метод синергетической структуры учета взаимовлияния факторов на организацию процесса водоснабжения.

В условиях динамично развивающихся и существенно изменяющихся в разных аспектах экономических и социальных объектов необходимы соответствующие методологические основы формирования в них системы управления (СУ). В рамках выполнения работы предложена [94] методология создания синергетической структуры управления для организации, обеспечивающей функционирование централизованной системы водоснабжения. Характерной и существенной особенностью управления в этих условиях является необходимость учета возникающих так называемых *бифуркаций* – значительных качественных изменений в поведении и характеристиках объекта, основанных на риск-ориентированном подходе. В качестве методологической основы организации СУ в таких условиях может быть положен синергетический подход. Существенным фактором, приводящим к возникновению бифуркаций, является сфера потребления продукции – круг потребителей (Пот), оценка которой продукции (товаров, услуг) производственной системы («производства», ПР), в свою очередь, определяется совокупностью социальных и других факторов. При этом следует рассматривать производственную систему как открытую и включать в ее состав потребителей. В настоящее время реализовать СУ, обладающую

свойством самоорганизации, возможно на основе информационных технологий и цифровизации, обеспечивающих создание в составе СУ подсистемы, реализующей мониторинг процессов управления, их анализ и выявление признаков бифуркации. Обобщенная схема такой синергетической СУ представлена на рисунке 2.4. В ней условно выделены три подсистемы: организационная, информационная и интеллектуальная. Они все взаимодействуют как между собой, так и с производством; кроме того, все они прямо и косвенно реагируют на восприятие продукции потребителями. На основании всей совокупности информации принимается решение о наличии бифуркации, а также решение о самоорганизации. При этом выделенные в схеме подсистемы выполняют следующие функции. Подсистема «информация» обеспечивает сбор и упорядочение первичной информации; подсистема «организация» отражает взаимодействия в системе; подсистема «интеллект» — это совокупность средств инженерных знаний (в т.ч. цифровых данных) и профессиональных знаний и опыта персонала [94,95]. Во всех подсистемах решающая роль принадлежит информационным технологиям, поэтому задачи самоорганизации — это задачи информационного менеджмента (ИМ).

Необходимо отметить, что подсистемы связаны между собой и не могут настраиваться и формироваться автономно: каждому варианту одной из подсистем наиболее эффективно соответствуют определенные варианты других; изменение в одной из подсистем требует перенастройки других, в противном случае эффективность СУ в целом утратится. [95] Это означает, что должны учитываться интерфейсы между подсистемами. Совокупность интерфейсов отражает таблица 2.7, их функции – таблица 2.8. Важно иметь в виду, что наивысшее качество управления достигается при согласовании между собой всех подсистем и интерфейсов между ними.

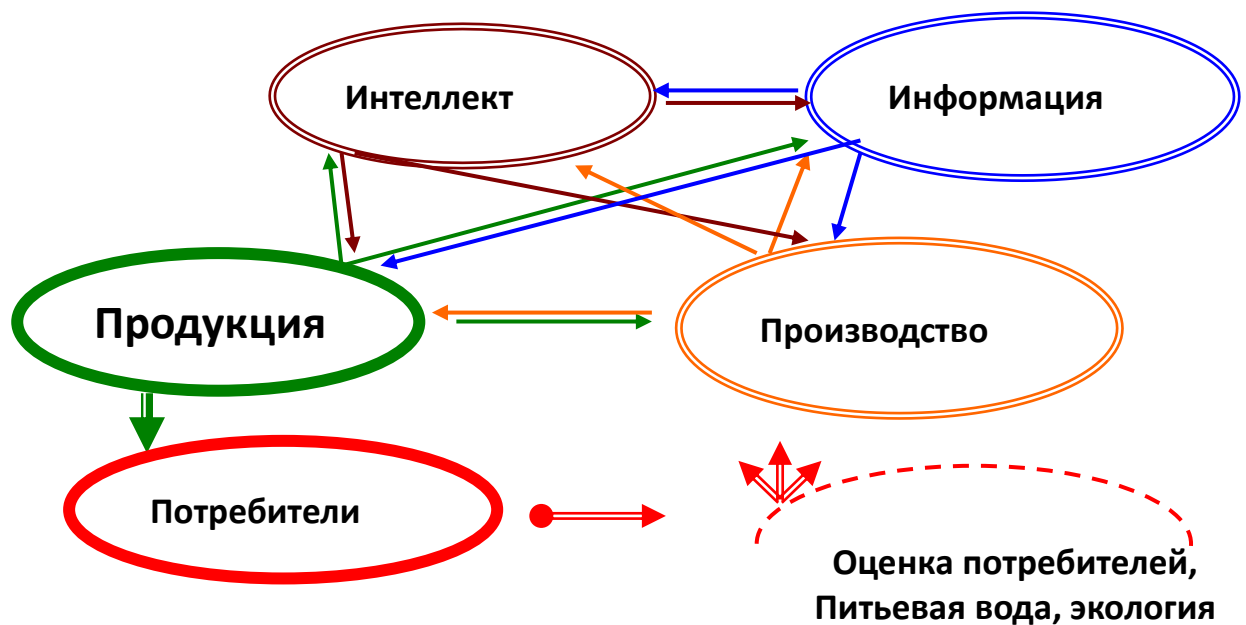


Рисунок 2.4 – Обобщенная схема синергетической СУ

Таблица 2.7 – Интерфейсы между подсистемами в информационно-синергетической СУ [95,96]

Подсистема	Инт	Инф	Орг	Пр
Инт	---	Инф-Инт	Орг-Инт	Пр-Инт
Инф	Инт-Инф	---	Орг-Инф	Пр-Инф
Орг	Инт-Орг	Инф-Орг	---	Пр-Орг
Пр	Инт-Пр	Инф-Пр	Орг-Пр	---

Таблица 2.8 – Содержание связей между элементами системы

Связь	Функция
Инт-Инф	Пополнение состава данных более полной и ценной информацией, возникающей на основе осмысления имеющихся данных
Инф-Инт	Представление персоналу информации, обеспечивающей повышение его компетентности, развитие интеллекта, то есть информационное обеспечение обучения персонала и накопление знаний организации
Инт-Орг	Повышение уровня интеллектуальности (осмысленности) взаимодействия работников в процессе трудовой деятельности, обеспечение самоорганизации управления
Орг-Инт	Организация процессов коллективного анализа проблемных ситуаций и осмысления информации, обеспечение коллективного принятия решений на основе обмена знаниями и тем самым - повышение уровня индивидуального и коллективного интеллектуального потенциала организации
Инт-Пр	Передача накопленных знаний, или интеллектуального потенциала, на уровень основного производства и тем самым повышение его эффективности и конкурентоспособности
Пр-Инт	Отражение найденных эффективных производственных решений («ноу-хау») в виде профессиональных знаний, приводящих к наращиванию интеллектуального капитала организации в сфере основной деятельности

Продолжение таблицы 2.8

Инф-Орг	Наполнение коммуникаций между персоналом, системой и средой, позволяющее целенаправленно формировать эффективные внутренние и внешние организационные структуры как извне, так и в порядке самоорганизации
Орг-Инф	Пополнение информационного ресурса (данных) организации за счет отображения в информационных структурах (базах данных) организационных решений совместно с оценками их эффективности в виде соответствующей организационной документации
Инф-Пр	Обеспечение производства всей полнотой информации, необходимой для его эффективного осуществления
Пр-Инф	Представление в информационных структурах системы управления (базах данных) показателей, характеризующих производство как таковое и условия его осуществления
Орг-Пр	Формирование определенных организационных основ производства (организационно-распорядительной документации) с учетом изменяющихся условий деятельности
Пр-Орг	Отражение в организационных основах деятельности (организационно-распорядительной документации) актуальных особенностей производства

Для совместного единообразного представления структуры всех разнородных ресурсов, включенных в информационную систему (ИС), предлагается [95,96,244] использовать математическую модель в виде матрицы ресурсов:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 11 & 12 & \dots & 1n \\ 21 & 22 & \dots & 2n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n-1,1 & n-1,2 & \dots & n-1,n \\ n1 & n2 & \dots & nn \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Общий ресурс или совокупный технологический потенциал ИС при этом может быть определен, например, суммой всех элементов матрицы $\mathbf{R}$. Правда, непосредственное ее вычисление в условиях реальных ИС обычно невозможно из-за различия размерностей элементов матрицы. Для преодоления этого препятствия прибегают к нормализации элементов матрицы в той или иной форме. Тогда модель в форме (2.6) может быть использована при обобщенной оценке загруженности компонентов ИС и использования ее потенциала. С этой целью сначала по каждому из компонентов вводится коэффициент его использования в виде

$$k_{ij} = R_{ij\text{факт}}/R_{ij}, i, j = 1, \dots, n, \quad (2.7)$$

где R_{ij} – проектная характеристика потенциала ij -ого компонента ИС в (2.6); $R_{ij\text{ факт}}$ – уровень его фактического использования. Матрица K , составленная по аналогии с (1) из всех безразмерных k_{ij} , $i, j = 1, \dots, n$, [95,96] может быть названа *матрицей использования ресурсов* ИС. Если l элементов матрицы (2.6) равны нулю, то

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ \forall k_{ij} \rightarrow 1}} \|K\| = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ \forall k_{ij} \rightarrow 1}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} = n^2 - l \quad (2.8)$$

Предложенная детальная модель обобщенной оценки структуры ресурсов системы позволяет выполнить целенаправленный анализ их использования, а также получить обоснование проектных и управленческих решений. Так, может быть выявлена, описана и учтена неоднородность загруженности компонентов системы [96], то есть локальные перегрузки или недогрузки, которая обычно ведет к снижению эффективности работы системы в целом. При оценке загруженности системы в среднем по всему множеству компонентов имеющаяся неоднородность загрузки может быть скрыта. В самом деле, может иметь место приемлемый уровень использования системы в целом, хотя при этом часть ее компонентов ощутимо перегружена, а другая – загружена недопустимо мало. Форсированный режим (перегрузка) r -ого компонента отражается тем, что в матрице K будет соответствующий элемент $k_r > 1$ (индекс r тем или иным образом соотнесенный с индексом ij элемента ресурсной матрицы) – см. таблицу 2.9. Тогда уровень относительной перегрузки этого компонента; суммарное относительное отклонение системы от режима, выражающееся в повышенной нагрузке на m ее компонентов; средняя перегрузка подмножества m компонентов и суммарная средняя перегрузка системы в целом, то есть множества $n^2 - l$ ее компонентов, определяются выражениями, представленными в таблице. Аналогично может строиться и анализ

недогрузки части компонентов: недоиспользование ресурса p -ого компонента отражается тем, что в матрице K будет элемент, меньший некоторого допустимого значения $k_p < k_{p\text{доп}}$; [95,96] соответствующие выражения для s недогруженных компонентов приведены в таблице.

Таблица 2.9 – Режимы работы системы [96]

Характеристика	Режим	
	Перегрузка	Недогрузка
Число элементов	m	s
Коэффициент режима	$f_r = k_r - 1$	$q_p = 1 - k_p$
Относительное кол-во элементов вне режима	$m / n^2 - l$	$s / n^2 - l$
Суммарное отклонение от режима по группе	m $\Phi = \sum_{r=1} f_r$	s $Q = \sum_{p=1} q_p$
Среднее отклонение от режима по группе	m $\Pi_m = (\sum_{r=1} f_r) / m = \Phi / m$	s $H_s = (\sum_{p=1} q_p) / s = Q / s$
Среднее отклонение от режима по ИС в целом	m $\Pi = (\sum_{r=1} f_r) / n^2 - l = \Phi / n^2 - l$	s $H = (\sum_{p=1} q_p) / n^2 - l = Q / n^2 - l$
Соотношение средних значений отклонения от режима по группе	$\Pi_m / H_s = (\Phi / m) : (Q / s) = (\Phi / Q) \times (s / m)$	$H_s / \Pi_m = (Q / s) : (\Phi / m) = (Q / \Phi) \times (m / s)$
Соотношение средних значений отклонения от режима по ИС в целом	$\Pi / H = \Phi / Q$	$H / \Pi = Q / \Phi$

Приведенные в таблице 2.9 выражения позволяют целенаправленно локализовать как перегруженные (так называемые «узкие места»), так и недогруженные компоненты системы, а также оценить неоднородность режима их работы. Две последние строки в дополнение к данным источника отражают соотношение средних значений от режима по группе и по системе в целом; эти показатели позволяют адресно оценить неравномерность загрузки элементов системы. Обобщая представленные варианты, можно заметить, что предложенная модель позволяет выявить и описать не только перегрузку и недогрузку потенциала системы, но и полностью формализовать описание использования ресурсов системы в том или ином виде. Для этого может быть, например, введена шкала уровней загруженности с некоторым шагом, например 10%, по которой будут

упорядочиваться подмножества m и s ; далее роль каждого из подмножеств может быть оценена по выражениям, приведенным в таблице 2.9.[95,96,244] Таким образом, предлагаемая модель позволяет эффективно управлять использованием ресурсов системы как в целом, так и адресно по компонентам, в частности, локализовать и оценить как общую, так и локальную неоднородность режима работы компонентов системы, режим работы той или иной группы устройств, программных средств или баз данных, что даст возможность корректно обосновать как проектные, так и управленческие решения, обеспечивающие эффективное использование ресурсов системы.

2.4 Методы выполнения измерений контроля качества воды

Контроль качества воды при выполнении данной работы осуществляется с использованием методик выполнения измерения, основанных на количественном химическом анализе (КХА). Использовались методы, основанные на требованиях к производственному контролю качества питьевой воды [28,29] централизованных систем питьевого водоснабжения. Производственный контроль качества воды включает в себя отбор проб воды, проведение лабораторных исследований и испытаний на соответствие воды установленным требованиям и контроль за выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий в процессе водоснабжения [8].

Перечень показателей для производственного контроля и требования к установлению частоты отбора проб воды устанавливаются Роспотребнадзором [12]. При этом контроль осуществляется для каждой системы водоснабжения на основании оценки результатов расширенных исследований источников, а также технологии производства питьевой воды, горячей воды в системе водоснабжения. Для проведения расширенных исследований проводится организацией, осуществляющей эксплуатацию

системы водоснабжения, совместно с территориальным управлением (ТУ) Роспотребнадзора в два этапа (рисунок 2.5).

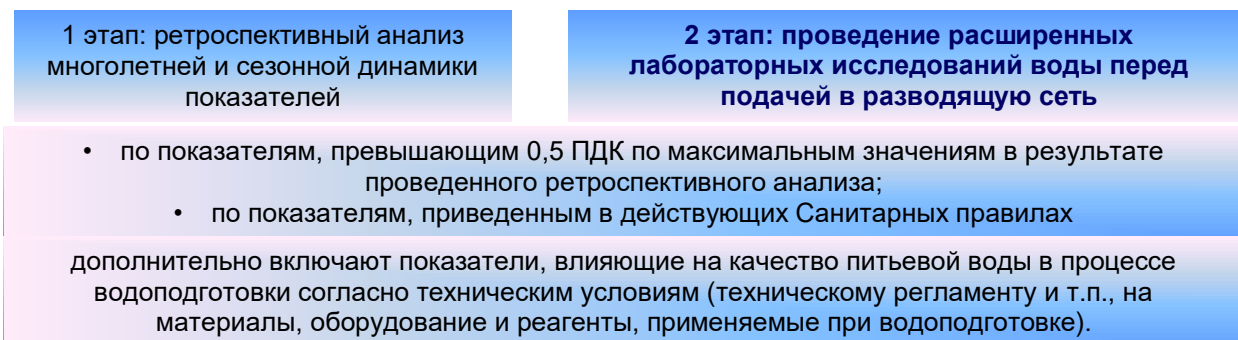


Рисунок 2.5 – Схема организации контроля качества воды систем питьевого водоснабжения.

При выполнении данной работы использовались аттестованные методики выполнения измерений загрязняющих веществ в воде [96]. В зависимости от выбранных методов водоподготовки, при выполнении работы использовались методы исследований, приведенные в табл. 2.10.

Таблица 2.10. Соотнесение метода водоподготовки и типа исследования [5]

Методы водоподготовки	Параметр контроля
Удаление веществ, вызывающих мутность (коагуляция + отстаивание, фильтрование, мембранное фильтрование)	Мутность, осаждаемые вещества, измерение крупности частиц
Окисление (аэрация, озонирование)	Кислород, окислительно-восстановительный потенциал, остаточный озон, остаточный озон в отработанном воздухе, тригалометаны, броматы
Обеззараживание (хлором, гипохлоритом диоксидом хлора)	Окислительно-восстановительный потенциал, остаточный хлор, тригалометаны, микробиология, для диоксида хлора - остаточный диоксид хлора, хлорит
Нейтрализация (физическими и химическими методами)	рН, щелочность, окисляемость
Обезжелезивание. Демарганация	Железо, марганец
Умягчение, декарбонизация	Окисляемость, рН, щелочность, кальций, магний, электропроводность

При выполнении настоящей работы рассматривалась возможность и целесообразность использования онлайн контроля показателей качества централизованного питьевого водоснабжения.

2.5 Методы оценки стоимости жизненного цикла для процессов организации водоснабжения

Метод оценки стоимости жизненного цикла (СЖЦ) для объектов водоснабжения и водоотведения, являясь инструментом сравнительных технико-экономических обоснований проекта, в т.ч. его инвестиционной привлекательности, не может являться критерием гарантированного коммерческого эффекта. Для государственных и муниципальных проектов расчет СЖЦ будет рекомендовано проводить в постоянных ценах, без учета инфляции и без учета дисконтирования [92]. В работе предложена методология расчета стоимости жизненного цикла для систем водоснабжения [92,93]. На основании данной методологии сформирован и введен в действие национальный стандарт [97,98]

Основными принципами расчета СЖЦ являются:

- обеспечение целевого и экономически эффективного расходования средств на приобретение товаров, работ, услуг и реализации мер, направленных на сокращение капитальных и эксплуатационных издержек Заказчика;
- информационная открытость результатов расчета СЖЦ;
- отсутствие ограничения допуска к участию в процедуре расчета СЖЦ путем установления требований к участникам процедуры, изложенных в Техническом Задании (ТЗ) Заказчика при условии обозначения его категории принадлежности: 1 – товар, оборудование; 2 – объект капитального строительства;
- получение исходных данных от Заказчика для выработки решений, принимаемых на всех или отдельных этапах и стадиях жизненного цикла товара, оборудования или объекта капитального строительства;
- выявление затрат, способных оказывать наиболее существенное влияние на СЖЦ в целом или представляющих особый интерес для решения задач, представленных в ТЗ Заказчика;

- уменьшение СЖЦ за счет обоснованного увеличения первоначальных затрат;
- использование экономического метода дисконтированных денежных потоков позволяет определить приведенную к настоящему периоду стоимость всех денежных потоков, связанных с объектом водоснабжения и водоотведения по категориям: 1 – товар, оборудование; 2 – объект капитального строительства. Данный экономический инструмент учитывает оценку инвестиционной привлекательности проекта в целом на расчетный период его действия;

Предлагаемый автором расчет СЖЦ представлен в наиболее комплексном виде, соответствующем капитальным объектам ВКХ, таблице 2.11. Этот вид в полной мере подходит для описания оборудования и товара, с учетом равенства нулю одного из элементов расчетных зависимостей (C_{ic}^{3+C}). Графическая структура СЖЦ представлена на (рисунок 2.6). [92,97,98]

Таблица 2.11 – Основные зависимости стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений водоснабжения и водоотведения [92]

Наименование расчетной зависимости СЖЦ	Расчетная зависимость	№ формулы
Составляющие элементы	$СЖЦ = (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{ПП} + C_{ic} + C_{in}) + (C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env}) + C_d$ или $СЖЦ = \sum_{t1}^n КАПИТ + \sum_{t2}^n ЭКСПЛ + C_d$	2.9
Текущая стоимость с учетом дисконтирования затрат во времени	$C_p = \frac{C_n}{[1+(i-p)]^n} \text{ при } R = \frac{1}{(1+r)^n}$	2.10
Полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени	$СЖЦ = \sum_{t1}^n \frac{КАПИТ(C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{ПП} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \sum_{t2}^n \frac{ЭКСПЛ(C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d$	2.11

Где n – Расчетный период, лет,

КАПИТ – Сумма капитальных затрат по статьям составляющих элементов СЖЦ,

C_{ic}^{3+C} – Часть капитальных единовременных затрат на приобретение земельного участка (З – земля), стоимость получения разрешений и стоимость подключения к другим

сооружениям и инженерным сетям водоснабжения, теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения (С – сети).

C_{ic}^{PP} – Часть капитальных затрат, связанных с обеспечением проектных, инжиниринговых, или научно - исследовательских работ по разработке конструкторской, технологической документации,

C_{ic} – Начальная капитальная стоимость (общестроительные работы, цена закупаемого оборудования, стоимость технологической системы с данным оборудованием),

ЭКСПЛ – Сумма эксплуатационных затрат по статьям составляющих элементов СЖЦ,

C_e – Стоимость электроэнергии,

C_o – Стоимость обслуживания или текущие затраты на оплату труда обслуживающего персонала,

C_m – Затраты на ремонт, сервисное и техническое обслуживание (регламентное обслуживание); на регулярный расход товара (реагента или материала),

C_s – Стоимость потерь от непредвиденных простоев и недополученной продукции,

C_{env} – Стоимость затрат по охране окружающей среды и предотвращению ущерба,

C_d – ЗАТРАТЫ НА КОНЕЦ СЖЦ,

C_d – Стоимость затрат на вывод оборудования или товара из эксплуатации, включая восстановление окружающей среды за вычетом стоимости материалов повторного использования,

C_p – текущая стоимость отдельной статьи затрат,

C_n – стоимость отдельной статьи затрат, предстоящей к выплате через «n» лет,

p – годовой темп инфляции, доли ед.,

i – процентная ставка (например, банка, принимаемая с учетом депозитных ставок банков высокой категории надежности), доли ед.,

$r = (i-p)$ – ставка дисконтирования, доли ед.,

R – коэффициент дисконтирования, доли ед.

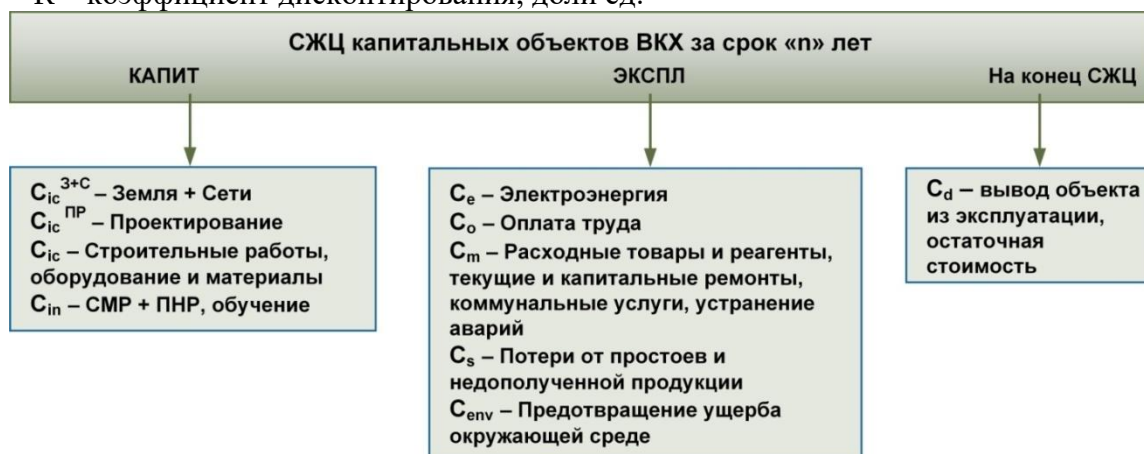


Рисунок 2.6 – Схема расчета СЖЦ на комплексном примере капитальных объектов ВКХ [92,93,97,98]

2.6 Выводы по главе 2

Рассмотрение и использование материалов и методов при выполнении диссертационного исследования показало необходимость совершенствования процедур контроля, а основная цель такого совершенствования – обеспечение достоверности определения и

управляемости технологическим процессом водоподготовки. Автором показаны методологические подходы к формированию принципов риск-ориентированной оценки качества предлагаемых решений. В работе обоснована необходимость учета состояния водного источника питьевого водоснабжения, исходя из разработанных принципов оценки:

- Использование комплексного показателя антропогенной нагрузки (ПАНб) позволяет с экологических позиций оценить качество вод в створах исследуемых водных объектов в любой период года [74].
- Значение ПАНб и его динамика обеспечивают внутригодовое ранжирование качества вод водных объектов по классам качества [74] с экологических позиций.
- Анализ тренда ПАНб за полный внутригодовой цикл изменения качества вод позволяет оценить соотношение антропогенного воздействия и самоочищающейся способности за исследуемый период [74,203], степень истощения, выявить региональный характер тренда качества вод.
- Анализ внутригодовой и межгодовой изменчивости ПАНб для водотоков и водоемов обеспечивает региональное выявление чистых водных объектов или их участков [74] и с антропогенной нагрузкой, приводящей к деградации водных экосистем.
- Оценка экологического состояния качества вод поверхностных водных объектов с помощью базового показателя антропогенной нагрузки обеспечивает формирование необходимых мероприятий по реабилитации водных объектов или их участков.

Показана возможность унифицированного подхода исследования динамики ПАНб для оценки качества как водотоков (динамика в пространстве), так и водоемов (динамика во времени), как под воздействием локальных, так и диффузных негативных воздействий (от ЖКХ, от отраслей промышленности, от притоков).

В работе представлена схема синергетического воздействия факторов, определяющих развитие процесса питьевого водоснабжения. Кроме того,

разработана методология оценки качества водопроводной инфраструктуры. Учитывая тот факт, что все перечисленные выше составляющие процесса питьевого водоснабжения должны обеспечивать не только технологическую и санитарную надежность, но и иметь экономически оправданные принципы выбора, в работе представлена методология оценки стоимости жизненного цикла [29,92] для объектов водоснабжения и водоотведения.

Использованные в данной работе методы требуют создания методологии, которая должна основываться на учете всех составляющих процесса питьевого водоснабжения для формирования подходов к выбору соответствующих стратегий развития предприятий. Такой методологией является выработка риск-ориентированных решений на основе оценки стоимости жизненного цикла.

3 Исследование процесса централизованного питьевого водоснабжения во взаимосвязи применяемых технологий водоподготовки и обеспечения инфраструктуры водоснабжения. Контроль показателей качества питьевой воды

3.1 Структура оценки факторов, формирующих хозяйственно-питьевое водоснабжение. Влияние объекта технологического передела на качество питьевой воды.

В рамках деятельности по организации питьевого водоснабжения предприятия формируют целевые показатели (рисунок 3.1), в числе которых одним из важнейших является качество подаваемой питьевой воды.

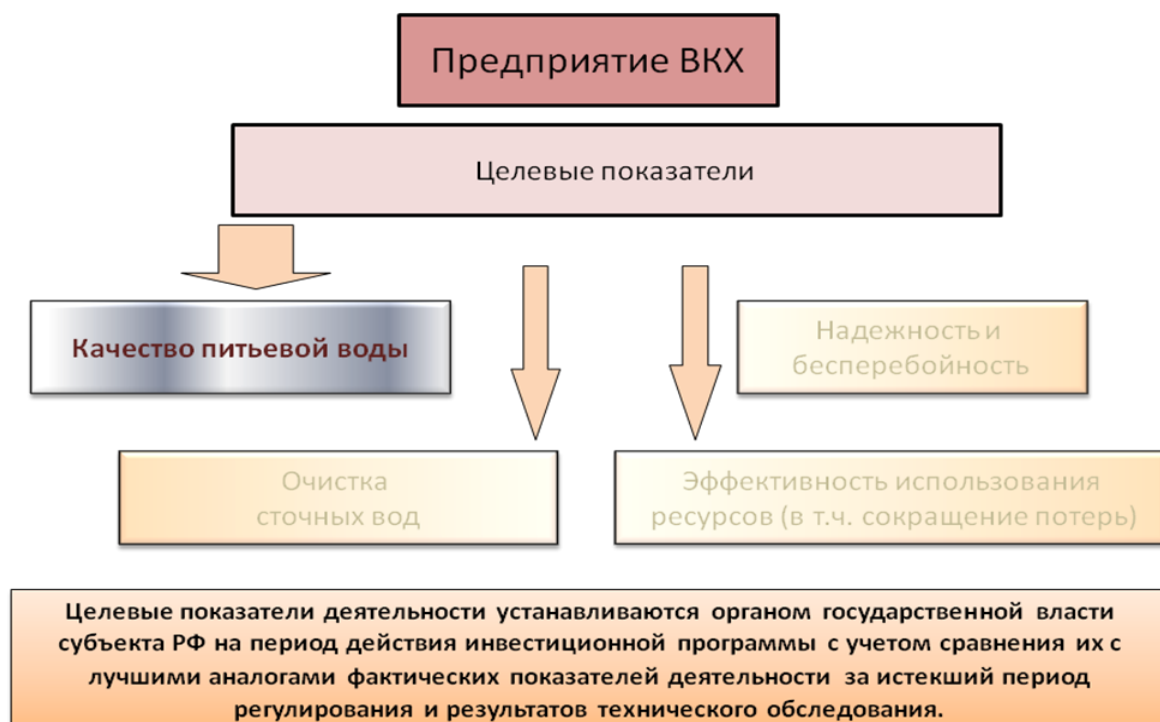


Рисунок 3.1 – Целевые показатели организации питьевого водоснабжения

Критериями, определяющими формирование целевых показателей в части качества питьевой воды являются соответствие / несоответствие требованиям после водоподготовки (пробы, %), в сетях (пробы, %), поданной по договорам (объем, %). Система водоснабжения в процессе работы должна удовлетворять требованиям надежности и экономичности.[5] Недоучет требований надежности при проектировании, строительстве и эксплуатации систем может привести к нарушениям нормального водоснабжения. Под надежностью понимается

способность системы обеспечивать потребителей водой в необходимых количествах, требуемого качества и под требуемым напором. На рисунке 1 (стр.14) представлены принципиальные составляющие процессов питьевого водоснабжения, определяющие санитарную и технологическую надежность питьевого водоснабжения.

В ранее опубликованных работах [5,27,29] автором показана возможность оценки представленных факторов влияния на качество питьевой воды централизованных систем водоснабжения. Учитывая предлагаемые в п. 2.3 настоящей работы методы синергетической структуры управления для организации ВКХ, на основании данных главы 1 была проведена оценка взаимовлияния факторов формирования качества питьевой воды для централизованных систем водоснабжения. В таблице 3.1 представлены позиции оценки влияния факторов на функционирование систем водоснабжения.

Таблица 3.1 – Варианты оценки влияния факторов на функционирование структур системы водоснабжения

Фактор, определяющий надежность системы питьевого водоснабжения	Влияние на организацию процесса водоснабжения	Параметры*
Водоисточник	поверхностный	КВ, БВ, ПП, СУ
	подземный	КВ, ТО, СУ
Водоподготовка	КВ, БВ, БВС, ПП, ТО, КП, СУ	
Транспортировка	КВ, БВ, БВС, КП, СУ	
Лабораторный контроль	КВ, БВ, ПП, ТО, КП, СУ	
Питьевая вода потребителю	Санитарное качество, риски для здоровья населения	КВ, БВ, БВС
Водообеспечение	Технологическая задача, безаварийность системы	БВС, ТО, КП, СУ

* качество воды КВ, безопасность водоснабжения БВ, бесперебойность водоснабжения БВС, постоянство параметров ПП, технологическая обеспеченность ТО, квалификация персонала КП, себестоимость услуги водоснабжения СУ,

Исходя из данных таблицы 3.1, необходимо рассмотреть структуру взаимодействия параметров, определяющих влияние факторов на состояние систем водоснабжения и определить принципы и подходы в целях обеспечения функционирования централизованных систем водоснабжения.

В целом, взаимодействие факторов (рисунок 3.2) должно учитывать технологические, гигиенические и экономические требования, однако такой учет не может быть достигнут путем компромисса в сторону экономических возможностей, т.к. на основании [99] принципиальной задачей является обеспечение безопасности. Таким образом, далее рассматривается взаимосвязь факторов, определяющих выбор технологических решений через оценку потенциальных рисков для здоровья населения.

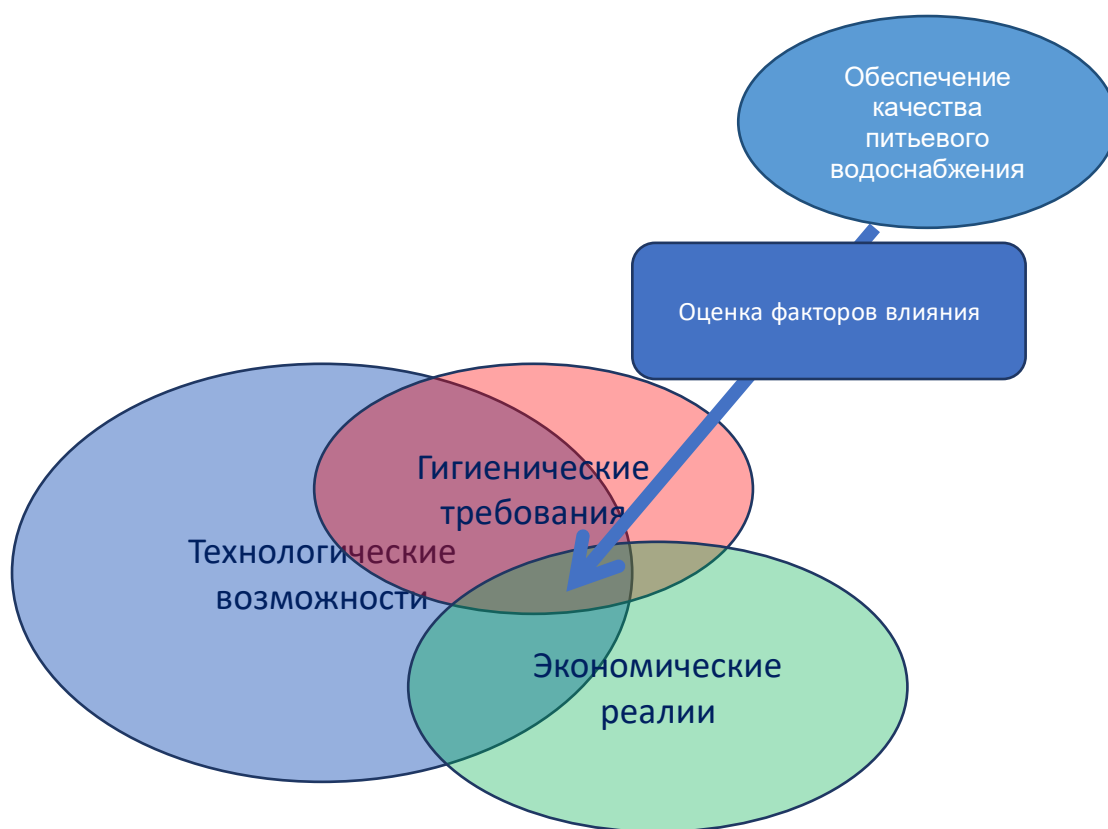


Рисунок 3.2 – Общая концепция взаимодействия факторов, влияющих на выбор технологических решений водоснабжения

3.2 Формирование рисков для здоровья населения, связанных с получением питьевой воды (водоисточник и водосборная территория; водоподготовка; транспортировка; питьевая вода; лабораторный (производственный) контроль)

3.2.1 Принципы и подходы к характеристике водного источника

Существующие требования к оценке качества водного источника исходят из необходимости соответствия уровней загрязнения установленным гигиеническим нормативам (ПДК). Данный подход представлен в главе 1 настоящей работы и основан на проведенных ранее исследованиях, в т.ч. исходящих из реалий доступности водных ресурсов. Текущая экологическая ситуация демонстрирует общее сокращение доступных ресурсов питьевой воды, что непосредственно сказывается на качестве воды водных источников питьевого водоснабжения (рисунок 3.3). В определяющей степени антропогенному воздействию подвержены поверхностные водные источники.

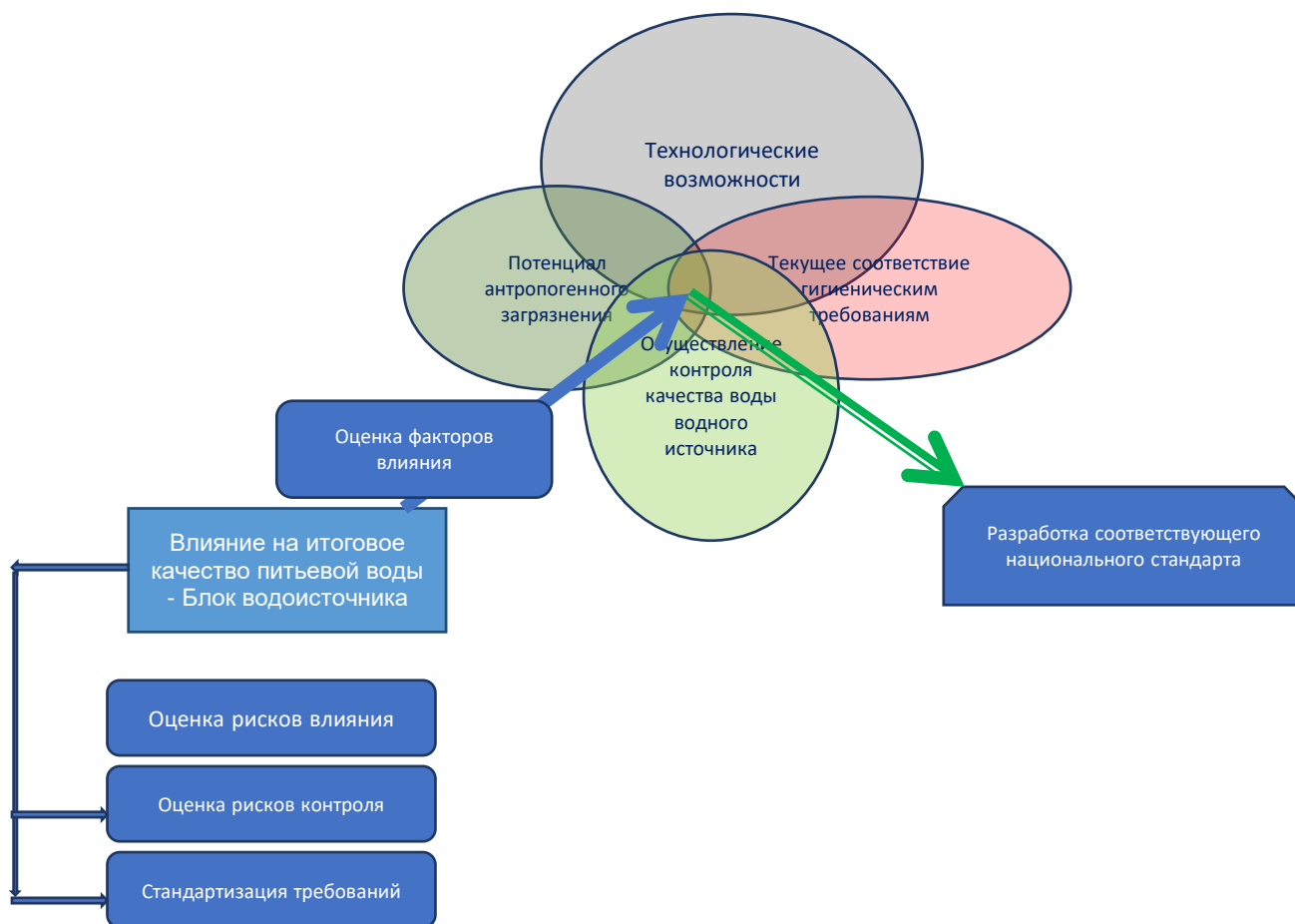


Рисунок 3.3 – Принципы и подходы к оценке качества водного источника

Исходя из данных, приведенных в главе I, более половины населения нашей страны, в т.ч. практически все города – миллионники, обеспечиваются питьевой водой из систем водоснабжения, использующих поверхностные водные источники. Вместе с тем, согласно ранее описанным данным, водный источник можно представить как функцию, включающую в себя возможность установления влияния антропогенных факторов, определяющих химическое загрязнение.

В рамках проведенных исследований сформирован подход, основанный на использовании показателя антропогенной нагрузки для определения класса водного источника и системы химических аналитов - маркеров для получения перманентной характеристики водного объекта. Итогом исследования является разработка и утверждение национального стандарта [99]. Регламентирование соотношения антропогенной нагрузки и самоочищающей (ассимилирующей) способности водной экосистемы [99] и соотношение антропогенной нагрузки (негативного воздействия) и самоочищающей (ассимилирующей) способности водной экосистемы выполняют в соответствии с принципами, которые разработаны автором настоящей работы в соавторстве при подготовке ГОСТ Р 58556—2019 [74,79] по методу оценки динамики показателя антропогенной нагрузки ПАНб на исследуемом участке водотока. Для оценки используют среднегодовые значения ПАНб, установленные по среднемесячным или среднесезонным (не менее двух раз в сезон) данным мониторинга. Удельный показатель истощения качества вод на исследуемом участке водотока $K_{\text{ПАНб}}$, усл. м³/м³·км, вычисляют по формуле [74,99]:

$$K_{\text{ПАНб}} = \frac{(\text{ПАНб}_\text{к} - \text{ПАНб}_\text{ф})}{L_y}, \quad (3.1)$$

где $\text{ПАНб}_\text{к}$, $\text{ПАНб}_\text{ф}$ — значения базового показателя антропогенной нагрузки соответственно в контрольном и фоновом створах, усл.м³/м³;

L_y — длина участка водотока между фоновым и контрольным створами, км. $K_{\text{ПАНб}}$ следует сравнить с условно-нормативным удельным показателем истощения качества вод в соответствии с [79] (пункт 5.8), либо с текущим

удельным показателем истощения качества вод исследуемого участка водотока $K_{T\text{ПАНб}}$, усл. $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{км}$, вычисляемым по формуле:

$$Km_{\text{ПАНб}} = \frac{ДАН}{L_B}, \quad (3.2)$$

где ДАН — допустимая антропогенная нагрузка, устанавливаемая по данным текущего мониторинга ПАНб, соответствующая среднегодовому максимальному значению, наблюдаемому в контрольных створах после локальных воздействий, характеризуемая последующим превышением процессов самоочищения над антропогенной нагрузкой;

L_B — длина участка водотока от истока до створа установления ДАН, км.

Регламентируемые положения при обосновании условий водопользования (планов водоохранных мероприятий) предусматривают следующие действия:

1) водоохранные мероприятия обязательны для объектов негативного воздействия (ОНВ) при несоблюдении нормативов качества используемых поверхностных вод в отношении показателей I-II классов опасности;

2) в результате хозяйственной деятельности ОНВ обязательно выполняют текущую оценку состояния водного объекта (ТОСВО) по данным импактного мониторинга по базовым анализам-маркерам в соответствии с [81] (приложение В, принцип 7) по алгоритму, представленному в [79] (приложение В);

3) данные ТОСВО в соответствии с [79] (пункт 5.10) обеспечивают ранжирование ОНВ на водопользователей, не оказывающих и оказывающих негативное воздействие на водный объект, последние из которых подразделяются на ОНВ, которые оказывают вред (нормативное истощение качества используемых вод) или ущерб (установлена деградация водной экосистемы);

4) верификацию расчетных данных выполняют с экологической позиции на основе целевых базовых анализов-маркеров II класса качества воды, обеспечивающих экологическое благополучие водных экосистем;

5) в соответствии с [80] (пункт 5.6) обоснование целесообразных водоохранных мероприятий по данным ТОСВО выполняют на основе следующих регламентируемых положений:

- если установлено превышение процессов самоочищения водного объекта над процессами истощения качества вод, то негативное воздействие хозяйственной деятельности ОНВ не оказывает вреда на водный объект. Сбросы соответствуют НДВ. Мероприятия в отношении базовых показателей качества сточных вод для ОНВ не целесообразны;
- если установлено нормативное превышение процессов истощения качества воды водного объекта над процессами самоочищения, негативное воздействие хозяйственной деятельности ОНВ оказывает вредное воздействие на водный объект. Обоснование водоохранных мероприятий выполняют при разработке бассейновых программ;
- если установлено сверхнормативное превышение процессов истощения качества воды водного объекта над процессами самоочищения, негативное воздействие хозяйственной деятельности ОНВ оказывает ущерб водному объекту. Мероприятия в отношении базовых показателей качества вод целесообразны (обязательны);

6) если действия по регулированию водопользования, выбору водоохранных мероприятий противоречат здравому смыслу (плата за свежую воду и экологические платежи меньше расходов по содержанию оборотной системы и др.), то экономический механизм не является регулятивным и в обязательном порядке подлежит корректировке.

Регламентируемые положения обеспечивают объективность механизма регулирования водопользования путем верификации расчетных данных системы нормирования сбросов ОНВ (целевых показателей, допустимых сбросов, антропогенного воздействия, нагрузки) по данным импактного мониторинга. Показатели оценки состояния водных экосистем используют в соответствии с данными таблицы 3.2.

Оценку снижения интенсивности биохимической трансформации (СИБТ, %) самоочищающей способности водных экосистем в зависимости от ПАН⁶ выполняют на основании данных, рассчитанных по формуле 3.3:

$$\text{СИБТ} = 0,526 \text{ ПАН}^6 - 3,05, \quad (3.3)$$

где ПАН⁶ — характеристика качества воды в анализируемом створе по ПАН⁶, усл. м³/м³.

Таблица 3.2 – Показатели оценки состояния водных экосистем с учетом риск-ориентированного подхода [74,79]

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)
Кризисность водной экосистемы	Состояние обратимых изменений		Пороговое уязвимое состояние	Состояние необратимых изменений	
Снижение интенсивности биохимической трансформации, % (см. [79, рисунок В.1])	0		Менее 10	Менее 30	Менее 70
Базовый показатель антропогенной нагрузки (ПАН ⁶), усл. м ³ /м ³ ([79 приложение А])	Менее 4,2	4,2–10,8	10,9–24,0	24,1–70	70,1-135
ПАН N _{минер} , усл. м ³ /м ^{3*}	1	1	1–2	Менее 7,8	Менее 21,2
K _{троф} ^{**} , ед.	1	1	Менее 1,46	Менее 3,46	Менее 3,84
Величина ТКР, усл. м ³ /м ³	1	Менее 2,4	2,4–8	2,4–8	Более 8
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 [87 (приложение А)], т.е.ПАНN _{минер} = ПАН (NNH ₄) + ПАН (NNO ₃) + ПАН (NNO ₂).					
** Коэффициент трофностиK _{троф} характеризует уровень метаболизма экосистемы. K _{троф} , ед., рассчитывают по частным показателям ПАН ⁶ по формуле: K _{троф} = ПАН (N _{минер}) / ПАН P (PO ₄ ³⁻), где в соответствии с п. 5.2.2–5.2.3, приложения А [87]и целевому показателю по фосфору фосфатов, равному 0,1 мг/усл. дм ³ :ПАН P(PO ₄ ³⁻) = [(C (PO ₄ ³⁻) / 0,1) – 1]. Система сбалансирована, если K _{троф} стремится к 1. При K _{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.					

СИБТ используют при оценке потенциальных возможностей самоочищающей способности водной экосистемы при планировании улучшения ее качества. Целевые показатели качества поверхностных вод по классам качества используют комплексно по группе аналитов-маркеров в соответствии с данными, приведенными в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Целевые показатели качества поверхностных вод с экологических позиций

Наименование показателя	Значение показателя для класса качества вод*		
	I	II	III
pH, ед. pH	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 ₂ /дм ³	Менее 15	15 – 25	26 – 50
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅), мгО ₂ /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
ПАН ^б , 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.			

Целевые показатели могут устанавливаться на региональном уровне. Перечень целевых показателей группы аналитов-маркеров дополняют отраслевыми маркерными показателями в соответствии с информационно-техническими справочниками (ИТС) по наилучшим доступным технологиям. Целевые показатели ПАНб являются ориентиром при оценке качества воды в результате снижения антропогенной нагрузки. Для оценки класса качества воды, состояния водных экосистем используют ПАНб и токсичную кратность разбавления (ТКР) как основные показатели. Однозначность деградации водных

экосистем при необходимости подтверждают по индексу трофической комплектности (ИТК). Для оперативной оценки класса качества используемых вод используют величину ТКР. Показатели ПАН $N_{\text{минер}}$, $K_{\text{троф}}$ дополнительно используют для обнаружения признаков эвтрофирования водного объекта. Пример исследования функционального состояния используемого участка водного объекта представлен в Приложении Б.

Помимо оценки качества воды водных источников необходимо введение риск-ориентированного подхода в части организационных мероприятий, важнейшим из которых является соблюдение режимов зоны санитарной охраны (ЗСО) водных источников. На основании этого, нами предлагается (таблица 3.4) структура оценки рисков за счет фактора водного источника.

Таблица 3.4 – Оценка рисков для здоровья за счет фактора водоисточника

Оценка риска	Класс водоисточника по [24]	Соблюдение режима [12]	Соблюдение требований [25]	Соблюдение [24,25]
Несущественный	1	Наличие 3 - х поясов ЗСО, соблюдение в них санитарного режима	Соблюдается	Соблюдаются все нормативные документы
Неопределенный	2	Отсутствие 3 пояса ЗСО	Согласованы ВДНС	Соблюдаются только [24]
Существенный	3	Отсутствие ЗСО	Несогласованы НДС	Не соблюдаются требования документов

Исходя из данных раздела 2, таблицы 2.7 настоящей работы, применительно к водному источнику матрица рисков выглядит следующим образом (таблица 3.5):

Таблица 3.5 – Составляющие оценки рисков, применительно к водному источнику

Определение событий:	Класс	Частота возникновения:	Пример
Почти наверняка	5	Один раз в день	Колебание качества воды в пределах ПДК
Вероятно	4	Один раз в неделю	Перебои в электроснабжении Сбой в системе водозабора Сбой контрольно-измерительной аппаратуры.
С умеренной вероятностью	3	Один раз в месяц	Колебание качества воды с превышением ПДК по веществам, постоянно контролируемым, нарушение режима 2 и 3 поясов ЗСО
Маловероятно	2	Один раз в год	Дополнительное загрязнение водного источника
Изредка	1	Один раз в 5 лет	Выявление новых показателей расширенного контроля

Продолжение таблицы 3.5

<i>Тяжесть последствий:</i>	Класс	<i>Последствия:</i>	Пример
Катастрофическое воздействие на здоровье населения	5	Воздействие на химический состав с превышением ПДК	Резкое ухудшение качества воды, природная или техногенная авария, приводящая к изменению качества воды водного источника, карстр с радиоактивной породой
Существенное воздействие	4	Воздействие на химический состав в пределах ПДК	Изменение качества по показателям жесткости, железу, марганцу
Умеренное воздействие на органолептические свойства	3	Воздействие на органолептические свойства	Паводок, затопление колодца скважины
Слабое воздействие	2	Воздействие без превышения нормативов	Колебание качественного состава воды сезонное
Воздействие незначительно или отсутствует	1	Воздействие отсутствует или не выявлено	Текущие колебания качества воды

Таким образом, в настоящем разделе автором рассмотрены составляющие оценки рисков для питьевого водоснабжения в части водного источника и составлена матрица оценки рисков для дальнейшего учета при формировании принципов национальной стандартизации.

3.2.2 Принципы оценки технологий водоподготовки

Текущие требования к технологиям водоподготовки основаны на исследованиях авторов [1,2,3,6,27 и др.]. Основные задачи, решаемые в результате процессов водоподготовки – это передел воды, поступившей на станцию и приведение состояния воды к требованиям, установленным гигиеническими нормативами. В зависимости от качества исходной воды, в т.ч. с учетом потенциального сезонного колебания качества для поверхностных источников (паводковый период, засушливый период, ливневый период), технологии водоподготовки должны быть переменными и обеспечивать круглогодичное соответствие качества подготовленной воды требованиям гигиенических нормативов. Учет сезонных и годовых изменений качества воды источников основан на реализации программы производственного контроля, упоминаемой в предыдущем пункте настоящей работы. Выбор соответствующей технологии водоподготовки должен сопровождаться оценкой экологической

составляющей строительства и модернизации [243]. Проведенные ранее автором настоящей работы исследования показали возможность сформировать подходы к оценке рисков и выбору технологий водоподготовки в рамках обеспечения качества питьевой воды для СПВ. [28,29]. С целью формирования подходов к оценке рисков рассмотрим некоторые нештатные ситуации и факторы опасности, следующие из них (таблица 3.6). 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 3.6) [28,29].

Таблица 3.6 – Примеры нештатных событий и связанных с ним факторов опасности при оценке технологий очистки питьевой воды

Нештатное событие	Факторы опасности
Несоблюдение режимов зон санитарной охраны водного источника	Непредсказуемое изменение качества воды.
Перебои в электроснабжении Сбой в системе водоподготовки Сбой контрольно-измерительной аппаратуры.	- Технологические перебои процесса; - Отсутствие обеззараживания воды -Неподготовленная вода. Отсутствие управление технологическим процессом водоподготовки
Несоответствие регламентной производительности сооружений водоподготовки.	-Перегрузка сооружений водоподготовки. - Недостаточное качество водоподготовки.
Нарушение технологии обеззараживания воды	- Присутствие микробиологического загрязнения; - Формирование побочных продуктов обеззараживания
Использование для водоподготовки реагентов и материалов, не соответствующих проектной документации, не соответствующих стандарту, требованиям санитарных правил	Загрязнение системы водоснабжения и снижение качества питьевой воды. Дополнительная химизация питьевой воды, необходимость дополнительно контроля показателей качества питьевой воды
Нерегламентная работа фильтров. Недостаточный объем фильтрующей загрузки	Недостаточное удаление взвешенных частиц, вторичное загрязнение и снижение качества питьевой воды
Нарушение правил антитеррористической безопасности	Загрязнение или прекращение подачи воды
Аварийные ситуации: пожар; взрыв, наводнение	Нарушения в технологии водоочистки. Прекращение или ограничение работы водоочистных сооружений

При оценке риска в качестве критерия оценки технологии водоподготовки значительную роль играет экспертное мнение, которое позволяет судить о рисках для здоровья населения, возникающих в связи с опасными факторами или событиями (таблицы 3.7, 3.8). В рамках данной работы предложены факторы, описывающие воздействие на качество воды и, сообразно с этим, на выбор технологии водоподготовки. В таблице 3.7 риски распределены по частоте наступления, в зависимости от типа возможного

Таблица 3.7 – Матрица для оценки надежности технологии очистки воды на основе определения риска полуколичественным методом [28,29,101]

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

Таблица 3.8 – Показатели для оценки риска полуколичественным методом

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

Таблица 3.9 – Параметры для определения приоритетности риска [28,29]

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 вероятное 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 3.10 – Оценка рисков для здоровья за счет химических веществ, присутствующих в питьевой воде

Вещества, обладающие канцерогенным эффектом		
Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск CR [6]	Характеристика риска	Меры необходимые для снижения риска
<10 ⁻⁶	Несущественный	Не требуются
>10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵	Неопределенный	Увеличение кратности определений приоритетных веществ, формирующих риск
>10 ⁻⁵	Существенный	Незамедлительные меры по снижению риска в течение срока, обусловленного выраженностью неприемлемого риска
Неканцерогенные вещества		
Коэффициент опасности HQ [6]	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.

С учетом данных таблиц 3.9, 3.10 сформированы общие принципы оценки рисков за счет питьевого фактора, детерминированного процессом водоподготовки (таблица 3.11)

Таблица 3.11 – Оценка рисков для здоровья [5,27-29] за счет питьевого фактора, определенного водоподготовкой

Оценка риска	Критерии риска за счет воды, поступающей в сеть после водоподготовки	Регламент работы сооружений	Качество реагентов, загрузок, материалов	Производственный контроль
Несущественный	Низкий по уровню коэффициента опасности и индивидуального пожизненного риска	Согласован органами Роспотребнадзора	Концентрации веществ в менее 0,1 ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность менее и на уровне 0,1 ПДК
Неопределенный	Приемлемый по уровню коэффициента опасности и индивидуального пожизненного канцерогенного риска	Согласован органами Роспотребнадзора	Концентрация веществ менее 0,5 ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне 0,5 ПДК
Существенный	Неприемлемый по коэффициенту опасности и индивидуальному пожизненному канцерогенному риску	Не согласован органами Роспотребнадзора	Концентрация на уровне и выше ПДК	Методы контроля обеспечивают чувствительность на уровне ПДК

3.2.3 Принципы совершенствования технологий водоподготовки для нужд централизованного питьевого водоснабжения

Процессы и технологии для нужд ЦСВ выбираются на основе действующих требований - строительных правил [7]. Эти правила предлагают набор технологических решений, исходя из постадийной обработки воды на сооружениях водоподготовки. Текущая, равно как и прошлые редакции строительных правил в области водоснабжения, фактически являют собой дискретную систему технологических переделов воды на сооружениях водоподготовки. такой подход является оправданным, исходя из целостности представления о процессах обеспечения населения качественной питьевой водой. Вместе с тем, исходя из изменяющегося качества водных источников, предназначенных для нужд питьевого водоснабжения, что особенно актуально для поверхностных водных источников [102], а также в связи с тем, что требования строительных правил не предусматривают обязательного выбора общей схемы водоподготовки, в ходе выполнения данной работы, предложен

«схемный» принцип выбора технологических решений, основанный на следующем:

- анализ качества воды водного источника, в т.ч. учет факторов стабильности и агрессивности исходной воды
- выбор технологии водоподготовки, исходя из формирования типовых схем обработки воды водных источников
- учет свойств воды после сооружений водоподготовки, исходя из коррозионных составляющих
- энерго- и ресурсоэффективность выбранных технологических схем
- оптимизация выбора сооружений водоподготовки на основе принципов стоимости жизненного цикла

Данный подход был реализован автором настоящей работы по поручению Минстроя РФ при формировании «Справочника перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения» (далее – Справочник) [9].

Единый алгоритм выбора технологических решений	
Оценка проектов по реконструкции, модернизации, строительству централизованных систем водоснабжения	Формирование подходов к оценке эффективности предлагаемых решений

Рисунок 3.7 – Задачи Справочника

Данный Справочник используется для оценки и выбора технологических решений водоподготовки в рамках реализации Федерального Проекта «Чистая вода» (рисунки 3.7, 3.8). На основании описанных в справочнике технологических подходов, при содействии автора настоящей работы была подготовлена автоматизированная система – алгоритм выбора технологий водоподготовки. При разработке данной системы, являющейся автоматизированным отражением Справочника, были учтены многолетние наработки в области водоподготовки и очистки воды. Для удобства пользования системой был разработан простой и понятный интерфейс, основой которого

являются «окна ввода параметров воды», обязательные для заполнения органами местного самоуправления (ОМСУ). На основании введенных данных (в соответствии с анализами, подтвержденными Роспотребнадзором), системой предоставляется выбор технологий водоподготовки и очистки воды, указанных в Справочнике.

Как было отмечено выше, основными принципами, которые необходимо учитывать при выборе технологий водоподготовки, является схемный подход. Принцип схемного подхода исходит из необходимости проектирования сооружений на основании действующих технических регламентов, но с учетом обоснования отдельных стадий технологии водоподготовки и их взаимосвязи друг с другом. Одновременно с этим, схемный подход учитывает фактор масштабирования, т.е. дает возможность использования при выборе технологических схем либо сооружения капитального строительства, либо сооружения модульного типа.

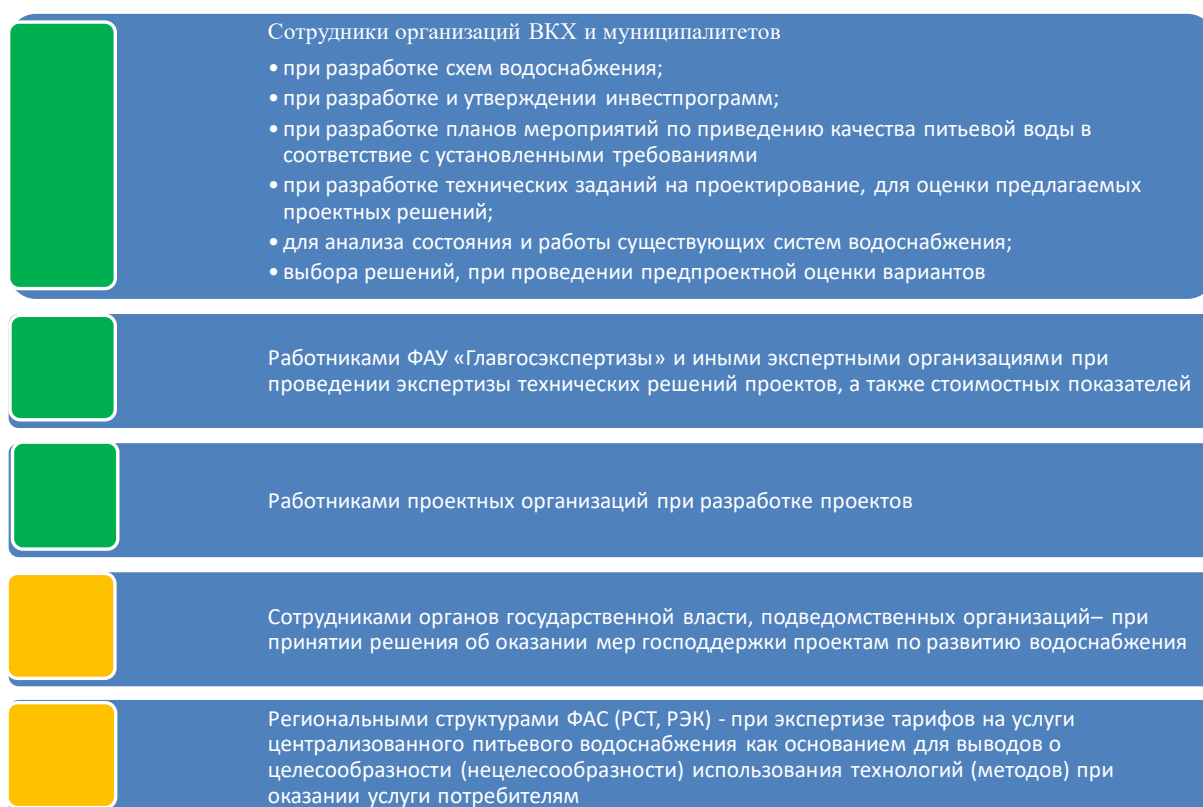


Рисунок 3.8 – Область применения Справочника

На основании проведенных исследований предложена классификация сооружений водоподготовки по производительности (см. таблицу 1.1, удельный норматив водопотребления принят 200 л/чел. в сутки.). С учетом современного развития техники и технологий крупные водоподготовительные сооружения производительностью более 40 тыс.м³/сут. относятся к объектам капитального строительства. Водоподготовительные сооружения производительностью от 20 м³/сут. до 40 тыс.м³/сут. могут изготавливаться в заводских условиях в контейнерном и блочно-модульном исполнении и поставляться в готовом виде. Населенные пункты с численностью менее 100 человек целесообразно обеспечивать индивидуальными средствами очистки воды или используя подвоз воды питьевого качества [9].

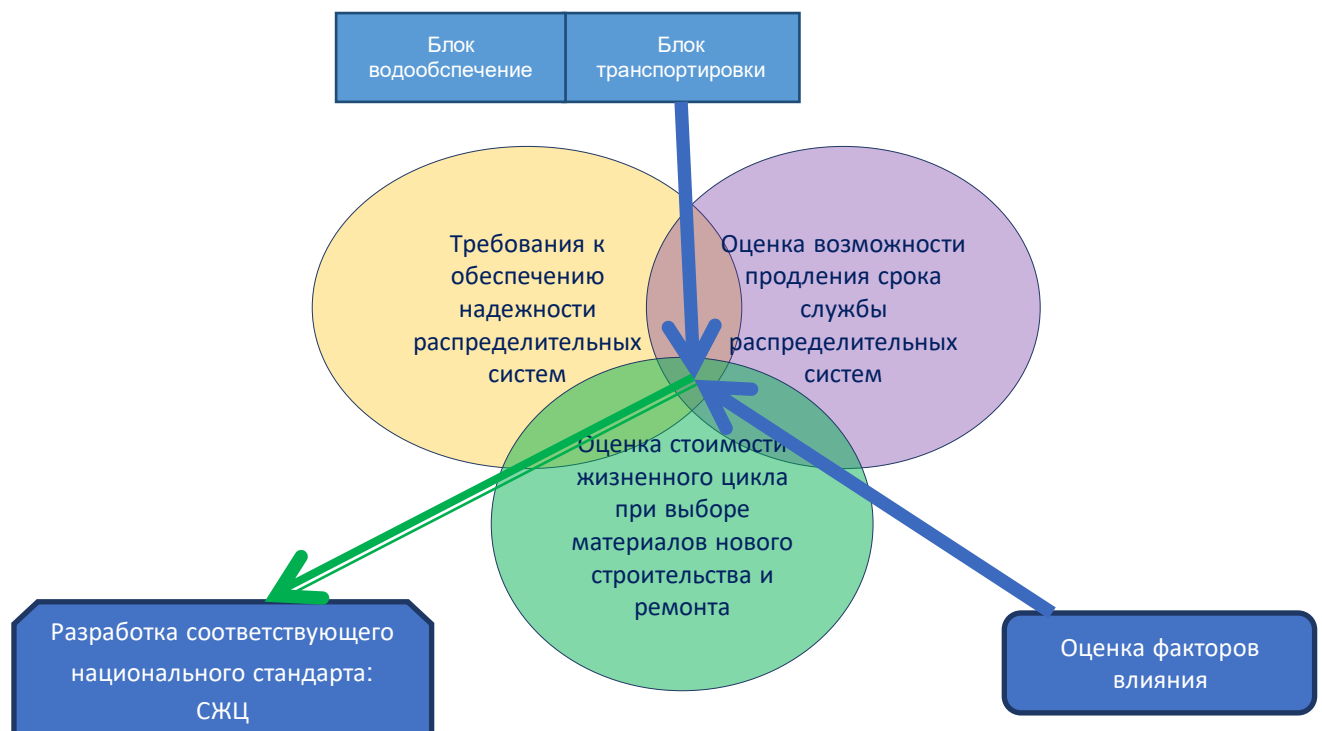


Рисунок 3.9 – Обоснование выбора технологий водоподготовки

Для выбора технологий водоподготовки с учетом рассматриваемых принципов риск - ориентированного подхода предложено использование концепции оценки стоимости жизненного цикла. При этом данная концепция применительно к процессу водоподготовки должна включать в себя составляющую, описывающую оценку риска для здоровья населения от водного питьевого фактора (рисунок 3.9). Исходя из данного подхода и происходит выбор доступных технологий подготовки питьевой воды и параметров их

применения. Основные показатели качества питьевой воды изложены в таблицах 3.12 -3.15.

Таблица 3.12 – Требования к качеству питьевой воды. СанПиН 1.2.3685-21 [25], ВОЗ, USEPA-США, ЕС.

Показатели	Ед. измерения	СанПиН 1.2.3685-21	ВОЗ	US EPA (США)	ЕС
		Нормативы ПДК, не более			
Водородный показатель	ед. рН	в пределах 6-9	-	6,5-8,5	6,5-8,5
Общая минерализация(сухой остаток)	мг/л	1000	1000	500	1500
Жесткость общая	мг-экв/л	7,0	-	-	1,2
Окисляемость перманганатная	мг O ₂ /л	5	-	-	5
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1	-	-	-
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	0,5	-	-	-
Фенольный индекс	мг/л	0,001	-	-	-
Щелочность	мг HCO ₃ ⁻ /л	0,25	-	-	30
Неорганические вещества					
Алюминий (Al ³⁺)	мг/л	0,2	0,2	0,2	0,2
Азот аммонийный	мг/л	2	1,5	-	0,5
Асбест	мл.во-локно/л	-	-	7	-
Барий (Ba ²⁺)	мг/л	0,1	0,7	2	0,1
Бериллий(Be ²⁺)	мг/л	0,0002	-	0,004	-
Бор (В, суммарно)	мг/л	0,5	0,3	-	1
Ванадий (V)	мг/л	0,1	0,1	-	-
Висмут (Bi)	мг/л	0,1	0,1	-	-
Железо (суммарно)	мг/л	0,3	0,3	0,3	0,2
Кадмий (Cd,суммарно)	мг/л	0,001	0,003	0,005	0,005
Калий (K ⁺)	мг/л	-	-	-	12
Кальций (Ca ²⁺)	мг/л	-	-	-	100
Кобальт (Co)	мг/л	0,1	-	-	-
Кремний (Si)	мг/л	10	-	-	-
Магний (Mg ²⁺)	мг/л	-	-	-	50
Марганец (Mn,суммарно)	мг/л	0,1	0,5 (0,1)	0,05	0,05
Медь (Cu, суммарно)	мг/л	1	2,0 (1,0)	1,0-1,3	2
Молибден (Mo,суммарно)	мг/л	0,25	0,07	-	-
Мышьяк (As,суммарно)	мг/л	0,05	0,01	0,05	0,01
Никель (Ni,суммарно)	мг/л	0,01	-	-	-
Нитраты	мг/л	45	50	44	50
Нитриты	мг/л	3	3	3,5	0,5
Ртуть (Hg, суммарно)	мг/л	0,0005	0,001	0,002	0,001
Свинец (Pb,суммарно)	мг/л	0,03	0,01	0,015	0,01
Селен (Se, суммарно)	мг/л	0,01	0,01	0,05	0,01
Серебро (Ag ⁺)	мг/л	0,05	-	0,1	0,01
Сероводород (H ₂ S)	мг/л	0,03	0,05	-	-
Стронций (Sr ²⁺)	мг/л	7	-	-	-
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/л	500	250	250	250
Фториды (F) для климатических районов I и II	мг/л	1,51,2	1,5	2,0-4,0	1,5
Хлориды (Cl ⁻)	мг/л	350	250	250	250
Хром (Cr ³⁺)	мг/л	0,5	-	0,1	-
Хром (Cr ⁶⁺)	мг/л	0,05	0,05	(всего)	0,05
Цианиды (CN ⁻)	мг/л	0,035	0,07	0,2	0,05
Цинк (Zn ²⁺)	мг/л	5	3	5	5

Таблица 3.13 – Требования по микробиологическим и паразитологическим показателям воды [90]

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфоредацующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 мл	Отсутствие

Таблица 3.14 – Требования к органолептическим свойствам воды [90]

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Запах	баллы	2
Привкус	баллы	2
Цветность	градусы	20 (35)
Мутность	ЕМФ (ед. мутности поформазину) или мг/л (по каолину)	2,6 (3,5)1,5 (2,0)

Таблица 3.15 – Требования по радиационной безопасности питьевой воды [90]

Показатели	Ед. измерения	Нормативы	Показатель вредности
Общая α-радиоактивность	Бк/л	0,1	радиацион.
Общая β-радиоактивность	Бк/л	1,0	радиацион.

При подготовке питьевой воды основными лимитирующими показателями качества являются железо, марганец, органические соединения, окисляемость, цветность, нитраты, вкус и привкус, запах. Ориентировочная оценка источников водоснабжения для применения доступных технологий по упрощенным показателям - индикаторам приведена в таблице 3.16

Таблица 3.16 – Упрощенная схема выбора технологии водоподготовки

Наименования	Величина показателя	Рекомендуемые действия
«Железо общее», мг/л	Менее 3,0	Применяются традиционные доступные технологии
	3,0 -10,0	Необходимы дополнительные технико - экономические обоснования на основе лабораторных изысканий
	более 10,0	Желательно использование альтернативного источника
«Цветность», градусы	менее 120	Применяются традиционные доступные технологии
	120 - 200	Необходимы дополнительные технико - экономические обоснования на основе лабораторных изысканий
	более 200	Желательно использование альтернативного источника

Для доведения качества природной воды до требований СанПиН целесообразным является применение традиционных доступных технологий, приведенных в Приложении В.

Комплексные технологические решения по выбору традиционных доступных технологий находятся в зависимости от анализа качества исходной воды и должны включать оптимальный набор для каждого конкретного объекта. В качестве примера можно использовать данные таблицы 3.17.[5,9] Принятие решения по выбору технологии осуществляется проектной организацией или поставщиком технологии и оборудования на основании лабораторных изысканий, а также сравнения различных вариантов. При этом согласно общепринятой практике, организация, принимающая принципиальные технологические решения, должна нести финансовые обязательства по гарантии достижения целевых индикаторов.

Таблица 3.17 – Варианты применения доступных технологий водоподготовки

Показатели качества воды	Варианты применения доступных технологий
Железо общее, мг/л, менее 3,0	Вариант 1: Аэрация, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание. Вариант 2: Химическое окисление, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание. Вариант 3: Химическое окисление, фильтрация на мембране, обеззараживание.
Железо общее, мг/л 3,0 - 10,0	Вариант 1: Химическое окисление, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание. Вариант 2: Химическое окисление, отстаивание, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание. Вариант 3: Химическое окисление, фильтрация на мембране, обеззараживание.
Цветность, градусы, менее 120	Вариант 1: Коагуляция, флокуляция, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание Вариант 2: Коагуляция, флокуляция, отстаивание, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание Вариант 3: Коагуляция, флокуляция, фильтрация на мембране, обеззараживание.
Цветность, градусы, 120 - 200	Вариант 1: Коагуляция, флокуляция, отстаивание, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание Вариант 2: Аэрация, коагуляция, флокуляция, флотация, фильтрация на кварцевом песке, обеззараживание Вариант 3: Химическое окисление, коагуляция, флокуляция, фильтрация на мембране, обеззараживание

В таблице 3.18 представлены примерные расчеты инвестиционных затрат, связанные с выбором технологии водоподготовки. Указанные инвестиционные затраты могут являться контрольными значениями технико-экономических показателей при формировании программных мероприятий и оценке эффективности инвестиционной деятельности и должны уточняться при

подготовке проектно-сметной документации с учетом местных условий по подключению водоподготовительных установок к сетям водоснабжения, водоотведения, электро, газо- и теплоснабжения.

3.2.4 Принципы осуществления контроля процесса водоподготовки

Любые сооружения водоподготовки или очистки сточных вод в конечном итоге должны обеспечивать требуемые показатели качества воды, которые в первую очередь зависят от состава и свойств исходной воды и от технологии водоподготовки (водоочистки). Однако вопросы обеспечения качества питьевой воды и сточной воды имеют разные законодательные требования. Если говорить про очистку сточных вод, то достижение требуемой степени очистки может основываться на компромиссных с точки зрения взаимоотношений с окружающей средой, позициях, примером чему являются временно разрешенные сбросы или выработка технологических показателей для городских очистных сооружений. Качество питьевой воды систем питьевого водоснабжения никаких компромиссов не допускает, т.к. связано со здоровьем людей. Ранее рассмотренные подходы к определению безопасности питьевого водоснабжения [5,27-29] показали необходимость повышения достоверности данных о состоянии питьевой воды. Самым очевидным способом повышения достоверности является увеличение частоты проведенных измерений показателей качества воды, однако такое увеличение – тяжелое бремя для ресурсоснабжающих предприятий, тем более что действующие правила [12,25], устанавливая минимальную периодичность пробоотбора, не дают возможность включать дополнительные исследования в себестоимость питьевой воды. [28,29]

Таблица 3.18 – Удельные инвестиционные затраты технологических ступеней доступных технологий водоподготовки, тыс. руб/м³ (без НДС).**Производительность по установленной мощности, м³/сут**

Технологические ступени доступных технологий		10-40	50-100	100-250	250-500	500-900	1000-1500	1500-2500	2500-4000	4000-6000	6000-10000	10000-14000	14000-20000
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Аэрация и деаэрация	А.)	15,0	10,0	9,5	4,1	4,0	3,3	3,1	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9
Химическое окисление железа и марганца	Б.)	10,0	6,7	6,4	2,7	2,6	2,2	2,1	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3
Коагуляция для удаления органических веществ	В.)	50,0	33,3	31,8	13,6	13,2	11,1	10,4	8,3	7,8	7,0	6,8	6,4
Отстаивание	Г.)	45,0	30,0	28,6	12,3	11,9	9,9	9,3	7,5	7,0	6,3	6,1	5,8
Фильтрация с использованием кварцевого песка I. Ступень	Д.)	75,0	50,0	47,7	20,5	19,8	16,6	15,5	12,4	11,7	10,5	10,2	9,6
Фильтрация с использованием кварцевого песка I+II. Ступень	Е.)	147,5	98,3	93,9	40,2	38,9	32,6	30,6	24,5	22,9	20,6	20,1	18,9
Фильтрация с применением ультрафильтрационной мембраны	Ж.)	165,0	110,0	105,0	45,0	43,5	36,5	34,2	27,4	25,6	23,1	22,5	21,1
Доочистка активированным углем	З.)	57,5	38,3	36,6	15,7	15,2	12,7	11,9	9,5	8,9	8,0	7,8	7,3
Обеззараживание хлорсодержащим реагентом	И.)	10,0	6,7	6,4	2,7	2,6	2,2	2,1	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3
Производство хлорсодержащего реагента	И.)									7,0	6,3	6,1	5,8
РЧВ и подача воды в сеть	К.)	30,0	20,0	19,1	8,2	7,9	6,6	6,2	5,0	4,7	4,2	4,1	3,8

Пример на применение

Компоновка методов очистки I (А+В+Д+З+И), (тыс.руб./м ³)	207,5	138,3	132,0	56,6	54,7	45,9	43,0	34,4	32,3	29,0	28,3	26,5
Компоновка методов очистки II (Б+В+Ж+И), (тыс.руб./м ³)	235,0	156,7	149,5	64,1	61,9	52,0	48,7	39,0	36,5	32,9	32,1	30,0
Компоновка методов очистки III (Б+В+Е+З+И+К), (тыс.руб./м ³)	305,0	203,3	194,1	83,2	80,4	67,4	63,2	50,6	47,4	42,7	41,6	39,0

Инвестиционные затраты

Компоновка методов очистки I. (А+В+Д+З+И), (тыс.руб./станция)	8 299,2	13 832,0	33 008,1	28 292,6	49 229,2	68 807,7	107 512,0	137 615,3	193 521,6	290 282,3	396 360,8	530 392,4
Компоновка методов очистки II. (Б+В+Ж+И), (тыс.руб./станция)	9 399,1	15 665,1	37 382,6	32 042,3	55 753,5	77 926,8	121 760,6	155 853,5	219 169,0	328 753,5	448 890,6	600 685,4
Компоновка методов очистки III. (Б+В+Е+З+И+К), (тыс.руб./станция)	12 198,8	20 331,3	48 517,9	41 586,8	72 360,9	101 139,0	158 029,7	202 278,0	284 453,4	426 680,1	582 602,6	779 612,9

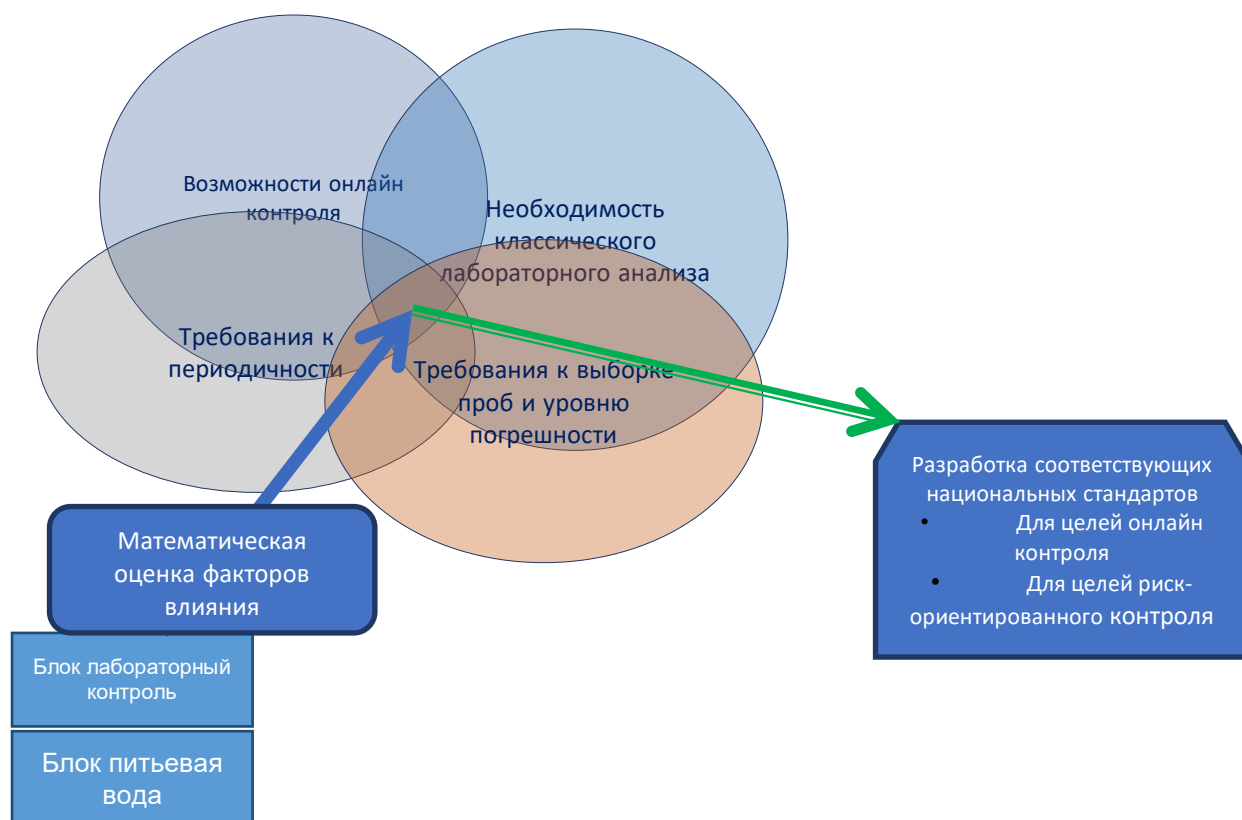


Рисунок 3.10 – Общая методология контроля водоподготовки

Накопленный к настоящему моменту опыт по использованию в составе производственного контроля приборов онлайн контроля свидетельствует об эффективности управления технологическими процессами, оперативности принятия управленческих решений, исключения человеческого фактора при проведении исследований. [28,29,105] Однако в действующей нормативной правовой базе отраслевого и санитарного законодательства [103] для использования систем онлайн контроля качества питьевой воды в рамках производственного контроля отсутствуют основания [105]. В этой связи, по мнению автора, необходимо формирование единой методической платформы построения систем контроля качества воды, исходя из возможности непрерывного и/или автоматического определения показателей качества. Такая платформа в настоящий момент реализуется посредством создания национального стандарта «Вода. Системы автоматического контроля загрязняющих веществ». [105]

Национальный стандарт устанавливает требования к методам и оборудованию, позволяющие проводить аналитический контроль

показателей состава и свойств (загрязнений) вод с помощью систем автоматического контроля (автоматических измерительных систем; систем аналитического контроля на месте отбора проб, систем автоматического мониторинга) для управления технологическими процессами очистки воды, сбора, обработки и передачи данных о показателях загрязнения вод. С учетом имеющегося отечественного и мирового опыта, при разработке проекта стандарта были выдвинуты некоторые ограничения для систем аналитического контроля, в т.ч. в области применения систем автоматического контроля [105], которые на сегодняшний день неприменимы:

- для определения органолептических показателей качества вод,
- для определения биологических, в т.ч. гидробиологических и микробиологических показателей безопасности вод,
- для определения в неочищенной сточной воде несмешивающихся с водой (не растворимых в воде) веществ (нефть, нефтепродукты, жиры, взвешенные вещества),
- для определения неустойчивых во времени, без специальной пробоподготовки, показателей загрязнения, например, соединения железа (II), растворенные формы металлов. [105,164]

В работе предлагается последовательность этапов создания систем аналитического контроля, включающая в себя следующие действия:

- определение стационарных точек контроля и показателей загрязнения вод, подлежащих отбору и (или) аналитическому контролю автоматическими средствами, включая сбор и анализ информации о составе и свойствах анализируемых вод (в том числе, для сточных вод), с учетом применимых положений информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 10 [104,105];
- определение наличия средств и методов отбора проб и (или) измерений концентраций загрязняющих веществ, определение технической

возможности осуществления автоматического контроля в условиях эксплуатации стационарной точки контроля;

- определение мест установки и проектирование системы автоматического контроля, включая выбор средств измерений. Проектирование системы автоматического контроля осуществляется с учетом применимых положений информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1 [105] и ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» (в части требований к автоматическим пробоотборникам) [106];
- поставка и монтаж оборудования, необходимого для создания системы автоматического контроля;
- приемка системы автоматического контроля в эксплуатацию, включая проверку работоспособности (функционального состояния), достоверности и целостности получаемых данных (результатов измерений), осуществление тестовой передачи данных;
- ввод в эксплуатацию системы автоматического контроля.

В рамках системы автоматического контроля автором определены требования к оборудованию для автоматического отбора проб и подготовке проб к измерению [105]. Самыми важными требованиями являются:

- соответствие такого оборудования конкретным видам работ (например, подготовка проб к определению растворенных форм металлов),
- целостность данных при сбоях в системе и авариях. В случае остановки автоматических средств измерения или остановки основного технологического оборудования система автоматического контроля должна обеспечивать сохранность результатов измерений с регистрацией времени и даты остановки,
- условия работы оборудования и средств измерений, указанные в руководствах по эксплуатации, должны соответствовать климатическим условиям, в которых они будут эксплуатироваться с учетом времен года.

Наиболее часто в качестве показателей загрязнения вод при проведении автоматического контроля используют показатели [105]:

- удельная электропроводность,
- окислительно-восстановительный потенциал,
- светопоглощение при длине волны 254 нм,
- pH,
- растворенный кислород,
- мутность,
- ряд специфических показателей загрязнения: химическое и биологическое потребление кислорода, общий органический углерод, нефтепродукты, соединения азота и фосфора.

Таким образом, задачами при формировании программ контроля процессов водоподготовки для централизованных систем водоснабжения является оптимизация действующих подходов к организации контроля качества процесса водоподготовки [105]. Для реализации указанных задач необходимо формирование соответствующих национальных стандартов, которые описывают требования к непрерывному контролю процесса водоподготовки, что, в свою очередь, должно приводить к снижению общей химизации воды, снижению расхода реагентов для нужд водоподготовки, увеличению времени фильтроцикла и т.п.

3.2.5 Принципы оптимизации способов описания систем питьевого водоснабжения

Описание систем водоснабжения для составления ежегодной отчетности и формирования инвестиционных программ для ресурсоснабжающих организаций осуществляется посредством выполнения «Схем водоснабжения и водоотведения» [8], при этом регламентация описания основана на соответствующих национальных стандартах [107,108]. Данные документы требуют компетенций, которыми, как правило, не обладают сотрудники органов местного самоуправления, непосредственными задачами которых является реализация федеральных проектов НП

«Экология» и Майских Указов Президента РФ [109]. Вместе с тем, для реализации мероприятий ФП «Чистая вода» необходимо единообразное понимание структуры системы водоснабжения конкретного населенного пункта. Учитывая тот факт, что в зависимости от численности населения на сформированные системы водоснабжения накладываются ограничения в части публичного доступа, а также исходя из понимания того, что для формирования мероприятий повышения качества питьевой воды возможно описание системы водоснабжения без географических координат, привязки к ландшафту и составления соответствующих проекций, предложен подход, который формирует требования к стандартизированному графическому отображению следующей информации, с учетом следующих составляющих:

- описание основных элементов системы водоснабжения и технологических связей между ними;
- описание возможности эксплуатации элементов системы;
- описание основных эксплуатационных параметров системы;
- описание степени риска бесперебойной эксплуатации элементов системы (износ, аварийность);
- описание качества систем водоснабжения.

Предлагаемый подход не распространяется на правила оформления технологической рабочей документации сооружений водоподготовки, при этом ожидается, использование такого описания повысит управляемость процессами оценки систем водоснабжения населенных пунктов, повысит эксплуатационную и технологическую надежность, будет способствовать реализации программ энергоэффективности и ресурсосбережения.

3.2.6 Принципы характеристики распределительной сети,

3.2.6.1 Методические и научные подходы к выбору направления развития трубопроводного хозяйства

Проекты водопроводных сетей должны соответствовать «Положению о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», утвержденному [110], как для линейного объекта капитального строительства. Основные требования к проектной документации определяет [109]. Основные требования к графической части проектной документации определяют [108,109].

Рекомендуемый состав проектной документации на строительство [9]:

- 1) Пояснительная записка;
- 2) Проект полосы отвода;
- 3) Технологические и конструктивные решения (план сетей - в масштабе 1:500, либо 1:1000, либо 1:2000, профили сетей - только для сетей водоотведения);
- 4) Проект организации строительства;
- 5) Мероприятия по охране окружающей среды;
- 6) Смета на строительство.

Состав проектной документации по требованию технического заказчика может дополняться в зависимости от условий конкретного объекта в рамках указаний [110]. В качестве приложений к проектной документации отдельными томами могут быть представлены «Отчет об инженерных изысканиях» (геологические, геодезические, экологические изыскания), «Проект технологического регламента обращения со строительными отходами» (с предполагаемым объемом строительных отходов, без согласований) и «Схема организации дорожного движения на период строительства» (предполагаемая схема, без согласований).[9]

Рекомендуемый состав проектной документации на реконструкцию:

- 1) Пояснительная записка;

- 2) Технологические и конструктивные решения;
- 3) Проект организации строительства;
- 4) Проект организации работ по сносу (демонтажу) линейного объекта;
- 5) Мероприятия по охране окружающей среды;
- 6) Смета на строительство.

В сокращенном составе проектная документация не может рассматриваться в качестве проекта-аналога, а также проходить (в случаях, установленных Градостроительным кодексом Российской Федерации [111]) государственную экспертизу.

3.2.6.2 Рекомендации при выборе решения для водопроводных сетей

Выбор решений для проектирования водопроводных сетей основывается на группировке объектов (рис.1.1). Водопроводные сети являются неотъемлемой составляющей процесса централизованного питьевого водоснабжения. Основой для проектирования сетей являются данные инвентаризации, которая осуществляется с использованием разработанного при участии и под руководством автора настоящей работы по итогам проведенных исследований национального стандарта [112].

Так как статистика, говорящая об износе водопроводных сетей, зачастую мало информативна и предлагает некий набор бухгалтерских данных (амортизация), на которых основывается долгосрочная политика замены, предлагаемые решения должны учитывать особенности гидравлического моделирования с позиций надежности и энергоэффективности и прогнозирования качества воды.

Вновь построенные сети должны:

- иметь проектный срок службы – 50 лет и более и обладать высоким потенциалом доступности ремонта трубопроводных систем,
- иметь высокую экспертную надежность трубопроводных систем водоснабжения с точки зрения сроков безаварийной эксплуатации для разных диаметров,

- иметь минимальное влияние факторов окружающей среды на целостность трубопровода при его штатной эксплуатации,
- нормативную обеспеченность требований к монтажу трубопроводных систем и требований к квалификации процесса монтажа при новом строительстве, согласно требованиям СП и других нормативных документов, обладать требованиями при эксплуатации к монтажу трубопроводных систем и возможность квалифицированного монтажа, согласно требованиям СП и других нормативных документов,
- гидравлические характеристики трубопровода из различных материалов должны рассчитываться с учетом процессов внутренней коррозии и зарастания, потенциал образования отложений и коррозии внутренней поверхности трубопроводных систем должен быть минимальным,
- иметь возможность монтажа трубопроводной системы из единообразных материалов, иметь потенциал строительства и ремонта трубопроводных систем бестраншейными методами.

В целях проведения исследования, автором были сформированы основные вышеперечисленные вопросы и разосланы по 200 предприятиям ВКХ, расположенных в разных регионах. С учетом ограничений на распространение информации, автором была подготовлена сводная база ответов по итогам обработки полученных данных. На основании показанных подходов, автором разработаны документы о стандартизации и проекты корректировки действующих строительных правил, которые представлены в главах 4 и 5 настоящей работы. Далее рассмотрим процесс исследования потерь при транспортировке питьевой воды по трубопроводной системе.

3.2.6.3 Исследование фактических и планируемых потерь воды при ее транспортировке с учетом опыта ООО «Вода Смоленска»

В таблице 3.19 представлен водохозяйственный баланс АО «Вода Смоленска» с оценкой расходов и потерь воды в % от общей подачи воды в сеть города Вязьма.

Таблица 3.19 – Водохозяйственный баланс АО «Вода Смоленска».

	Наименование показателей*	2020 год	
		тыс.м ³ /сут	уд.вес в %
1	Подъем воды	37	100,0
2	Реализация воды	22,4	60,5
3	Технологические нужды	1,85	5
4	Неучтенные расходы и утечки (потери), в том числе:	12,75	34,5
4.1	Организационно-учетные	0,9	2,5
4.2	Противопожарные нужды	1,56	4,2
4.3	Потери воды в сети	10,29	27,8

* данные АО Вода Смоленска

К неучтенным расходам в табл.3.19 отнесены незарегистрированные расходы воды, а также неоплаченные расходы самовольного водопользования и противопожарные расходы

Утечки воды включают:

- расходы воды при авариях и повреждениях на водопроводной сети до их локализации;
- расходы воды при утечке через водоразборные колонки;
- скрытые утечки воды из водопроводной сети и емкостных сооружений;

Анализ фактического водохозяйственного баланса системы водоснабжения г. Вязьма показал следующее:

- реализация воды (полезный отпуск) в 2020 году составила 22,4 тыс. м³ в сутки или 60,5 % от объема поданной воды,
- неучтенные расходы и утечки воды составили в 2020 году 34,5 % от общей величины подачи воды в сеть, или 12,75 тыс. м³ в сутки.

С учетом поз. 4.1. и 4.2 табл.3.19 реальные потери воды в сети водопровода Вязьмы составили в 2020 году 27,8 % от общей величины подачи воды в сеть, или 10,29 тыс. м³ в сутки. С учетом протяженности водопроводной сети муниципального образования Вяземское городское поселение, которая составляет 114,33 км, универсальный показатель оценки потерь воды, принятый по рекомендации Международной ассоциацией по водоснабжению (IWA)– 90 куб.м. в сутки на км сети, что превышает величины утечки в трубопроводах различных систем водоснабжения

развитых стран Европы, а также выше, чем на большинстве водопроводов крупных городов России (рисунок 3.11). Данные таблицы 3.19 и рисунке 3.11 наглядно иллюстрирует резервы и организационно-технические возможности для выявления мер по снижению всех видов потерь воды на АО Вода Смоленска. Основой прогнозного водохозяйственного баланса города является обоснование планируемых значений неучтенных расходов и потерь воды. Потери воды зависят в основном от состояния (надежности) трубопроводов, обеспеченности планово-профилактических работ и интенсивности восстановления труб. Вместе с тем российских нормативных документов по обоснованию планирования восстановления трубопроводов нет. Для формирования численных критериев, рекомендованных для выбора решений по модернизации или замене труб, на основании анкерирования предприятий ВКХ была разработана балльная шкала оценки для выбора решений об использовании различных трубопроводных материалов для нужд строительства и модернизации. Данные решения включены в [9].

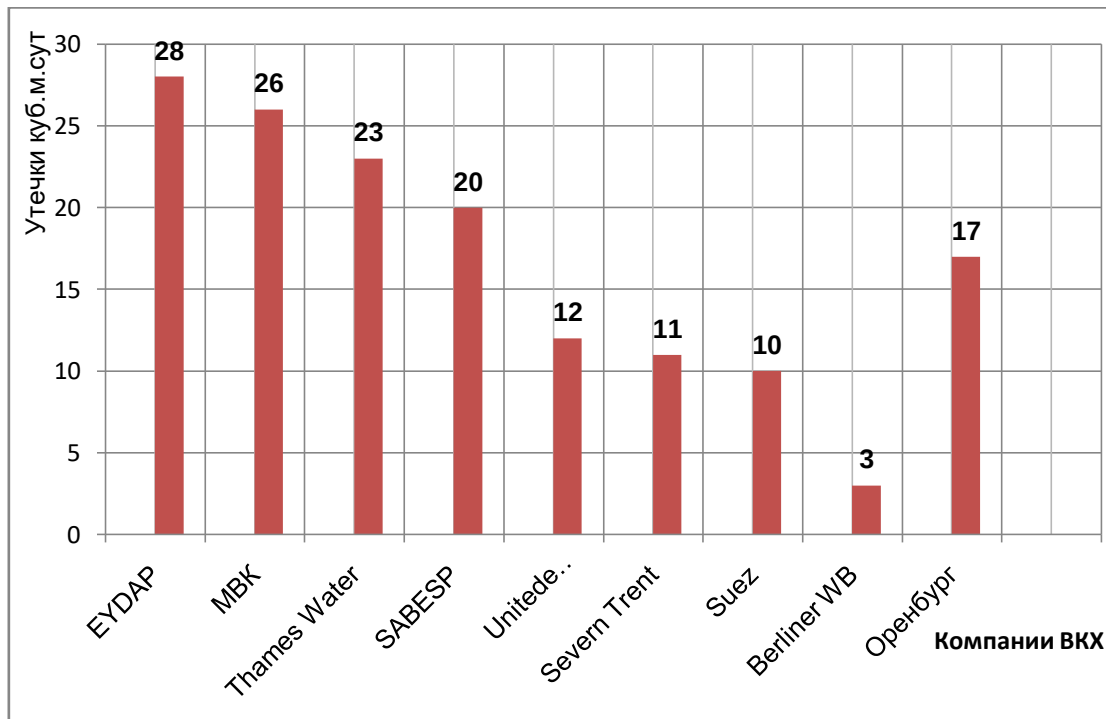


Рисунок 3.11 – Утечки в трубопроводах различных систем водоснабжения, (куб. мв сутки на 1 км). ThamesWate, SevernTrent, UnitedUtilities – Англия; BerlinerWB – ФРГ; Suez – Франция; EYDAP – Греция; SABESP – Бразилия; MBK, Оренбург - Россия

Для выбора численных значений технических критериев, рекомендованных для отбора, обосновывающих перекладку или реконструкцию труб, автором были изучены нормативные документы и материалы, распространенные среди служб водоснабжения в Германии и других странах Европы. Эти критерии изложены в [113,114]. Анализ этих документов показал, что наиболее информативным и технически обоснованным критерием выбора потенциальных объектов восстановления трубопроводов городской водопроводной сети является превышение установленного порогового значения интенсивности отказов трубопроводов. Величина потерь воды в сети зависит от величины интенсивности отказов трубопроводов (аварий и повреждений с изливом воды).

Интенсивность отказов участка трубопровода – $\lambda(t)$ (ав/год.км) характеризует плотность вероятности возникновения отказа в рассматриваемый момент времени (то есть риск появления отказа). Интенсивность отказов участков трубопроводов определяется по результатам сбора и статистической обработки эксплуатационных данных об их отказах по выражению:

$$\lambda(t) = \sum n_i(t) / \sum l_i t \quad (3.4)$$

где $n_i(t)$ – количество аварий и повреждений трубопроводов, зафиксированных в течение времени t ,

$\sum l$ – суммарная протяженность трубопроводов водопроводной сети,

t – время наблюдения.

Очевидно, что значения интенсивности отказов трубопроводов, используемые для принятия решения по выбору объемов и объектов восстановления трубопроводов сети, могут быть различными для различных водоснабжающих предприятий, вследствие разных проблем, возникающих в сети, и материально-технических ограничений средств на реконструкцию сети. По нормам [115] требования к выбору объектов реконструкции – заменять, если случится более одного отказа (аварии с раскопкой) на 1 км в

течении последних двух лет, что равносильно среднему значению интенсивности отказов труб - $w = 0,5$ ав/год*км.

Однако существующее техническое состояние и надежность трубопроводов городской водопроводной сети Вязьмы, а также материально-технические возможности таковы, что используемый в европейском стандарте численный критерий, по которому отбираются объекты реконструкции, не может быть принят за пороговое значение. Для водопроводной сети города Вязьмы осредненная величина $\lambda(t)$ - интенсивности отказов труб - составила в 2019 году величину 2,2 ав/год.км, что соответствует величине потерь воды в сети (утечки) –27,8% от общей величины подачи воды в сеть, или 10,29 тыс. м³. в сутки. Фактическая величина такого показателя надежности трубопроводов как $\lambda(t)$ и имеющиеся результаты исследований [116] по оценке связи интенсивности отказов труб с величиной утечек показали, что снижение к 2030 году величины потерь воды до 10,5 % от подачи воды (оптимистический прогноз) возможно при обеспечении величины интенсивности отказов труб $\lambda = 0,4$ (ав/год.км). Рассчитано, что восстановлению (перекладке, реконструкции) подлежат трубопроводы, исчерпавшие полезный срок службы и имеющие следующие пороговые значения интенсивности отказов (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Пороговые значения интенсивности отказов водопроводных трубопроводов г.Вязьма.

Стальные трубы (Диаметр)			Чугунные трубы (Диаметр)		
до 200 мм	250-500 мм	Свыше 500 мм	до 200 мм	250-500 мм	Свыше 500 мм
0,8	0,55	0,21	0,82	0,41	0,2

Трубопроводы, интенсивность отказов которых превышает вышеприведенные пороговые значения, должны быть включены в число потенциальных объектов восстановления. Объектами на включение из их числа в ежегодную программу работ по восстановлению трубопроводов городской водопроводной сети г. Вязьма являются наиболее дефектные трубопроводы в случае их неприемлемого технического и функционального

состояния, имеющие наибольший риск отказов с материальным, экологическим и социальным ущербами или, если расходы на их техническое обслуживание и ремонт превышают стоимость реконструкции. Обоснование решений о реконструкции и выбор соответствующих материалов должен базироваться на принципах, изложенных в п. 3.6.2.1 и оценке стоимости жизненного цикла, (см. главу 6 настоящей работы)

3.2.6.4 Существующие принципы оценки модернизации водопроводных систем

Концепции общих затрат жизненного цикла были осмыслены в течение многих лет [117,118] и применялись компаниями, которые несут ответственность за различные активы. Для водопроводной сети общие затраты жизненного цикла — это затраты на ее приобретение (включая консультационные услуги, затраты на проектирование и строительство, а также оборудование), затраты на ее эксплуатацию и затраты на обслуживание в течение всего срока службы вплоть до утилизации - то есть общая стоимость владения. Эти расходы включают внутренние ресурсы и накладные расходы на управление; при необходимости они также включают надбавки за риски; гибкость (например, прогнозируемые изменения для известных изменений в бизнес-требованиях), затраты на реконструкцию и затраты, связанные с аспектами устойчивости, охраны здоровья и безопасности [119]. Австралия, Новая Зеландия и Великобритания лидируют в мире по внедрению такого подхода к управлению [120]. В настоящее время в РФ большая часть государственной инфраструктуры строится с помощью системы закупок по низкой цене, которая не обязательно дает наиболее эффективную или рациональную систему, если учитывать все затраты на содержание, ремонт и восстановление. Большая часть сопротивления стоимости жизненного цикла исходит от избранных и назначенных должностных лиц, которые имеют краткосрочную перспективу, которая измеряется долей полезного срока службы актива [121]. Автором рассмотрен

ряд моделей планирования, позволяющих оценить будущие издержки, связанные с отказами трубопроводов для сетей водоснабжения, такие, как «KANEW» [122], разработанная в рамках финансирования AWWA RF, и «PARMS-Planning», разработанная ГОНПИ (CSIRO) [123,124]. Однако эти модели требуют детального анализа данных отказов для всех трубопроводных активов, а некоторые требуют определенных кривых отказов для каждого класса. Если водоснабжающая организация располагает базой данных о зарегистрированных отказах, ее можно использовать при разработке статистических моделей отказов. Будущие отказы труб оцениваются по данным отказов, содержащихся в базах данных отказов, подлежащих очистке и обработке, или с использованием известных материалов и эксплуатационных характеристик для разработки моделей физических отказов. Независимо от используемого метода существует уровень неопределенности в каждой из этих моделей из-за неизвестных или неопределенных данных, и необходимо определить, является ли уровень неопределенности достаточно низким, чтобы использовать эти модели. Для отечественной практики при участии автора настоящей работы было проведено исследование, на основании которого сформированы рекомендации и выбраны критерии для оценки проектов по модернизации объектов водопроводных сетей централизованного питьевого водоснабжения.

3.2.6.5 Критерии оценки для проектов по модернизации объектов транспортировки (перекладка сети, ремонт)

Автором предложен гидравлический критерий оценки $K_{эф}$ для обоснования необходимости разработки проектов реконструкции трубопроводов [137]. Эффективным трубопроводом из металлических труб считается трубопровод, имеющий минимальные значения фактических потерь напора на сопротивления по длине $i_{ф}$, влияющие на величину

энергозатрат насосного оборудования, т.е. на значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб:

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактического внутреннего диаметра труб, м (рис. 1);

V_{ϕ} – фактической средней скорости потока, м/с;

i_{ϕ} – фактических потерь напора на трение по длине, вызванных наличием внутренних отложений, м/м.

Значение i_{ϕ} определяется по эмпирической формуле профессора Шевелева Ф.А., имеющей вид:[138]

$$i_{\phi} = 0,00107 \frac{V_{\phi}^2}{(d_{\text{вн}}^{\phi})^{1,3}}, \text{ при } V_{\phi} > 1,2 \text{ м/с} \quad (3.5)$$

В формуле (3.5) для неновых металлических труб Ф.А. Шевелевым установлено одно фиксированное значение толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} (рис. 3.12). Поэтому проведенный анализ значений толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} , заложенных в справочных пособиях [138], показывает, что использование справочных пособий Ф.А. Шевелева для гидравлического расчета неновых 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 [139]. В таблице 3.21 приведены значения характеристик неновых стальных электросварных труб из справочных пособий [138] по ГОСТ 10704-91.

Значение величины i_{ϕ} зависит от толщины фактического слоя внутренних отложений на стенках труб Δ_{ϕ} (рисунок 3.12), периода эксплуатации трубопровода (возраста $T_{\text{исп}}$) и характеристик физико-химического состава транспортируемой воды.

Таблица 3.21 – Характеристики неновых стальных электросварных труб в справочных пособиях [138], мм, ГОСТ 10704-91

Наружный диаметр d_n	Толщина стенки S_p	Расчетный внутренний диаметр d_p	Толщина слоя отложений в справочных пособиях Δ_p
102	3,0	95	1,0
121	3,0	114	1,0
140	3,0	133	1,0
168	4,5	158	1,0
180	4,5	170	1,0
219	4,5	209	1,0
273	6,0	260	1,0
325	7,0	311	0
377	7,0	363	0
426	7,0	412	0
480	7,0	466	0
530	7,0	516	0
630	7,0	616	0
720	7,0	706	0
820	8,0	804	0
920	8,0	904	0
1020	8,0	1004	0
1220	9,0	1202	0
1420	10,0	1400	0
1520	10,0	1500	0
1620	10,0	1600	0
1720	10,0	1700	0
1820	12,0	1796	0
2020	12,0	1996	0
2220	15,0	2190	0
2520	15,0	2490	0

Значение величины фактического внутреннего диаметра труб с отложениями $d_{вн}^{\phi}$ зависит от возраста трубопровода $T_{исп}$, на величину которого влияет значение толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} [140].

Совокупностью значений характеристик гидравлического потенциала неновых металлических труб определяется значение коэффициента эффективности использования трубопровода, характеризующего остаточную продолжительность и гидравлическую эффективность его использования (потери напора).

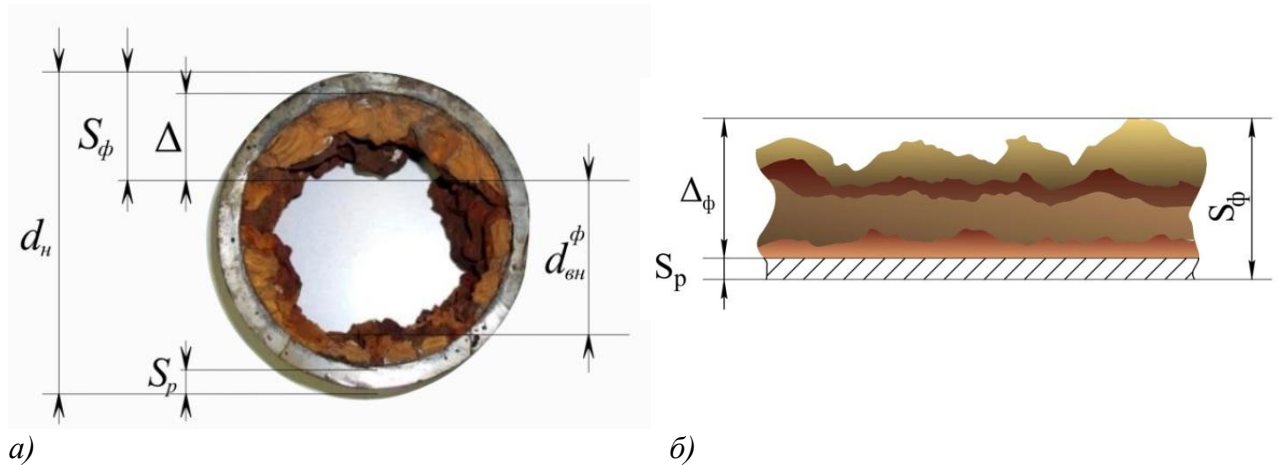


Рисунок 3.12 – Фрагмент внутренних отложений в стальных трубах

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_{ϕ}^{ϕ} – фактический внутренний диаметр труб с отложениями, м.

Значение коэффициента гидравлической эффективности использования трубопровода определяется по формуле (3.6), имеющий вид [137,140]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{дв}}^{\phi}}{N_{\text{дв}}^p} = \frac{i_{\phi} \cdot (d_{\phi}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi}}{i_p \cdot (d_{\phi}^p)^2 \cdot V_p} \quad (3.6)$$

где:

$N_{\text{дв}}^{\phi}$ – значение фактических энергозатрат насосного оборудования на момент проведения оценки, кВт/ч;

$N_{\text{дв}}^p$ – расчетное (паспортное) значение энергозатрат насосного оборудования на момент запуска нового трубопровода в эксплуатацию, кВт/ч. [137,141]

$$N_{\text{дв}}^{p(\phi)} = 10^6 \cdot i_{p(\phi)} \cdot (d_{\phi}^{p(\phi)})^2 \cdot V_{p(\phi)} \cdot \frac{0,00808}{\eta} \quad (3.7)$$

где:

i_{ϕ} , d_{ϕ}^{ϕ} , V_{ϕ} – значения фактических характеристик гидравлического потенциала неновых труб на момент оценки;

i_p , d_{ϕ}^p , V_p – значения расчетных (паспортных) характеристик гидравлического потенциала новых труб на момент запуска трубопровода в эксплуатацию;

η – КПД насоса. Для расчетов принимают значение $\eta=0,7$.

По значению величины гидравлического критерия $K_{\text{эф}}$ производится экспертная оценка продолжительности остаточного использования металлического трубопровода и устанавливается очередность замены труб, достигших предельного состояния [142].

В [137] автором предложена методика оценки толщины слоя внутренних отложений на стенках металлических труб, разработанная с учетом требований [143]. Методики (методы) измерения предназначены для применения на объектах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) во всех регионах Российской Федерации, а также на объектах любых отраслей и ведомств, использующих питьевую воду. Исходные данные для применения методики определения фактических значений толщины слоя внутренних отложений включают:

- описание области использования трубопровода – для одного или нескольких потребителей;
- наименование расчетных параметров измерения величин (рис. 3.12): q , $d_{вн}^{\phi}$, S_p , S_{ϕ} , Δ_{ϕ} ;
- единицы измерения значений параметров;
- погрешность в % измерения значений расчетных параметров;
- требования к проведению измерений значений величин расчетных параметров.

Для проведения соответствующих измерений предложено использование переносных ультразвуковых расходомеров в комплекте с толщиномером. Средства измерения расчетных параметров – расходомеры ультразвуковые с накладными излучателями должны соответствовать требованиям [144,145]. Значение фактического расхода потока жидкости q_{ϕ} измеренного расходомером, позволяет рассчитать значение средней скорости потока V_{ϕ}^{cp} по формуле:

$$V_{\phi}^{cp} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{вн}^{\phi})^2}, \text{ м/с} \quad (3.8)$$

Значение измеренной прибором фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} позволяет рассчитать значение фактического внутреннего диаметра труб $d_{вн}^{\phi}$ по формуле (3.9), рис. 3.12:

$$d_{вн}^{\phi} = (d_{н} - 2S_p) - 2 \cdot \Delta_{\phi}, \text{ мм} \quad (3.9)$$

$$\Delta_{\phi} = S_{\phi} - S_p, \text{ мм} \quad (3.10)$$

По расчетным значениям V_{ϕ}^{cp} (формула 4) и d_{ϕ}^{ϕ} (формула 3.9) по формуле (3.5) рассчитывают значение фактических потерь напора i_{ϕ} в трубопроводах из стали и серого чугуна.

Изменения значений характеристик гидравлического потенциала неновых металлических труб (d_{ϕ}^{ϕ} , V_{ϕ} , i_{ϕ}) характеризуются изменением значений фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} , влияющей на значение коэффициента эффективности использования трубопровода $K_{\text{эф}}$, являющегося отношением значений фактических характеристик гидравлического потенциала неновых труб на момент оценки к значениям этих характеристик для новых труб из стали и серого чугуна (формула 3.6).

Установлены четыре зоны изменения значений $K_{\text{эф}}$, характеризующих эффективность использования неновых металлических трубопроводов:

I-я зона: $0,95 \geq K_{\text{эф}} \leq 1$ – зона эффективного использования трубопровода с минимальными значениями фактических потерь напора i_{ϕ} . Трубопровод подлежит дальнейшему использованию.

II-я зона: $0,90 \geq K_{\text{эф}} \leq 0,95$ – зона энергозатратного использования трубопровода, характеризуемая повышенными значениями величины фактических потерь напора i_{ϕ} . Дальнейшее использование трубопровода – энергозатратно. Требуется разработка проекта реконструкции трубопровода.

III-я зона: $K_{\text{эф}} \leq 0,90$ – зона нецелесообразного использования трубопровода с недопустимыми значениями величины фактических потерь напора i_{ϕ} . Требуется реконструкция трубопровода с заменой на новый с обоснованием выбора материала труб [137].

IV-я зона: $K_{\text{эф}}$ намного меньше 1 – зона недопустимого использования трубопровода. Требуется вывод трубопровода из эксплуатации и перекладка на новый с обоснованием выбора материала труб. Экспертная оценка продолжительности остаточного использования металлических трубопроводов по значению величины $K_{\text{эф}}$ будет рассмотрена далее.

3.3 Выводы по главе 3

Данная глава была посвящена изучению технологических аспектов и факторов, влияющих на качество воды и выбор технологий питьевого водоснабжения. Были показаны исследования, проведенные автором настоящей работы в целях формирования общих принципов оценки риска и выбора технологий в срезе водоподготовки и транспортировки воды. Автором была показана принципиальная возможность формирования риск – ориентированных технологических решений, которые должны быть далее рассмотрены, как принципы формирования требований к технологиям водоподготовки и транспортировки питьевой воды.

Автором определены основные составляющие риск – ориентированного процесса питьевого водоснабжения, представлены принципы и подходы к характеристике водного источника, показаны возможности оптимизации технологий водоподготовки, включающие в себя не только технические и технологические подходы, но и формирование требований к единообразию при описании систем водоснабжения.

Рассмотрены методические подходы к формированию трубопроводной инфраструктуры питьевого водоснабжения и представлены авторские рекомендации при выборе решений для водопроводных систем. Показано проведенное практическое исследование по потерям воды в системе водоснабжения, которое является основанием для дальнейшего выбора технологических решений по модернизации инфраструктуры.

Представленные подходы необходимо формализовать, исходя из создания универсальных требований в целях оценки технологий, установлению критериев, на основании которых должны реализовываться проекты по модернизации объектов.

4 Принципы формирования требований к технологиям для безопасного питьевого водоснабжения

4.1 Обеспечение соответствия требования оценки жизненного цикла

Общие принципы формирования требований к технологиям для безопасного питьевого водоснабжения представлены на рисунке 4.1. Основные составляющие, которые необходимо учитывать, основаны на обеспечении санитарной безопасности с учетом технологических возможностей, экономических реалий и аспектов экологической безопасности. При этом каждая из составляющих должна быть соотнесена с потенциальными рисками для здоровья населения (рисунок 4.1).

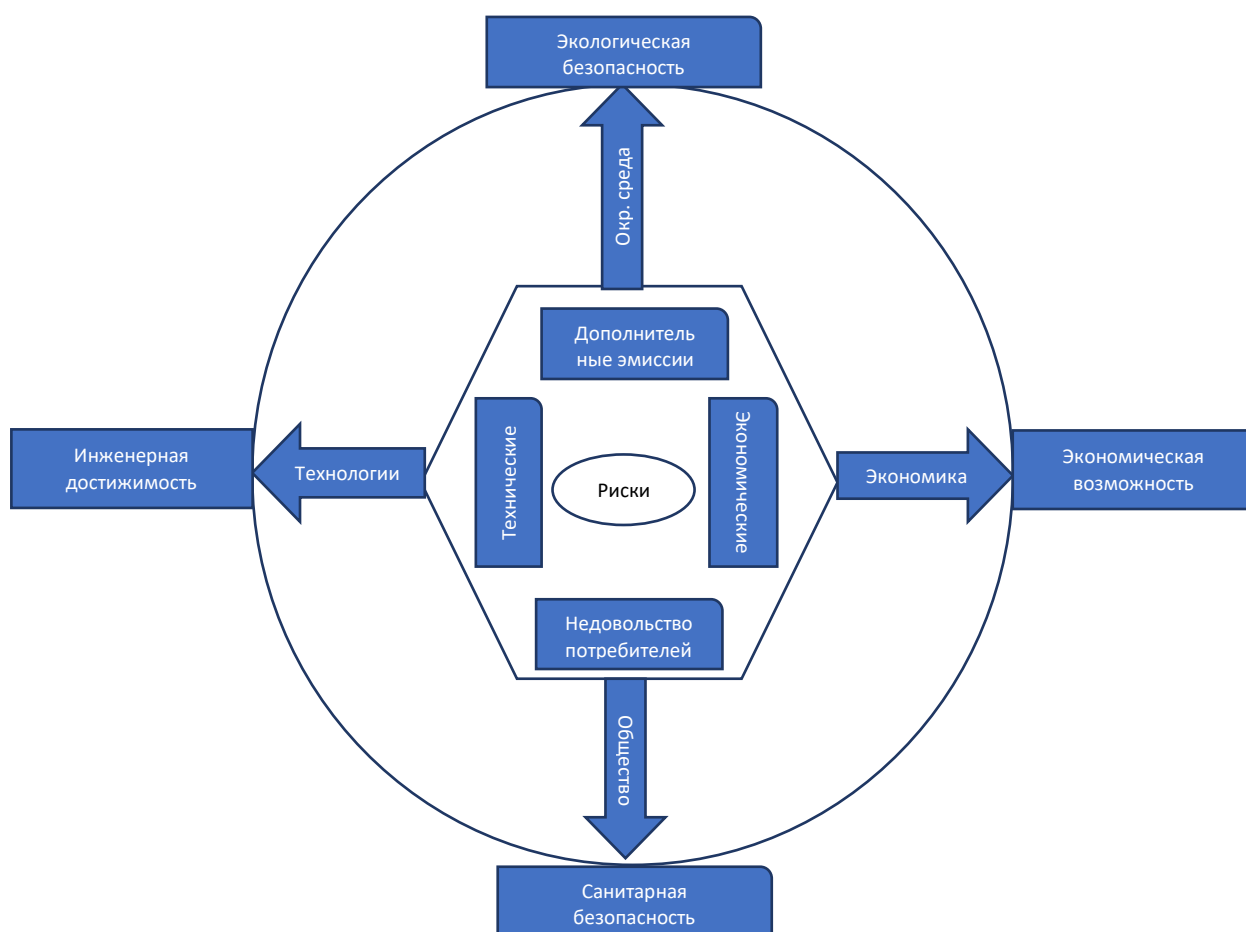


Рисунок 4.1 – Принципы формирования требований к технологиям для безопасного питьевого водоснабжения

Согласно предлагаемой в главе 2 синергетической модели, общие принципы определения требований для технологии безопасного питьевого водоснабжения могут взаимно дополнять друг друга в целях снижения рисков и формирования соответствующей методологии требований. Таким

образом, матрица, представленная в разделе 2.3 будет основываться на составляющих, представленных в развитие данных рисунка 2.5. и таблицы 2.9 ниже на рисунке 4.2 и в таблице 4.1.

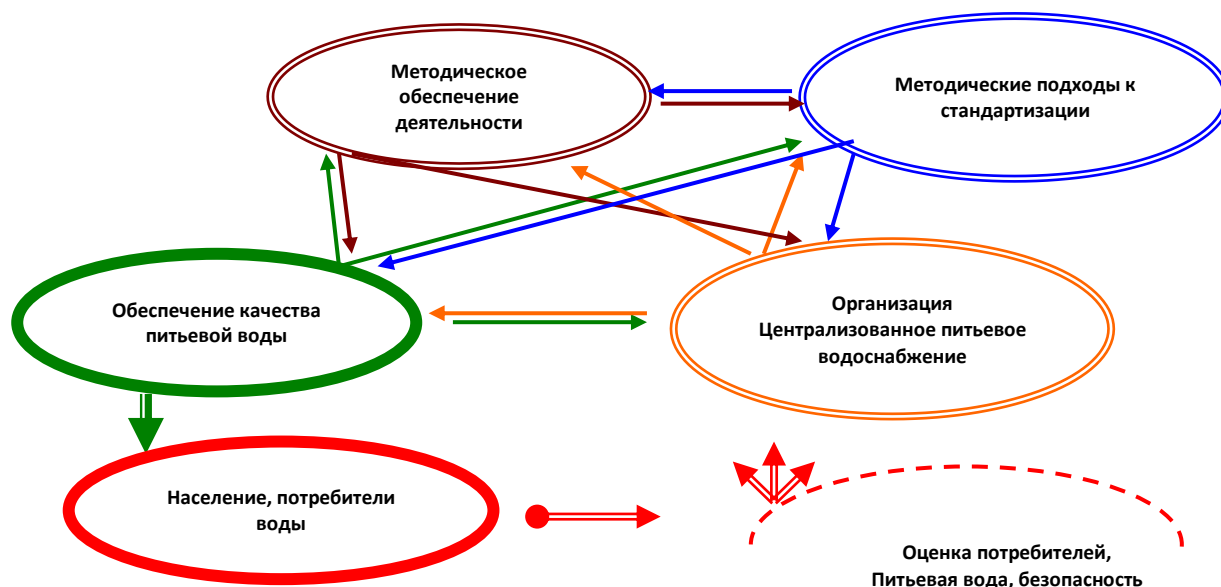


Рисунок 4.2 – Развитие схемы синергетической системы управления

Проведенные исследования и выбранное направление научного и методологического развития при создании рамки стандартов предполагает внесение изменений (таблице 4.1), преобразующих составные связи между элементами влияния на работу централизованной системы водоснабжения для реализации синергетической модели, представленной в главе 2.

Таблица 4.1 – Связи элементов влияния на работу централизованной системы водоснабжения

Связь	Функция
Инт-Инф	Методическое сопровождение процесса питьевого водоснабжения путем создания национальных стандартов
Инф-Инт	Обучение персонала, организация проверки квалификации и разработка профессиональных стандартов, как повышение информационного обеспечения обучения персонала и накопления знаний организации [94]
Инт-Орг	Обеспечение самоорганизации управления за счет единообразия разработанных требований, в т.ч. к методам контроля, подбора оборудования и персонала
Орг-Инт	Повышение уровня индивидуального и коллективного интеллектуального потенциала организации
Инт-Пр	Передача накопленных знаний, или интеллектуального потенциала, на уровень основного производства и тем самым повышение его эффективности и конкурентоспособности

Продолжение таблицы 4.1

Пр-Инт	Отражение найденных эффективных производственных решений («ноу-хау») в виде профессиональных знаний, приводящих к наращиванию интеллектуального капитала организации в сфере основной деятельности, базы референц-проектов
Инф-Орг	Наполнение коммуникаций между персоналом, системой и средой, позволяющее целенаправленно формировать эффективные внутренние и внешние организационные структуры как извне, так и в порядке самоорганизации
Орг-Инф	Оценка эффективности принимаемых решений на основании разработанной рамки национальных стандартов
Инф-Пр	Введение в производственный процесс водоподготовки риск-ориентированных подходов к контролю и технологиям
Пр-Инф	Алгоритмизация процессов, включая процессы проектирования и эксплуатации. Формирование единообразных показателей, характеризующих производство как таковое и условия его осуществления
Орг-Пр	Формирование единообразных подходов к организации производственных процессов
Пр-Орг	Отражение в организационных основах деятельности (организационно-распорядительной документации) актуальных особенностей производства

Ранее, (в главах 2 и 3 настоящей работы), были рассмотрены аспекты требований к водным источниками централизованного питьевого водоснабжения и обоснованы требования к оценке характеристик таких источников. Далее будут показаны принципы формирования требований к выбору технологии водоподготовки, к реагентам водоподготовки, к организации лабораторного контроля, а также к вопросам модернизации и строительства водопроводных сетей. Принципиальной основой дальнейшего исследования является возможность и необходимость учета оценки стоимости жизненного цикла, формирования критериев для дополнительных расширений формул 2.9...2.11 в части учета особенностей применения СЖЦ для объектов СПВ. С учетом рассматриваемых факторов влияния на качество питьевой воды СПВ, автором предлагается система оценки, основанная на наличии, отсутствии и необходимости разработки соответствующих документов в области национальной стандартизации с позиций принципа необходимости и достаточности. В таблице 4.2 показаны принципы, на которых основана дальнейшая оценка.

Таблица 4.2 – Принцип характеристики факторов влияния с позиций стандартизации

Фактор влияния	Отсутствие единого стандарта	Разрозненные данные, не формирующие общие требования	Частичная до 50% регламентируемость на основе действующих стандартов	Более половины составляющих регламентированы стандартами	Стандарты существуют, необходима актуализация	Есть единые стандартизированные актуальные требования
Показатель	0	1	2	3	4	5

Проведенный анализ документов национальной системы стандартизации, которые относятся к централизованному питьевому водоснабжению, позволяет нам утверждать о необходимости развития такого рода документов технологического нормирования в целях оптимизации и системности их влияния на процессы. На рисунке 4.3 представлена диаграмма описания элементов системы стандартизации для факторов таблицы 4.2, определяющих влияние на качество воды централизованных систем водоснабжения.

Проведенная оценка действующих документов национальной системы стандартизации показала, что с большой долей вероятности можно говорить о достаточности стандартов в области требований к качеству воды. Такие документы своевременно разрабатываются и актуализируются, исходя из требований национальной системы стандартизации. Такая актуализация является плановой работой соответствующего технического комитета ТК 343 «Качество воды» Росстандарта и реализуется при непосредственном участии автора настоящей работы. Недостаточно нормированы требования к водопроводным сетям (удельный вес имеющихся документов по стандартизации не превышает 5% от общего количества стандартов) требования к организации процесса питьевой водоподготовки (10%) и непосредственно оценке рисков (в целом, не более 25 %).

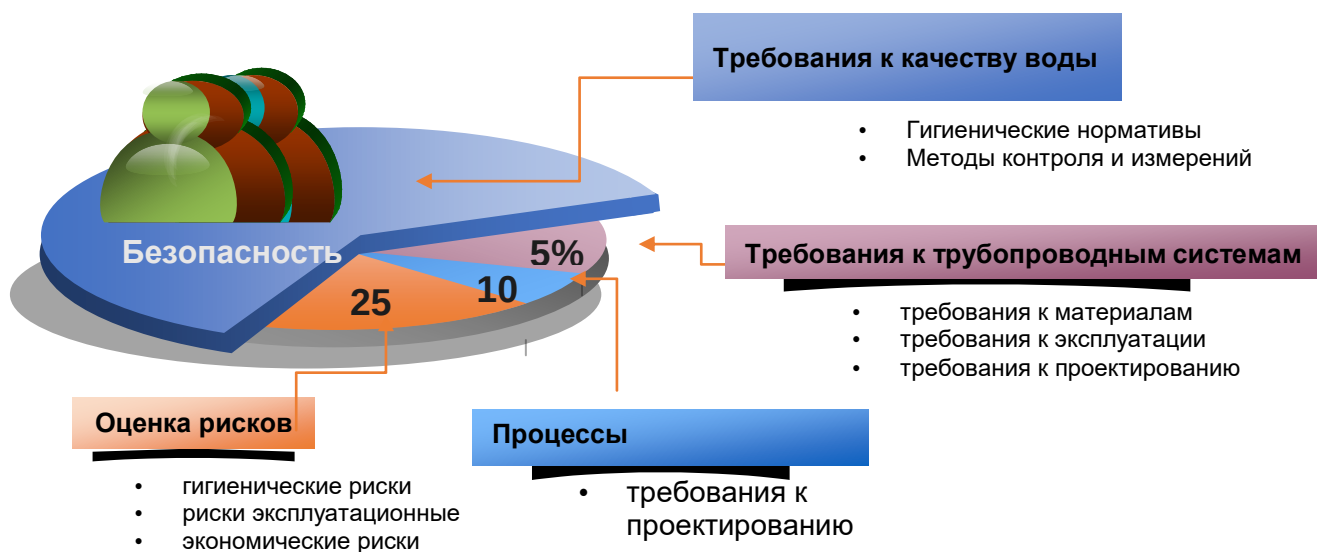


Рисунок 4.3 – Представление элементов системы стандартизации

Такого рода перекосы, выявленные при выполнении автором настоящей работы, являются следствием недостаточностью научной и методологической баз процесса стандартизации, применительно к централизованному питьевому водоснабжению. Вводимые гигиенические требования к качеству воды корреспондируются с методиками выполнения измерений, однако требования к проектированию и эксплуатации совершенно не соотнесены с необходимостью оценки рисков, учета экономических показателей в динамике, а не в статике и, в итоге, к обеспечению безопасности централизованного питьевого водоснабжения.

4.2 Принципы и требования реагентной обработки питьевой воды.

Проблемы реагентной обработки питьевой воды

Деятельность предприятий водопроводного хозяйства, направленная на обеспечение безопасного для населения водопользования, является регулируемой, а водоподготовка в системах жизнеобеспечения населения,

пожалуй, занимает ведущее место [148]. Хотя при использовании поверхностных и подземных источников водоподготовка может принципиально отличаться, общим для них, в большинстве случаев, является использование реагентов. Практически каждое предприятие водопроводно-канализационного хозяйства сталкивается с вопросами выбора реагентов для водоподготовки и в общем случае имеет возможность оптимизировать выбор реагентов, руководствуясь следующими критериями: минимальный расход, обеспечивающий надлежащее качество, минимальная оправданная цена, минимальная вероятность миграции в воду возможных примесей и продуктов трансформации, ухудшающих качество воды.

Объективно такая возможность возникает при корректном анализе представляемой производителями реагентов документации [148], среди которой важное значение имеют экспертные заключения на соответствие реагентов Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям Таможенного Союза [155]. Соблюдение Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований Таможенного Союза [155] является обязательной составляющей, предъявляемой к продукции, используемой на территории Таможенного Союза и предназначенной, в том числе, для обработки воды, ее транспортировки, хранения, как в системах питьевого водоснабжения, так и автономного, а также индивидуальных и групповых устройств. Рассмотрим ряд проблем, связанных с обоснованием применения реагентов для водоподготовки.

В связи с тем, что требования по испытаниям [25,155] не дифференцированы в зависимости от происхождения и области применения реагента [148], внедрение в практику водоподготовки таких продуктов как окислители, восстановители, биостатики, реагентов, получаемых с использованием нанотехнологий, затруднено. В перечне обязательных компонентов, подлежащих измерению при испытаниях, не указана необходимость контроля над теми компонентами, которые обоснованы спецификой получения продукта и исходным сырьем. Это обстоятельство

связано с необходимостью сокрытия конфиденциальной информации, и возможностью изготавливать продукт согласно техническим условиям (ТУ), которые утверждаются непосредственно производителями и на которые не требуется санитарно-эпидемиологическое заключение. В этой связи принципиальным является единообразие подходов к качеству реагента водоподготовки. Вариантом реализации такого принципа служит использование национальных стандартов на тип продукции. В этой связи назначения испытаний реагента на соответствие [25,155], предполагает определить максимальную концентрацию реагента, при которой обеспечивается допустимый уровень мигрирующих в воду примесей. Потребитель продукции, сравнивая соответствующую концентрацию с оптимальной рабочей дозой (которая зависит уже непосредственно от качества воды, подвергающейся обработке), обеспечивает настройку дозаторов и других технологических процессов регулируемого алгоритма водоподготовки [148].

В документе, регламентирующем требования к испытаниям [155], для ряда веществ указаны завышенные нормативы, которые не только не гармонизированы с требованиями ЕС и рекомендациями ВОЗ [91], но также не учитывают изменения, внесенные в нормативную документацию, распространяющуюся на питьевую воду [12,25]. Не вполне корректны требования обеспечения допустимого уровня реагента при испытании 3-х кратной рабочей дозы на содержание в растворе веществ 1 и 2 класса опасности не более $0,5 \cdot \text{ПДК}$, а веществ 3 и 4 классов опасности не более $1 \cdot \text{ПДК}$. Так, применив методику оценки рисков для здоровья, было показано [9,27], что при содержании в водном растворе $0,5 \cdot \text{ПДК}$ диметиламина, дихлорпропанола, перхлоратов, хлоратов, сурьмы риск по коэффициенту опасности будет выше приемлемого, а по критерию индивидуального пожизненного канцерогенного риска превысит приемлемый для акрилонитрила, винилхлорида, мышьяка и хрома шестивалентного. В тоже время для ряда веществ 1 и 2 класса опасности требование о соблюдении в

растворах реагентов 0,5 ПДК приводит к значительному завышению запаса прочности (акриловая кислота алюминий ртуть винилацетат формальдегид этилацетат), так как коэффициент опасности для них значительно ниже 0,1 [27]. Одновременно с этим выявлено [27], что для некоторых веществ 3-4 класса опасности соблюдение ПДК не обеспечивает приемлемого риска.

Следовательно, оценивая предлагаемые реагенты, потребитель (предприятие ВКХ) должен обращать внимание на содержательную часть экспертных заключений в части обоснованности максимально допустимых рабочих доз (концентраций) реагента, которые рекомендуются с учетом критериев допустимых рисков для здоровья. Это важно на этапе согласования программ производственного контроля и осуществления государственного санитарного-эпидемиологического надзора [148].

Современные представления о реагентной обработке питьевой воды предполагают максимальное использование продуктов, обеспечивающих в процессе водоподготовки сразу несколько функций. Например, коагуляцию и флокуляцию, окисление и обеззараживание, коррозионную стойкость и даже биоцидный эффект. Применение же реагентов, обеспечивающих лишь одну функцию, не всегда приемлемо для водоканалов, особенно в связи с резким увеличением цен на химическую продукцию. К примеру, в настоящий момент предприятия водопроводно-канализационного хозяйства сталкиваются с рядом проблем, связанных с использованием реагентов для коагуляции и флокуляции. Ключевая – резкое (до 3 раз) увеличение цен на коагулянты, влекущее за собой необходимость корректировки затрат на водоподготовку, а следовательно, на изменение структуры уже установленного тарифа. Иными словами, себестоимость водоподготовки увеличивается кратно проценту роста цен на реагенты, а установленный тариф не позволяет предприятию полноценно осуществлять производственную деятельность в условиях роста цен. По данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения, доля затрат (в %) на реагенты в себестоимости воды централизованного питьевого

водоснабжения (поверхностные источники) колеблется от 2 до 6 % в зависимости от качества воды водоисточника [147,148,149].

В этой связи интересны предложения о внедрении в практику водоподготовки синтетических полиэлектролитов (СПОЭ). Во многом их внедрение в практику водоподготовки обусловлено наличием документа, регламентирующего санитарно-эпидемиологический надзор за их использованием [148]. Считается, что синтетические полиэлектролиты характеризуются низкой токсичностью и опасностью при попадании в пищеварительный тракт. При их использовании значительно снижается доза обеззараживающих реагентов, а также нагрузка на фильтры. Как флокулянты эти соединения увеличивают скорость захвата взвешенных частиц, ускоряют процесс образования макрохлопьев и увеличивают их плотность. Некоторые полиэлектролиты сочетают в себе функции коагулянтов и флокулянтов.

С гигиенической точки зрения преимуществом применения СПОЭ является то, что они применяются в дозах практически соответствующих их ПДК для питьевой воды, в результате остаточные концентрации могут снижаться более чем на 90% относительно внесенной дозы, обеспечивая не более 0,1 от допустимых ПДК. Вместе с тем применение СПОЭ сопряжено некоторыми сложностями. Они связаны, прежде всего, с контролем мономеров, содержание которых может находиться в широких пределах. В этой связи документом предлагается обеспечивать контроль качества непосредственно на предприятии, производящем продукт, указывать в ТУ и в паспорте качества %-ное содержание мономеров.

Соответствующую информацию следует использовать при подготовке экспертных заключений на соответствие полиэлектролитов требованиям [155]. На стадии экспертных заключений рекомендуется выполнять расчеты допустимого содержания мономеров и токсичных примесей с учетом обеспечения не только их ПДК, но и уровней, не превышающих приемлемые риски по критериям коэффициента опасности или пожизненного индивидуального канцерогенного риска [26]. Обращаем внимание, несмотря

на тот факт, что в документе подробно рассмотрен алгоритм оценки ограниченного количества реагентов (полиакриламид, полиамины, полидиаллилдиметиламмония хлорид), требования документа приемлемы также для других полиэлектролитов, имеющих разработанные ПДК, как на сам продукт, так и на входящие в него примеси и мономеры. В этой связи мотивация отказа от применения того или иного полиэлектролита, который не обозначен в [168], не является оправданной [148].

Отдельно следует остановиться на применяемых в водоподготовке реагентах-окислителях. Практически все они, имея разработанные гигиенические нормативы, применяются не только для обеззараживания воды и дезинфекции, но и для удаления железа, марганца, цветности, запаха и т.д. Требования к испытаниям соответствующих продуктов на безопасность различные. Так, при назначении окислителей в качестве дезинфектанта, их оценка выполняется в соответствии гл.2, п.2 [155]. При назначении окислителей для улучшения органолептических показателей снижению загрязнений от веществ, удаляемых путем окисления, оценка осуществляется в соответствии с требованиями гл.2, п.3 [155]. Это различие принципиально, так как в качестве средства обеззараживания требуется регистрация продукта, а как препарата для обработки воды необходимо экспертное заключение, которое вместе с протоколом испытаний является основанием для получения добровольного сертификата соответствия [148] и используется в рамках санитарно-эпидемиологического надзора [12,25,90]

4.3 Принципы необходимого и достаточного уровня контроля качества реагентов и их дозирования.

Для питьевого водоснабжения городов-миллионников, как было указано ранее, используются в основном поверхностные источники. Основными санитарно-химическими показателями качества воды являются общая минерализация, мутность, жесткость, цветность. Распространенный технологический приём удаления из воды грубодисперсных примесей,

находящихся во взвешенном состоянии, а также коллоидных органических загрязнений, присутствующих в растворенном виде [148], это процесс коагуляции [1-6,9,147-149] (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Классическая технология обработки поверхностной воды.
(Выделена область применения коагулянтов)

Обрабатываемая вода в рамках решаемых технологических задач (рисунок 4.5) должна хорошо и быстро смешиваться с коагулянтами, после чего она направляется из смесителя в отстойник, а затем в камеру хлопьеобразования, где обеспечиваются оптимальные условия для формирования хлопьев [151].

Таблица 4.3 – Основные аспекты эффективности классической технологии осветления (рисунок 4.4)

Эффективность очистки			
Высокая	Умеренная	Нулевая	Отрицательная
Общее микробное число Коли-индекс Сальмонеллы Яйца гельминтов Цисты лямблий Ооцисты криптоสปоридий Цветность Мутность Бенз(а)пирен	Окисляемость Железо Марганец Нефтепродукты СПАВ Вирусы Колифаги Клостридии (сульфитредуцирующие)	Солевой состав Тяжелые металлы Азотсодержащие соединения Радионуклиды Показатели коррозионной активности	Алюминий Остаточный хлор Тригалометаны и другие галогенсодержащие углеводороды / Токсичность для гидробионтов Формальдегид Мутагенная активность

Далее хлопья с адсорбированными на их поверхности примесями осаждаются в отстойнике, при этом также удаляется значительная часть различных микробиологических загрязнений [1-6].

Исходя из рисунка 4.5 и технологических задач, которые стоят перед реализацией процесса коагуляции, был разработан метод контактной коагуляции с использованием осветлителей – рециркуляторов. На данное решение получен Патент [167]. Реализация данного метода осветления воды фактически дает возможность снижения расхода коагулянтов, следовательно – снижения химизации воды, повышения эффективности процесса осветления и не требует перестройки действующих сооружений водоподготовки.



Рисунок 4.5 – Технологические задачи процесса коагуляции

Эффективными коагулянтами для систем с водной дисперсионной средой являются соли поливалентных металлов (алюминия (таблица 4.4), железа и др.).

Таблица 4.4 – Примеры алюминий содержащих коагулянтов [151-153]

Коагулянт	Формула	Содержание, % масс	
		Al ₂ O ₃	Взвешенные вещества
Сульфат алюминия неочищенный	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	> 9	< 30
Сульфат алюминия очищенный	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	> 13.5	< 1
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·14H ₂ O	17 – 19	-
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	28.5	3.1
Полиоксихлорид алюминия	Al _n Cl _m (OH) _{n-m}	до 50	-
Алюминат натрия	NaAlO ₂	45-55	6-8

Основным коагулянтом питьевого водоснабжения, применение которого обеспечивает получение питьевой воды, удовлетворяющей действующим нормативам, является *сульфат алюминия*, для которого известны следующие формы выпуска:

- Сульфат алюминия технический по ГОСТ 12966-85 [150]
- Сульфат алюминия водный раствор – не включен в область национальной стандартизации по ГОСТ 12966-85

Продукт гидролиза сульфата алюминия $Al(OH)_3$ имеет повышенную чувствительность к рН и температуре обрабатываемой воды. Изoeлектрическая область для гидроксида алюминия, где у него наименьшая растворимость, соответствует $pH = 6,5-7,5$. При более низких значениях рН образуются частично растворимые основные соли, при более высоких – алюминаты. При температуре исходной воды ниже $4\text{ }^{\circ}C$ в результате увеличения гидратации гидроксида алюминия замедляются процессы коагулирования ее примесей и декантации хлопьев, быстро засоряются фильтры (рисунок 4.4, стадия фильтрации), осадок гидроксида алюминия отлагается в трубах-водоводах, остаточный алюминий попадает в фильтрат, а хлопья гидроксида образуются в воде уже после подачи воды потребителям.

У предприятий водопроводно-канализационного хозяйства есть опыт применения полиоксихлорида алюминия (ПОХА) либо как альтернативы сульфату алюминия, либо совместно с ним. Коагулянты на основе ПОХА могут представлять собой полиалюминий гидроксид хлорид, алюминий гидроксид хлорид, алюминий оксихлорид, полиалюминий хлорид, полиалюминий гидрохлорид. При обработке воды указанные соединения могут образовывать мономерные, полимерные и аморфные структуры. Основные достоинства ПОХА более высокие скорости хлопьеобразования и осаждения взвеси, расширение зоны оптимальных рН обрабатываемой воды, снижение содержания остаточного алюминия, уменьшение во многих случаях коррозионной активности воды. Недостатком ПОХА можно считать

зависимость эффекта очистки воды от качества применяемого коагулянта (необходимо учитывать основность реагента, чистоту исходного сырья). Опыт использования данного реагента на станциях водоподготовки свидетельствует о том, что необходимые дозы ПОХА могут быть ниже в 1.5 - 2 раза в сравнении с сульфатом алюминия (таблица 4.5). При этом отпускная цена 1 т ПОХА значительно (на 50% и более) превышает стоимость сульфата алюминия. Практика применения оксихлорида алюминия подтверждает преимущества, напрямую влияющие на экономические показатели его использования (в том числе и в сравнении с традиционно используемым сульфатом алюминия).[151,153]

Таблица 4.5 – Некоторые сравнительные характеристики коагулянтов сульфата алюминия и ПОХА [151-153]

Характеристика	Сульфат алюминия	ПОХА
Содержание действующего вещества	9 ... 28.5 % масс /	до 50 % масс. В 1.5 ... 2 раза выше на тонну продукта по алюминию (оксиду алюминия)
Приготовление рабочих растворов	Для кристаллических форм – комплекты оборудования, расход электроэнергии, неполное растворение Для растворов – контроль взвешенных веществ, низкий диапазон pH	Поставка в готовом рабочем растворе, быстрое растворение кристаллических форм, Стабилен в широком диапазоне pH
Коррозионная способность	Высокая коррозионная активность	Малое понижение щелочности, отсутствие сульфатов
Необходимость стабилизационной обработки воды	Обязательная стабилизация щелочными реагентами. Дополнительная химизация воды	Стабилизационная обработка не требуется. Экономия реагентов и эксплуатации реагентного хозяйства
Остаточное содержание алюминия	Высокое, дополнительная химизация воды, проблемы использования на высокоумутных водах	Низкое при потенциально больших вводимых дозах, более эффективное использование реагента
Рабочая доза	Базовое значение	В 1,5-2 раза ниже в пересчете на алюминий
Скорость протекания процесса	Базовое значение	Выше в 1,2...1,5 раз за счет способности к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси
Особенности структуры коагулянта	Продукт гидролиза сульфата алюминия $Al(OH)_3$ имеет повышенную чувствительность к pH и температуре обрабатываемой воды	Полимерная структура приводит к усилению электростатических взаимодействий между молекулами коагулянта и коллоидными частицами или растворёнными веществами

Технологическая эффективность применения ПОХА в 1,5 - 2 раза выше и 1 тонна этого коагулянта практически эквивалентна 3 - 4 тоннам сульфата алюминия, т.е. его применение позволяет увеличить производительность очистных сооружений на 20 - 30% без их реконструкции [151,152]. Также ПОХА обладает высокими коагулирующими свойствами независимо от температуры воды, позволяя снизить дозу коагулянта в 2 раза по сравнению с сульфатом алюминия, и поэтому он экономически более выгоден по сравнению со всеми традиционными коагулянтами. Кроме того, ПОХА в несколько раз уменьшает расходы на предварительное хлорирование и подщелачивание, более глубоко очищает воду и приводит к практически полному отсутствию алюминия в питьевой воде.

Наряду с этими существуют и другие коагулянты на основе алюминия: гидроксо (полиокси-) хлорсульфат алюминия и др., в которых дозы по оксиду алюминия равнозначны. Аллюминат натрия, относящийся к щелочным реагентам, содержит повышенное количество нерастворимых примесей, что требует дополнительного подкисления воды, поэтому он используется на водоочистных станциях крайне редко.

Существуют также коагулянты на основе солей железа, но они не нашли обширного практического применения для питьевой водоподготовки. Железный купорос нельзя употреблять для окрашенной болотной воды, так как он образует растворимые соединения с органическими веществами, придающими воде бурую окраску. Среди отрицательных свойств также отмечено существенное понижение pH обрабатываемой воды, что ведет к частичному растворению образовавшегося гидрооксида железа и восстановлению цветности. [151-153]

Таким образом, для обработки воды на большинстве станций водоподготовки в качестве взаимозаменяемых коагулянтов могут рассматриваться только сульфат алюминия (кристаллический и водный) и полиоксихлорид алюминия. Формирование основ необходимого и

достаточного уровня контроля в рамках настоящей работы рассмотрено через механизм национальной стандартизации, в соответствии с [161]

Необходимость оптимизации расхода коагулянтов заставляет потребителей обращать внимание на стоимость продукции. Она, в свою очередь, зависит от стоимости исходного сырья и технологических операций. Учитывая тот факт, что на сегодняшний день продукция может выпускаться на основании технических условий конкретного производителя, необходимо обеспечить единообразие оценки качества предлагаемых коагулянтов. Наличие стандарта позволит унифицировать процедуры оценки качества реагента и существенно облегчит предприятиям водно-коммунального хозяйства задачу по формированию программ испытаний и контроля остаточных концентраций потенциальных примесей в воде.

На сульфат алюминия уже существует стандарт, но только на твердую форму, водный раствор сульфата алюминия производят, исходя из показателей ТУ конкретных производителей. На коагулянты группы ПОХА такого стандарта ранее не существовало. В результате действующие до настоящего времени требования к производственному контролю качества воды не показывали наличие примесей при входной оценке качества самого коагулянта [151,181]. Их изготовление по ТУ также не регламентировали требования к исходному сырью, что затрудняет потребителям контроль качества и сравнение продукции разных производителей.

Автором был инициирована и осуществлена разработка национального стандарта на полиоксихлорид алюминия и реализован пересмотр старого стандарта на сульфат алюминия в целях учета новых требований к метрологическому контролю и включению водных растворов сульфата алюминия в область национальной стандартизации

4.4 Принципы и критерии обеспечения лабораторного контроля водоподготовки для процесса питьевого водоснабжения

Любые водоочистные сооружения должны в конечном итоге обеспечивать требуемые показатели качества воды, которые в первую очередь зависят от состава и свойств исходной воды [105], а также от технологии очистки воды (водоподготовки). Так, качество питьевой воды из централизованных систем водоснабжения должно строго соответствовать значениям нормируемых показателей воды и не допускает никаких компромиссов, связанных со здоровьем человека [27,181]. Мониторинг качества воды подразумевает под собой отбор проб и анализ компонентов и параметров воды. В отношении питьевой воды имеется в виду мониторинг качества воды по трем критериям:

1. Отсутствие опасности для здоровья населения;
2. Соответствие воды, подаваемой в сеть, эстетическим характеристикам;
3. Соблюдение применимых норм.

На протяжении всего процесса водоподготовки, начиная от забора и заканчивая подачей воды в водопроводную сеть, на станциях водоподготовки ведется непрерывный контроль параметров процесса, который может осуществляться либо лабораторным путем, либо автоматически. Отбор проб осуществляется в соответствии с ГОСТ 31861-2012 [169], а непосредственно анализ воды в соответствии с ГОСТ 18963-73 [170]. Анализ стандарта ГОСТ 31861 показал необходимость совершенствования требований к отбору проб и при участии автора был разработан и утвержден национальный стандарт [165], в котором максимально полно учтены все необходимые изменения, связанные с процедурами пробоотбора, включая использование автоматических систем и средств контроля.

Необходимое количество отбора проб воды, места их отбора и перечень необходимых лабораторных исследований включаются в программу производственного контроля, которая разрабатывается

специально для каждой централизованной системы водоснабжения. Перечень показателей, по которым, как правило, осуществляется контроль, приведен на рисунке 4.6.

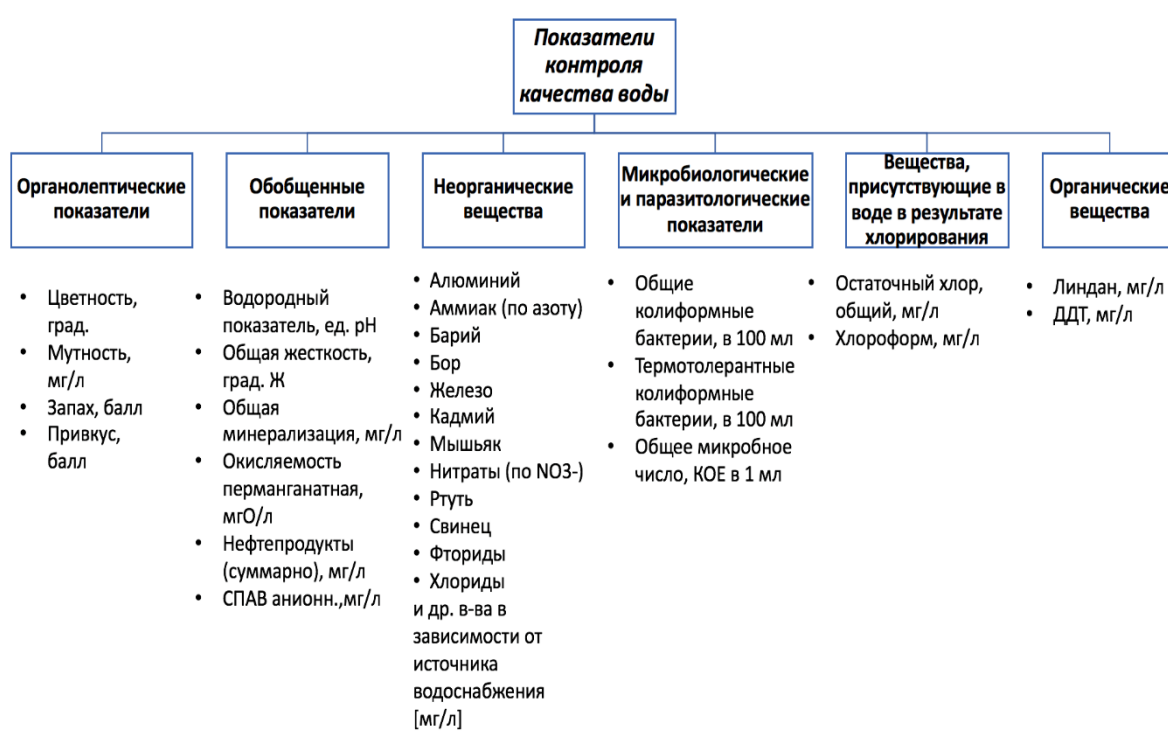


Рисунок 4.6 – Перечень показателей для осуществления контроля на станциях водоподготовки

Допустимые значения показателей определяются в соответствии с СанПиН 1.2.3685-2021 [25]. Однако лабораторный контроль характеризуется рядом недостатков:

- Наличие определенного «графика» отбора проб (полученные результаты исследований характеризуют состав воды только в определенный момент времени – время отбора пробы);
- Отсутствие возможности корректировки дозы реагентов, используемых при водоподготовке, в соответствии с показателями качества воды;
- Отсутствие возможности своевременного реагирования на нештатные ситуации, ввиду затрат по времени на транспортировку пробы воды до лаборатории, а также времени на проведение анализа и оформление результатов;
- Наличие «человеческого фактора» при проведении лабораторных анализов (возможно возникновение ошибки при проведении исследований).

В связи с вышесказанным, все больше внимания уделяется возможности осуществления автоматического контроля на станциях водоподготовки. Соответствие между качеством воды и источниками загрязнения представлено на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7– Параметры качества воды и источники загрязнения

Однако измерение ряда показателей состава и свойств вод, значения которых регламентированы нормативными документами и гигиеническими нормативами, в некоторых случаях невозможно автоматизировать из-за специфики их измерения [105]. Одновременно с этим, в процессе выполнения работы определена необходимость формирования единообразного подхода к созданию автоматических систем контроля качества воды. Решение данного вопроса, основанное на проведенных с участием автора данной работы исследований, показано в главах 5 и 6.

В рамках системы автоматического управления в работе были определены требования к оборудованию для автоматического отбора проб и подготовки проб к измерениям [105]:

1. Соответствие такого оборудования конкретным видам работ (например, подготовка проб для определения растворенных форм металлов);
2. Целостность данных при сбоях и авариях системы. В случае остановки автоматических средств измерений или остановки основного технологического оборудования система автоматического управления должна обеспечивать сохранность результатов измерений с фиксацией времени и даты остановки;
3. Указанные в инструкции условия эксплуатации оборудования и средств измерений должны соответствовать климатическим условиям, в которых они будут эксплуатироваться (с учетом времени года).

Результаты, полученные с использованием системы автоматического контроля, соответствующей требованиям данного стандарта являются достоверными и могут представляться в отчетной и статистической документации. Средства измерений, входящие в систему автоматического контроля организации, или система в целом, могут быть включены в область аккредитации лаборатории в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025 [171]. Для включения в область аккредитации лаборатории системы автоматического контроля и (или) средств измерений, входящих в систему автоматического контроля, такая система и (или) такие средства измерений должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.674-2009 [172], ГОСТ Р 8.678-2009 [173]. В область аккредитации вносят эксплуатационную документацию на систему автоматического контроля и (или) на средства измерений, входящие в систему автоматического контроля.

Эксплуатационная документация должна обязательно содержать следующие разделы [164]:

- введение;
- приписанные метрологические характеристики;
- материалы и реактивы;
- методы измерений;
- требования к безопасности;

- требования к квалификации обслуживающего персонала;
- требования к условиям эксплуатации;
- рецептуры приготовления реагентов и образцов контроля;
- обработка и оформление результатов;
- контроль точности результатов измерений.

4.4.1 Примеры автоматических систем контроля (САК)

В настоящее время существует ряд компаний, которые занимаются производством и распространением аналитических приборов и реагентов, используемых для проверки качества воды и других жидких растворов. Существует широкий спектр интерактивных приборов, портативного лабораторного оборудования, готовых реагентов, простых (в использовании) методов, часть которых представлена ниже:

1. Лабораторные/портативные приборы

Продукция: датчики, титраторы, реагенты, фотометры, экспресс-тесты, программное обеспечение.

Определяемые параметры: O_2 , pH, проводимость, мутность/ взвешенные вещества, микробиология, биогенные элементы, ХПК, ООУ, ЛОС, БПК, хлор, металлы, кремний.

2. Контроль процесса (онлайн-контроль)

Продукция: контролеры, датчики, анализаторы, реагенты, запасные части и расходные материалы, системы управления.

Определяемые параметры: O_2 , pH, проводимость, мутность/ взвешенные вещества, уровень ила, биогенные элементы, ООУ, хлор, озон, хлорамин, заряд частиц.

3. Пробоотбор

Вакуумные/перистальтические приборы, переносные/стационарные.

4. Программные продукты

Prognosys/ Предупредительная диагностика, системы управления RTC, мобильные приложения MSM/ Облачные решения.

5. Автоматизированные лаборатории Роботизированные системы.

Автоматический контроль всех стадий процесса на станциях водоподготовки может осуществляться в зависимости от источника: по хлору (при применении хлорирования воды из подземного источника), по параметру мутности (при заборе воды из поверхностного источника). Автоматический контроль будет рассматриваться на примере датчиков серии Solitaxsc и анализаторов CL17 и CL10 компании X.

4.4.1.1 Контроль мутности

Предлагается осуществлять контроль мутности в следующих точках процесса водоподготовки:

1. На входе воды на станцию водоподготовки (перед решетками);
2. Перед подачей воды на осветлитель;
3. В осветлителе;
4. После осветлителя;
5. После фильтрации;
6. Перед подачей воды в сеть.

Для измерения мутности в автоматическом режиме в качестве примера могут использоваться цифровые промышленные датчики Solitaxsc. Мы рассматривали данные измерительные приборы при проведении исследования на предприятии АО «Вода Смоленска» в г.Вязьма



Рисунок 4.8 – Датчик Solitaxsc для измерения мутности

Таблица 4.6 – Технические данные датчика Solitaxsc

Принцип измерения	Двойное светорассеяние в ИК области
Диапазон измерений	t-line: 0.001 — 4000 FNU; ts-line, inline: 0.001 — 4000 FNU; 0.001-50 г/л; hs-line, highline: 0.001 — 4000 FNU; 0.001-150 г/л
Воспроизводимость	Мутность: <1%; Взвешенные вещества :<3%
Интервал технического обслуживания	1 ч/месяц
Точность измерения	Мутность до 1000 FNU/NTU: без калибровки <5% от измеряемого значения, ± 0.01 FNU/NTU; с калибровкой <1% от измеряемого значения, ± 0.01 FNU/NTU
Метод калибровки	Взвешенные вещества: зависит от образца, на основе гравиметрического метода определения взвешенных веществ путем введения поправочного коэффициента
Время отклика	1 — 300 сек. (настраивается)
Длина кабеля	10 м, максимум 100 м с удлинителем
Рабочая температура	0-40°C
Диапазон измерений	Содержание ВВ: 0,001 - 50 г/Л; 0,001 - 50,000 mg/L Мутность: 0,001 - 4000 NTU
Давление	до 6 бар (глубина до 60м)
Макс. скорость потока	до 3 м/с
Очистка	Автоматическая/без очистки
Контроллер	Подключается к универсальным промышленным контроллерам серии SC 200 (2-х канальный) и SC 1000 (многоканальный)
Способ установки	погружной/в трубопровод или емкость
Сертификаты	СЕ
Вес	1,38 kg

Принцип действия

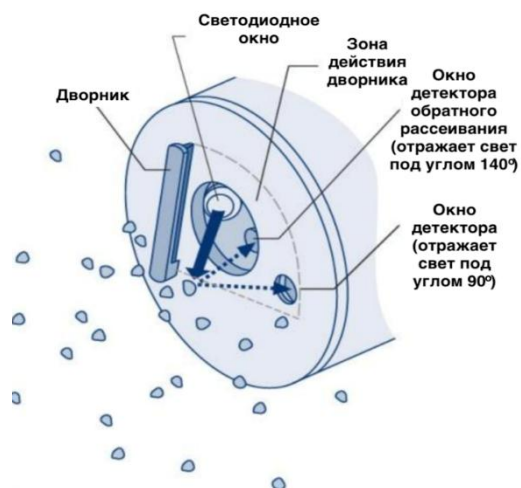


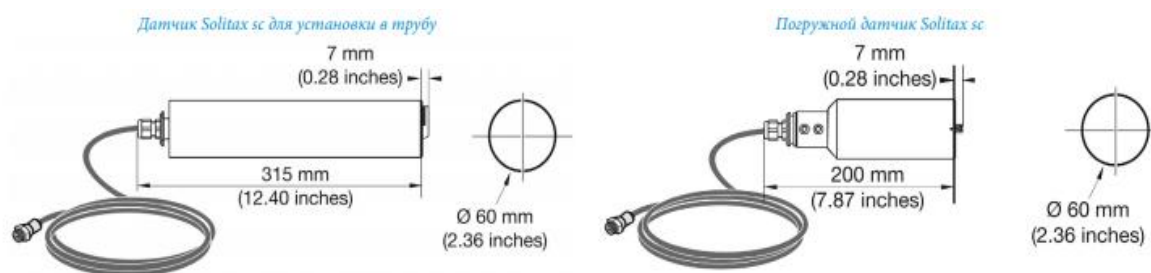
Рисунок 4.9 – Схема датчика мутности

Датчик Solitaxsc ts-line с двухлучевой оптической системой и дополнительным детектором отраженного рассеянного света.

- Двойные инфракрасные лучи. Светодиодный источник направляет свет под углом 45° к поверхности датчика;

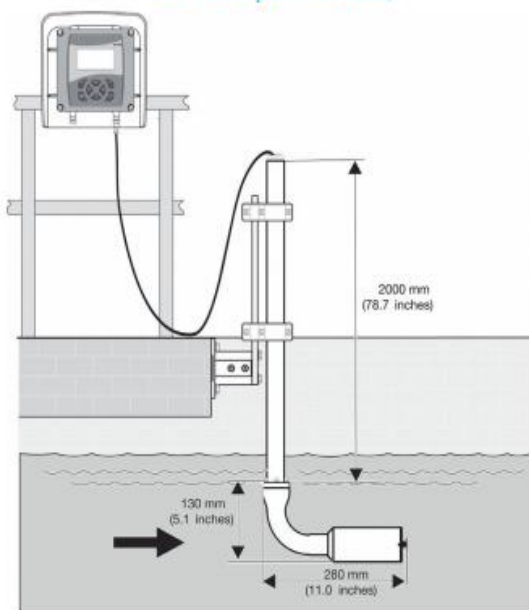
- Нефелометрический фотодатчик фиксирует свет, отраженный под углом 90° к падающему свету;
- Фотодатчик отраженного рассеянного света (во всех моделях, кроме Solitaxsc t-line) фиксирует свет, отраженный под углом 140° к падающему свету для измерения взвешенных веществ в сильно загрязненных пробах;
- Дворник для самоочистки (опционально);
- Датчики t-line измеряют только мутность. Датчики TS, HS, inline и highline используются для измерения мутности или взвешенных веществ.

Датчики Solitaxsc можно зафиксировать на краю резервуара (погружное исполнение) или устанавливать непосредственно в трубу (рисунок 4.10) [174].



Установка/монтаж

Установка датчика Solitaxsc в открытые резервуары.
(Комплект для крепления на штанге из нержавеющей стали,
заказной номер LZY714.99.53120)



Монтажная арматура с шаровым краном для крепления датчиков
Solitax inline и highline sc в трубопроводах, минимальный размер
трубопровода 100 мм (4 дюйма)
(Заказной номер LZX337, макс. давление 6 бар; заказной номер
LZX936, макс. давление 1 бар.)

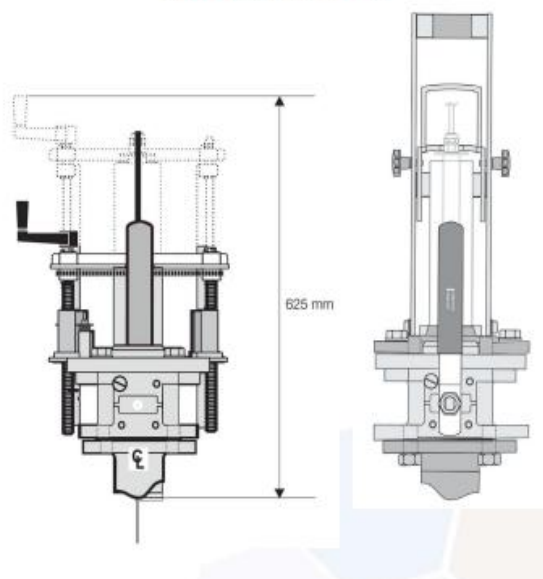


Рисунок 4.10 – Размеры датчиков в зависимости от типа установки

4.4.1.2 Контроль содержания хлора

Предлагается осуществлять контроль содержания хлора в следующих точках процесса водоподготовки:

1. На входе воды на станцию водоподготовки (перед решетками);
2. Перед процессом хлорирования (перед контактными резервуарами);
3. После контактных резервуаров;
4. Перед подачей воды в сеть.

Для измерения концентрации хлора может использоваться 2 метода: колориметрический и амперометрический. Сравнение методов, а также их ключевые особенности приведены в таблицах 4.7 и 4.8 соответственно.

Таблица 4.7 – Сравнительный анализ методов определения хлора

Метод	Описание	Отличительные качества
Колориметрический	Измеряет интенсивность цвета индикатора образованного в реакции хлора со специфическим химическим реагентом (CL17). Чем глубже окраска раствора, тем выше концентрация хлора.	Независимость от основных параметров образца (рН, поток/давление, температура); Стабильная калибровочная кривая.
Амперометрический	Измеряет электрический ток, возникающий в электросхеме при реакции хлора с электродами (CL10). Чем выше концентрация хлора, тем сильнее ток.	Не нужны химические реагенты; Быстрый ответ на изменение концентрации хлора.

Таблица 4.8 – Ключевые особенности анализаторов хлора

Параметр	CL17	CL10
Влияние изменений концентрации хлора, рН, расхода/давления воды и т.п.	Не влияет	Показания могут изменяться. Может быть необходимо доп. обслуживание.
Калибровка	Не требуется	Необходима. Частота калибровок зависит от условий применения прибора (характеристики анализируемого образца)
Периодическое обслуживание	Замена трубок 1 раз/ 6 мес.	Замена мембраны и электролита каждые 3-6 мес.
Реагенты	Замена 1 раз/ 30 дней	Не требуются

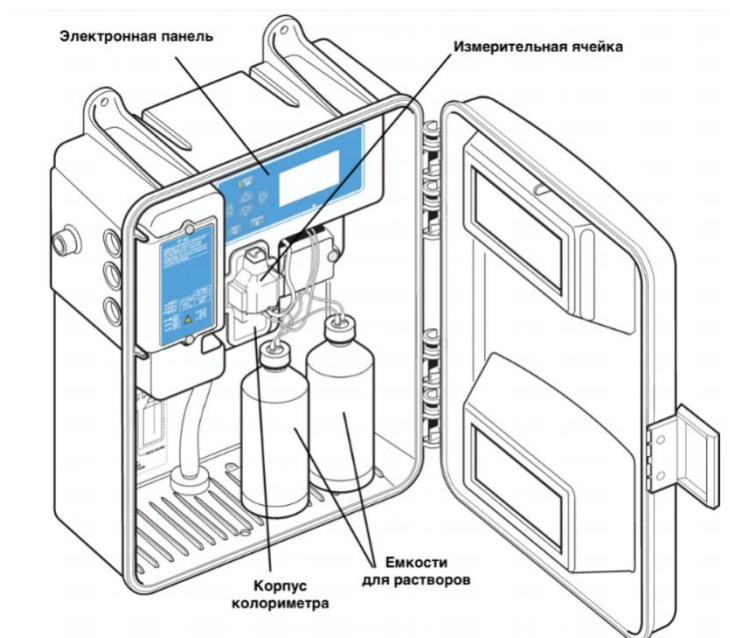


Рисунок 4.11 – Анализатор хлора CL17

Принцип действия: свободный остаточный хлор (хлорноватистая кислота и ионы солей хлорноватистой кислоты) окисляет индикаторный реагент DPD в интервале pH от 6,3 до 6,6, в результате чего образуется соединение красновато-пурпурного цвета. Глубина или интенсивность полученного цвета пропорциональна концентрации хлора в образце. Буферный раствор, предназначенный для определения свободного хлора, поддерживает оптимальное значение pH. Общий остаточный хлор (свободный остаточный хлор и связанный в хлорамины) определяется путем добавления йодида калия в реагенты. Хлорамины в образце окисляют йодид до йода, который, совместно с любым свободным хлором, окисляет индикатор и образует вещество красновато-пурпурного цвета с показателем кислотности pH 5.1. Другой буферный раствор, содержащий йодид калия, поддерживает уровень pH, необходимый для реакции. После завершения химической реакции, производится измерение оптической плотности образца на длине волны 520 нм и ее сравнение с оптической плотностью образца до добавки реагентов. Концентрация хлора рассчитывается из разности оптических плотностей. Подготовка всех проб осуществляется при помощи одноканальной системы пробоподготовки, поставляемой к каждому прибору. Набор позволяет исключить попадание крупных частиц при помощи 40-

сетчатого фильтра. Шаровой клапан на входе в систему пробоподготовки можно использовать для контроля потока по обводному (байпас) каналу, попадающего на фильтр. При работе с загрязненной водой, двухконтурная конструкция позволит дольше сохранять работоспособность сетчатого фильтра, либо оставить его частично открытым для постоянного байпаса.

Принцип действия: при реакции хлора с электродами возникает электрический ток, который измеряется данным анализатором. При увеличении концентрации хлора, увеличивается сила тока, и наоборот. Анализатор хлора без реагентов CL10 sc может применяться для различных сфер деятельности, в том числе измерения хлора в питьевой и технической воде, а также в сточных водах; позволяет в режиме реального времени контролировать процесс дезинфекции, так как производит постоянные измерения. С помощью этих данных можно сделать вывод об изменении условий обработки. Диапазон измерения анализатора достигает 0-20 миллионных долей, так, с его помощью можно контролировать процессы обеззараживания при различных условиях.



Рисунок 4.12 – Анализатор общего хлора CL10

На анализаторе CL10 sc используется алгоритм для самодиагностики CalWatch, который служит для оповещения пользователей об изменении процесса или необходимости сервисного обслуживания. К функциям диагностики относится алгоритм для предупреждения об отклонении в калибровке pH и хлора, а также бесконтактный датчик потока образца для

уведомления о недостаточном потоке образца. Для измерения концентрации свободного или общего хлора с помощью амперометрического анализатора CL10 sc не требуется наличия реагентов [174].

4.5 Критерии оценки для проектов по модернизации объектов транспортировки (перекладка сети, ремонт)

Эксплуатирующие организации, органы местного самоуправления, контрольные органы сталкиваются с проблемой старения сетей во всем мире. [188,230] Статистика, говорящая об износе водопроводных сетей, зачастую малоинформативна и предлагает некий набор бухгалтерских данных (амортизация), на которых основывается долгосрочная политика замены.

Водопроводные сети служат достаточно долго и, на наш взгляд, следует основывать любую стратегию замены на основе жизненного цикла, а не на возможных краткосрочных преимуществах, таких как начальные ценовые характеристики собственно водопроводной трубы. Вместе с тем, процедура оценки тех или иных преимуществ жизненного цикла для сетей должна основываться на детальном анализе существующей централизованной системы ресурсоснабжающей организации, проведение которого весьма часто невозможно по причине отсутствия ресурсов, специалистов и времени. Альтернативная оценка для таких целей требует простого набора инструментов и должна основываться на основных положениях предложенной автором методики [97,98] с учетом специфики трубопроводной инфраструктуры. В настоящее время имеется ряд статистических моделей, позволяющих оценить будущие издержки, связанные с отказами трубопроводов для сетей водоснабжения. Достаточно известными являются модели [175,176]. Такие модели требуют детального анализа данных отказов для всех трубопроводных активов и, как правило, ресурсоснабжающая организация имеет свои данные о зарегистрированных отказах в области трубопроводного хозяйства, которые можно использовать для целей формирования эмпирических моделей расчета СЖЦ. Однако

статистика для каждого предприятия ведется часто не в полной мере, не дает возможности понять, был ли по результатам отказа ремонт, замена трубы или же другое решение, связанное с конкретным отказом. Также будет неясно, была ли авария/отказ следствием работы системы в штатном состоянии или нештатном (например, при гидроударе). Таким образом, имеющиеся модели должны оценивать эксплуатационные издержки, будущие отказы, по базам, которые не вполне достоверно позволяют это сделать, что, несомненно, не даст ясную картину для расчета стоимости жизненного цикла трубопроводного хозяйства. Формирование стратегии совершенствования сетей водоснабжения должно учитывать в части эксплуатационных и капитальных затрат указанные составляющие. Достаточно интересным выглядит опыт реализации проектов совершенствования трубопроводной инфраструктуры, представленный в [177, 188,230]. Предлагаемые решения должны учитывать особенности гидравлического моделирования с позиций надежности и энергоэффективности и прогнозирования грядущего качества воды. Учитывая резкое ужесточение допустимых норм тригалометанов (ТГМ) в питьевой воде, необходимо отдельно отметить обязательность снижения рисков отказов и ремонтов, каждый из которых требует санации трубопроводов, соответственно, хлорирования, а часто и перехлорирования воды для этих целей. Кажущиеся очевидными решения по использованию надежных трубопроводных систем с высокими гидравлическими характеристиками все равно требуют дополнительного обоснования.

В связи с отсутствием простых инструментов для всего жизненного цикла, доступных для водной отрасли в Соединенных Штатах, Институт пластмассовых труб (Plastics Pipe Institute) спонсировал разработку системы LICAN (**L**ife cycle **C**ost **A**nalysis of **N**etworks). К сожалению, применение LICAN оказалось невозможным по причине правового запрета и претензий со стороны отдельных производителей. [188,230] Тем не менее, такой подход соответствует общей концепции оценки стоимости жизненного цикла и должен развиваться, так как позволяет оценить:

- Стоимость установки - за метр, связанная с новой трубой и диаметром, умножается на длину, чтобы получить стоимость установки.
- Стоимость ремонта - умножается на дробное число событий ремонта, ожидаемых в данном году, чтобы сгенерировать общую стоимость ремонта для актива в течение данного года.
- Стоимость утечки - объем воды, потерянной активом, затем умножается на стоимость утечки на единицу (на 1 куб. м), чтобы определить стоимость утечки.
- Стоимость замены - если в данном году актив не будет заменен, то стоимость замены будет равна нулю.

Исходя из этого, автором было проведено анкетирование ресурсоснабжающих организаций с целью формирования статистической модели отклика по опыту использования и применения в трубопроводном хозяйстве различных материалов. Проведенные в рамках предварительного обсуждения экспертные слушания на Всероссийском водном конгрессе [230] позволили сформировать перечень вопросов и возможную критериальную базу дальнейшей оценки. Сводные данные, полученные автором в результате опроса предприятий ВКХ в 2020-2021 годах, представлены ниже.

4.5.1 Критерии и принципы алгоритмизации выбора трубопроводного оборудования для централизованных систем водоснабжения.

Водопроводные сети являются неотъемлемой составляющей процесса централизованного питьевого водоснабжения (рис.1.1). Основой для проектирования сетей являются данные об инвентаризации, которая осуществляется с использованием нами ГОСТ Р 59495-2021 «Качество воды. Системы водоснабжения наружные. Требования к графическому отображению основных структурных элементов и технологических связей между ними». Так как статистика, говорящая об износе водопроводных сетей, зачастую мало информативна и предлагает некий набор бухгалтерских данных (амортизация), на которых основывается долгосрочная политика

замены, предлагаемые решения должны учитывать особенности гидравлического моделирования с позиций надежности и энергоэффективности и прогнозирования грядущего качества воды.

При выборе проектного решения рекомендуется использовать разработанный нами интегральный балльный показатель характеристики сетей из различных материалов. Данные в таблице 4.8 представлены на основании проведенного анкетирования предприятий ВКХ, которое было проведено автором в 2020-2021 годах. Всего было получено 54 анкеты от предприятий. Оценивается суммарный показатель по данным таблицы 4.8 для выбранных на альтернативной основе решений.

Суммарный балльный показатель риска (R_i) каждого выбранного решения рассчитывается по формуле (4.1):

$$R_i = \sum_{i=1}^n (R_{i1} + R_{i3} + R_{i5} + R_{i7} + R_{i8} + R_{i9} - (R_{i2} + R_{i4} + R_{i6})) \quad (4.1)$$

Где i – выбранное решение, для которого составляющие определяют по данным таблице 4.8

При наличии нескольких альтернативных технологий для одного объекта выполняется оценка эффективности каждой технологии (Eff_{mp}) [29] по формуле (4.2):

$$Eff_{tr} = \frac{\Delta R}{Z(k) + Z(экспл)}, \quad (4.2)$$

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 (1) значение R_i ; Z – капитальные (k) и ежегодные эксплуатационные (экспл) затраты на реализацию проекта модернизации системы водоснабжения, по [97,98].

Таблица 4.8 – Данные для расчета показателя снижения риска при выборе материала трубопровода

	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 (хризотилцемент)	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 поливинилхлорид	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

Продолжениетаблицы 4.8

	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 (подразумевая 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
Асбестоцемент (хризотилцемент)	6	6	5	5	5	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	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
Железобетон	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	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
Полиэтилен	2	1	1	1	1	9	9	9	9	9	8	8	8	7	7	10	10	10	10	10
ПВХ (поливинилхлорид)	2	1	1	1	1	9	9	9	9	9	8	8	8	7	7	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

Таблица 4.9 – Особенности проектирования водопроводных сетей

Параметр	Особенности проектирования водопроводных сетей с применением		
	полиэтиленовых труб	ВЧШГ труб	стальных электросварных прямошовных труб
Рекомендуемый выбор трубы	для строительства и реконструкции сетей водоснабжения с толщиной внешнего слоя или защитной оболочки не менее 10 % от толщины стенки несущей трубы	водопроводные сети условным диаметром от 500 мм и более	Строительство и реконструкции сетей водоснабжения диаметром 1000 мм и более, при условии технико-экономического обоснования, с обязательным устройством электрохимической защиты
Срок службы сетей из таких труб	в течение 100 лет при соблюдении правил эксплуатации согласно PAS 1075 [230]	в течение не менее 100 лет при соблюдении правил эксплуатации согласно СП 66.13330	не менее 30 лет при соблюдении правил эксплуатации.
Допустимая рабочая температура и давление водопроводной воды	до 40 °С (с кратковременным повышением до 60 °С), давление - до 1,6 МПа	до 95 °С, давление - до 4,0 МПа	до 95 °С, давление - до 4,0 МПа
требованиям экологической безопасности питьевой воды	Полное соответствие	Полное соответствие	Ограниченное соответствие
Требования к испытаниям	PAS 1075, ISO 9080, ISO 16770 [9,230] в независимой аттестованной испытательной лаборатории	по ГОСТ Р ИСО 2531, ГОСТ 1497, ГОСТ 27208, DINEN 545 [230] в аттестованной испытательной лаборатории	в соответствии с разделами 7-9 СП 33.13330
Проектные решения для прокладки сетей	с учетом СП 399 СП 40-102, СН 550, СП 31.13330, и СНиП 3.05.04	С учетом положений СП 24.13330, СП 31.13330, СП 66.13330, СП 72.13330, СНиП 3.05.04.	с учетом положений СП 24.13330, СП 31.13330, СП 33.13330, СП 72.13330, СНиП 3.05.04.
Бестраншейная укладка	Возможна. Опыт широкого применения	Возможна, необходимо предусматривать трубы с раструбными соединениями типов «RJ» и «RJS»	Применяется
Гидравлический и прочностной расчеты	в соответствии с СП 399, Приложением Д к СП 40-102.	В соответствии с разделами 5, 6 СП 66.13330	
Трубы и фасонные изделия	соответствие ГОСТ 18599, ГОСТ Р ИСО 3126, DIN 8074, DIN 8075, DINEN 12201 [230]. Для соединения изделий следует использовать сварку согласно СНиП 3.05.04 Разъемные (фланцевые) соединения согласно СП 40-102 предусматриваются в местах установки арматуры и присоединения к оборудованию, доступных для осмотра и ремонта	соответствие ГОСТ 7293, ГОСТ 5525, ГОСТ 10692, ГОСТ Р ИСО 2531 и DINEN 545 [230]	Сварная конструкция (прямошовные трубы)
Допустимая глубина заложения	выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности	выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности	выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности

Проектирование, подбор и расчет наружных и внутренних защитных покрытий	исключение передачи нагрузки на водопровод при неравномерной осадке пересекаемого сооружения В общем случае не требуется. Для скальных и сложных грунтов, обратной засыпке мелкообломочными породами – согласно СП 399	в соответствии с 5.14 СП 66.13330.11, согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 2531	Внутреннее покрытие: следует использовать двухкомпонентную эпоксидную эмаль, либо эпоксидно-фенольное полимерное покрытие, либо цементно-песчаное покрытие Наружное: соответствовать ГОСТ Р 51164, тип защитного покрытия – усиленный (ВУС)
Анализ коррозионной агрессивности грунтов в месте прокладки труб	Не требуется	согласно 5.13 СП 66.13330	ГОСТ 9.015-74
Определение удельного электрического сопротивления грунта, тип электрохимической защиты	Не требуется	По ГОСТ 9.602 Станции катодной защиты являются необходимым элементом системы электрохимической защиты от коррозии в зонах входа блуждающих токов в подземные сооружения	По ГОСТ 9.602 Станции катодной защиты являются необходимым элементом системы электрохимической защиты от коррозии в зонах входа блуждающих токов в подземные сооружения
Определение опасного влияния блуждающего постоянного тока	Не требуется	ГОСТ 9.602 и РД 15 3-39.4-091 [230]	ГОСТ 9.602 и РД 153-39.4-091 [230]
Требования к основанию под трубопроводы	в соответствии с СП399, СП 45	в соответствии с СП66, СП 45	в соответствии с СП 45

4.5.2 Способы и методы стабилизации пропускной способности инженерных сетей. Оценка гидравлической эффективности использования металлических водопроводных труб, подвергаемых реконструкции

Ранее, в главе 3 нами показаны результаты исследования, в рамках которого разработана методика оценки гидравлической эффективности использования неновых металлических труб. Данная методика позволила сформировать критерии оценки для проектов по модернизации объектов транспортировки (перекладка сети, ремонт), что, в свою очередь, дает возможность прогнозов возможной дальнейшей эксплуатации действующих водопроводных сетей по результатам технического обследования. Экспертная оценка продолжительности остаточного использования металлических трубопроводов по значению величины $K_{эф}$. По значению величины $K_{эф}$, расчет которого представлен в главе 3, по таблице 4.10 определяют прогнозируемую продолжительность остаточного использования трубопровода.

Таблица 4.10 – Прогнозируемая продолжительность остаточного использования трубопровода

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

Гидравлическое прогнозирование продолжительности остаточного использования металлических труб сводится к поэтапной оценке значений характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{\phi}$, $V_{ф}$ и $i_{ф}$, входящих в расчетную зависимость для определения значения величины $K_{эф}$ (формула 3.6). Принцип гидравлического прогнозирования продолжительности

остаточного использования металлических труб предусматривает (см. главу 3):

- Расчет фактических значений потерь напора на сопротивление по длине i_{ϕ} с учетом измеренной прибором фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} .
- Расчет значений расчетных характеристик гидравлического потенциала для новых труб - $d_{\text{вн}}^p$, V_p , i_p .
- Расчет фактических значений $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} с учетом значений Δ_{ϕ} .
- Экспертное прогнозирование продолжительности остаточного использования металлических труб по значению величины коэффициента эффективности использования $K_{\text{эф}}$ (таблица 4.10)

Обоснование выбора материала труб при реконструкции изношенных металлических трубопроводов должно производиться для любого возможного (рассматриваемого) материала труб по трем критериям – гидравлическому, стоимостному и временному. Выбор материала труб считается обоснованным тогда, когда значение фактических потерь напора i_{ϕ} , стоимость одного погонного метра труб и темп монтажа трубопровода в проекте реконструкции будут оптимальными. Предпочтение отдается материалу труб, имеющему:

- минимальные фактические потери напора i_{ϕ} ;
- минимальную строительную стоимость 1 п.м труб;
- максимальный темп производства СМР.

Обоснование необходимости разработки проектов реконструкции трубопроводов из стали и серого чугуна проводить с учетом положений разработанный при участии автора настоящей работы рекомендаций [137]. Для возможности продления периода дальнейшего использования неновых металлических трубопроводов проводить экспертную оценку их гидравлической эффективности на основе анализа значений коэффициента

эффективности использования трубопроводов $K_{эф}$ (формула (3.6)). Оценку продолжительности остаточного использования неновых трубопроводов из стали и серого чугуна проводить на основе расчета гидравлического прогнозирования при оценке продолжительности остаточного использования металлических труб (см. главу 3).

4.6 Выводы по главе 4

Представленные в настоящей главе данные говорят о том, что необходима общая методологическая платформа оценки технологических и организационных решений для централизованного питьевого водоснабжения. Такая оценка должна включать:

- требований к реагентам и их безопасным уровням присутствия в питьевой воде,
- обеспечение качества и процедур контроля качества питьевой воды,
- общие подходы к автоматизации процедур контроля качества воды, в том числе выбор основных показателей контроля качества и обоснование периодичности контроля
- общие подходы к выбору оборудования в целях обеспечения технологической надежности питьевого водоснабжения
- требований к трубопроводному хозяйству, а также механизмы и методы оценки гидравлической эффективности трубопроводных систем
- кадровая обеспеченность и возможность регламентной эксплуатации систем и сооружений водоснабжения и водоотведения

Такого рода методология, учитывающая вышеперечисленные факторы, не может быть в отрыве от экономических, экологических, технологических и социальных аспектов и должна реализовываться на принципах оценки стоимости жизненного цикла для систем и сооружений водоснабжения. Такого рода оценка должна быть стандартизована и методологически внедрена для объектов водоснабжения нашей страны. Для

этого автором был выбрано направление совершенствование методологической базы путем создания национального стандарта в области оценки стоимости жизненного цикла. Такой стандарт является системообразующим, при этом в работе далее будут показаны реализованные и внедренные в практику аспекты стандартизации, соответствующие требованиям к оценке технологических и организационных решений для нужд централизованного питьевого водоснабжения.

5 Формирование системы стандартов для нужд централизованного питьевого водоснабжения

5.1 Стандартизация в области оценки качества водных источников для централизованного питьевого водоснабжения

Ключевым фактором, определяющим обеспеченность населения питьевой водой, является объем источника, зависящий от географических, ландшафтных и временных изменений, а также от воздействия человеческой деятельности [5,45,82]. При выборе технологии водоподготовки особое внимание уделяется происхождению источника питьевого водоснабжения, его характеристикам и классу, принадлежность к которому определяется показателями водоисточника. Стандартизация источников водоснабжения осуществлялась путем разработки подходов, связанных с комплексной оценкой, и отраженной в утвержденных документах национальной системы стандартизации. Основные принципы, заложенные в стандартизацию водных источников, основывались на интегральной оценке с использованием коэффициента антропогенной нагрузки. При участии и под руководством автора настоящей работы были разработаны следующие национальные стандарты, регламентирующие требования к водным источникам [79-81]:

- ГОСТ Р 58555-2019 «Экспертно-комбинированный метод регулирования водопользования»
- ГОСТ Р 58557-2019 «Обоснование эколого-экономической целесообразности внедрения водоохранных мероприятий»
- ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций»

Из анализа по категорированию качества поверхностных водных объектов [74] следует вывод об отсутствии к настоящему времени единой, достаточно полной и сбалансированной комплексной методики оценки качества водных экосистем при использовании одновременно гидрохимических и гидробиологических показателей, основанной на

современных методах формализации, лишенной профессионального субъективизма используемых критериев, технологичной для широкого использования и юридически действующей.

Наиболее распространенными являются методы, методики выполнения измерений, руководящие документы по гидрохимическому мониторингу, но за последние десятилетия гидрохимическая парадигма уступила лидирующее положение биотической парадигме. В силу того, что гидрохимический мониторинг более развит, имеет огромный опыт практического применения, необходимо было разработать универсальный инструмент для сопряженного мониторинга водных объектов, который включал бы в себя результаты оптимального количества гидрохимических и гидробиологических показателей. Разработка указанных стандартов позволяет ввести в практику государственной водоохранной регулятивной функции единообразный методологический подход оценки вреда и ущерба, с одной стороны, и, с другой стороны, оценки негативных воздействий в результате хозяйственной деятельности. Данные стандарты учтены при разработке мероприятий Федерального проекта «Чистая вода», «Справочника перспективных технологий водоподготовки» [9,29,109], один из разделов которого относится к качеству водных источников питьевого водоснабжения.

5.2 Стандартизация в области описания систем питьевого водоснабжения

Существующие требования к описанию систем водоснабжения основаны на выполнении положений [8]. Вместе с тем, описание схем необходимо методологически реализовывать, исходя из различного целеполагания и дальнейшей обработки информации. При формировании программ модернизации, при различного рода инвентаризационных действиях, для составления отчетов и повышении управляемости процессами централизованного питьевого водоснабжения необходимо обеспечить такой

интерфейс взаимодействия, который будет понятен всем пользователям, нагляден, сможет вписываться в различного рода проекты цифровизации и позволит осуществлять оперативное изменение схем водоснабжения, сбора информации и прогнозов капитальных и эксплуатационных затрат.

Проведенные исследования позволили сформировать методическую основу и подготовить редакцию национального стандарта, посвященного описанию систем водоснабжения населенных пунктов. Автором предлагаются схемы, которые описывают все основные элементы системы водоснабжения выбранного населенного пункта и/или муниципального образования (МО) (водозаборы, станции водоподготовки и связанные с ними резервуары, насосные станции первого и второго подъема и все исходящие от них водопроводы до первого отвода, а также резервуары, башни и насосные станции на окончании указанных водопроводов, потребители системы водоснабжения - муниципальные образования). Предлагаемое решение также описывает камеры, колодцы и вспомогательные водопроводы, связывающие между собой вышеуказанные элементы системы. Таким образом, в рамках разработанного национального стандарта схема водоснабжения для выбранного населенного пункта и/или МО формируется на базе данных официальной отчетности, предоставленной субъектом РФ в рамках периодического мониторинга показателей и состояния систем водоснабжения. С учетом того, что источники водоснабжения выбранного населенного пункта и/или МО могут обеспечить (или обеспечивают) водой какие-либо иные населенные пункты, разработанный автором подход отображает основные элементы системы, технологически связанные с такими источниками и потребителями.

Для повышения управляемости и формирования систем прямой и обратной связи, автором предложено и утверждено в разработанном национальном стандарте отображение на схемах характеристик (в редакции национального стандарта - атрибуты) элементов системы, отражающих

нормативные и фактические объемы потребления воды (тыс.м³/сут), ее качество (доля проб, загрязняющие вещества), используемые технологии водоподготовки, показатели трубопроводов (диаметр, длина, материал), характеристики потребителей (численность жителей, среднее потребление (потребляемая мощность)). Предлагаемые методические подходы к описанию систем водоснабжения, таким образом, включают в себя:

- общие данные по схеме водоснабжения;
- изображение элементов системы водоснабжения;
- тип элемента системы водоснабжения;
- масштаб элемента системы водоснабжения;
- атрибуты элементов системы водоснабжения.

В целях единообразия при описании схем, автором, на основании анализа данных, используемых при формировании региональных программ «Чистая вода», предложено выполнять графическое изображение систем водоснабжения и отдельные выносные элементы систем, водоводы располагать горизонтально. Вспомогательные пунктирные линии – горизонтально и вертикально. Основные элементы для изображения системы водоснабжения представлены в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Основные элементы для изображения системы водоснабжения

Тип элемента	Обозначение	Дополнительные сведения
1	2	3
Водозаборы		Поверхностный русловый
		Подземный

Продолжение таблицы 5.2

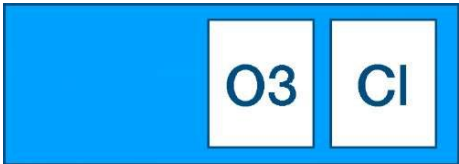
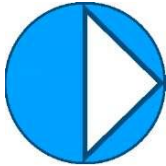
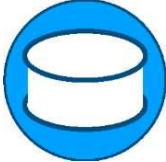
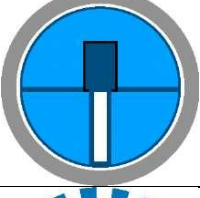
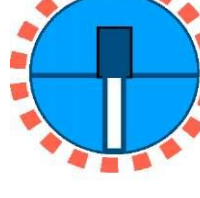
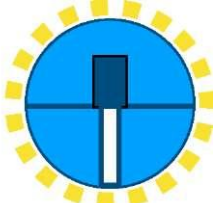
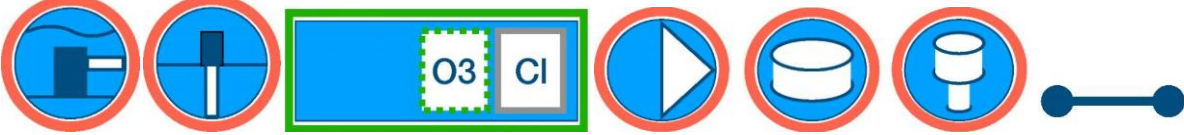
		Подрусловой
		Поверхностный береговой
Станция водоподготовки		С указанием основных используемых технологий водоподготовки
Насосные станции		
Камера		
Резервуар		
Водонапорная башня		
Колодец		
Водопроводы		
Потребители	ГО Алексеевский МО Светлое	

Таблица 5.3 – Типы элементов системы водоснабжения

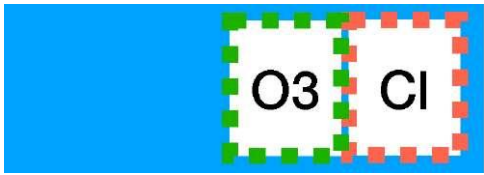
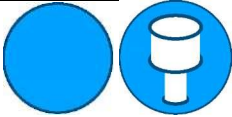
Вид элемента	Описание и назначение в системе водоснабжения
	Эксплуатируемый, внешний периметр - линия, шириной 2 мм голубого цвета
	Эксплуатируемый, высокая степень аварийности, внешний периметр - линия, шириной 2 мм красного цвета
	Эксплуатируемый, в стадии модернизации, внешний периметр – линия шириной 2 мм зеленого цвета
	Эксплуатируемый, подлежит выводу из эксплуатации, внешний периметр – линия шириной 2 мм серого цвета
	В резерве, внешний периметр - пунктирная линия шириной 2 мм голубого цвета
	В резерве, высокая степень аварийности, внешний периметр - пунктирная линия шириной 2 мм красного цвета
	В стадии строительства или реконструкции, внешний периметр - пунктирная линия шириной 2 мм зеленого цвета

Продолжение таблицы 5.3

	Проектируемый, внешний периметр - пунктирная линия шириной 2 мм желтого цвета
Примечание – применимо для: 	

Для указания масштабов элемента системы водоснабжения для целей описания основных элементов системы водоснабжения и технологических связей между ними нами предложена следующая градация (таблица 5.4)

Таблица 5.4 – Масштаб элемента системы водоснабжения

Масштабное изображение элемента	Описание	Требование к размеру изображения
1	2	3
1. Водозаборы, насосы, резервуары		
	Элемент наибольшей мощности и более 40% от наибольшего	диаметр 20 мм
	Элемент мощностью 10-40% от наибольшего	диаметр 15 мм
	Элемент мощностью менее 10% от наибольшего	диаметр 10 мм
2. Станции водоподготовки		
	Код обозначение процессов [Приложение Г]	По высоте следует за предыдущим элементом Длина по необходимости, но не менее удвоенной высоты
3. Колодцы, башни		
		Стандартный размер диаметр 10 мм

Продолжение таблицы 5.4

4. Трубопроводы		
		Толщина 2 мм. Длины всех водопроводов - по необходимости, но не менее 20 мм
5. Камеры		
		Ширина – 10 мм, высота – по необходимости

Принципы и подходы описания атрибутов элементов системы водоснабжения представлены в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Атрибуты элементов системы водоснабжения

Элемент системы	Атрибут	Пример записи
Для всех элементов	Код элемента в системе:	(12345678)
Водозаборы	Наименование водозабора с указанием числа скважин (для подземных)	Дальний (38)
	Фактическая и Проектная (расчетная) мощность (производительность)	50/90 тыс.м ³ /сут
	Класс вод*, пробы**	A2: 38-0-0-НД (НД - нет данных)
	Количество скважин в резерве, подлежащих выводу из эксплуатации и планируемых к строительству	3= / 15- / 16+
Станции водоподготовки	Наименование станции водоподготовки	Старые
	Фактическая и Проектная (расчетная) мощность (производительность)	50/90 тм ³ /сут
	Пробы, несоответствие**, %	38-0-0-НД : 0-0-0-0 (НД – нет данных)
Насосные станции	Наименование насосной станции с указанием числа насосов	Верхний (5)
	Фактическая и Проектная (расчетная) мощность (производительность)	50/90 м ³
	Количество насосов в резерве, подлежащих выводу из эксплуатации и планируемых к строительству	3= / 15- / 16+
Резервуары и башни	Наименование группы резервуаров (при наличии) с указанием числа резервуаров	Резервуары (5)
	Фактическая и Проектная (расчетная) мощность	50/90 м ³
	Количество резервуаров в резерве, подлежащих выводу из эксплуатации и планируемых к строительству	3= / 15- / 16+
Водопроводы	Количество труб, их диаметр (мм), длина (км) и материал	2*1200-0,2-М

Продолжение таблицы 5.4

	Наименование муниципального образования	МО Дальнее
Потребители	Численность жителей, потребление в сутки	1,5 тыс. чел; 5 тм ³ /сут
	Доля населения обеспеченного водой питьевого качества, пробы**	100% питьевая; 0-0- 0-0
	Протяженность сетей, уровень потерь	Сети 14 км, потери 13%
	Структура потребления (жилой сектор, промышленность, бюджетные учреждения, иное), %	70-20-5-5%
Примечания: *класс вод определяется по данным [7,9] ** данные указываются по данным программы производственного контроля качества воды в следующей очередности: 1 – несоответствие по санитарно-химическим показателям %, 2 – несоответствие по микробиологическим показателям, %, 3 – несоответствие по паразитологическим показателям, %, 4 – несоответствие по радиологическим показателям, %		

Система водоснабжения с атрибутами элементов представлена на рисунок 5.2. При описании системы водоснабжения следует предоставлять следующие дополнительные данные (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Требования к дополнительным данным для описания систем водоснабжения

№	Параметр	Порядок расчета
	Население	тыс. чел.
	Обеспечение качественной питьевой водой	%
	Баланс системы: Фактический подъем воды / собственные нужды /отпуск в сеть / потери / фактически отпущено потребителям (полезный отпуск)	тыс.куб.м/год.
	Потери	%
	Выставлено счетов	млн.руб.
	Поступившие платежи	млн.руб.
	Тариф для населения	руб./куб.м.
	Рост тарифа за последний год	%
	Субсидии бюджета	млн. руб.
	инвестиции	млн.руб.
	Финансовый результат (прибыль/убыток)	млн.руб.
	Задолженность кредиторская	млн.руб.
	Задолженность дебиторская	млн.руб.

На рисунок 5.3,5.4 представлен пример системы водоснабжения с дополнительными данными.

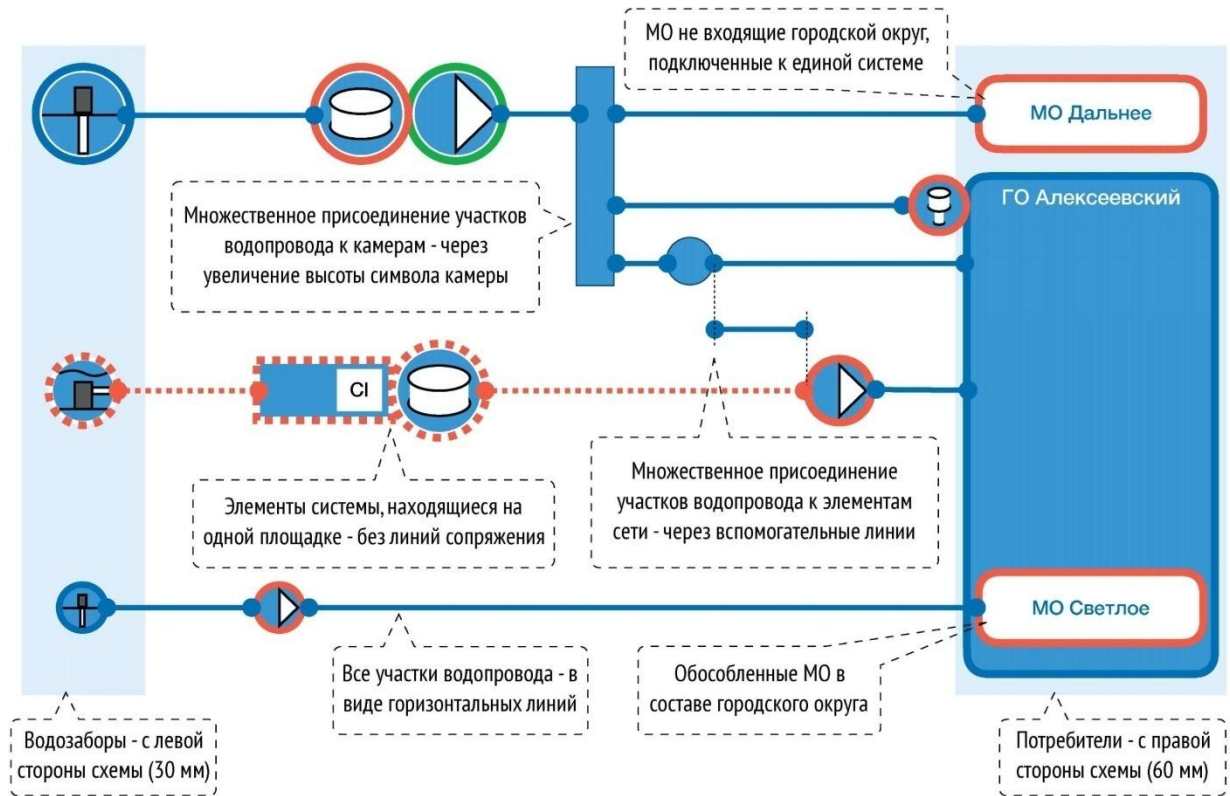


Рисунок 5.2 – Расположение и связи элементов системы водоснабжения

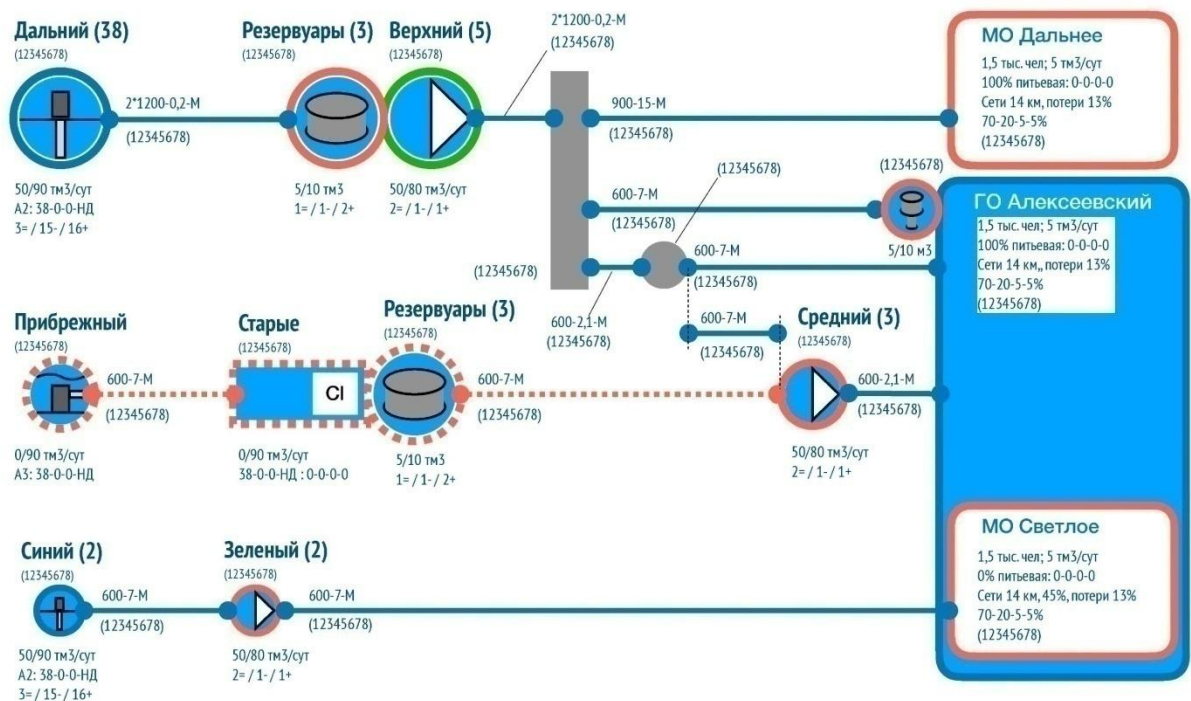


Рисунок 5.3 – Система водоснабжения с атрибутами элементов

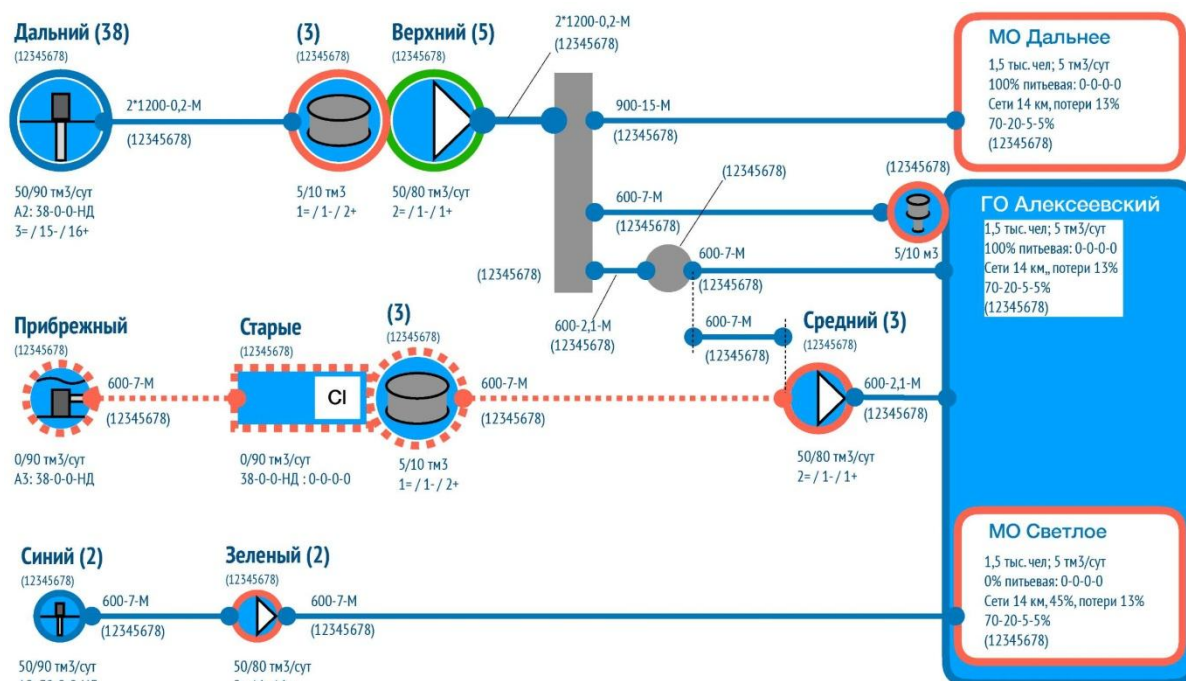


Рисунок 5.4 – Пример системы водоснабжения г. Дальнее Иркутской области

Предлагаемые методические подходы к описанию систем водоснабжения использованы при подготовке автором настоящей работы национального стандарта ГОСТ Р 59495-2021 «Качество воды. Системы водоснабжения наружные. Требования к графическому отображению основных структурных элементов и технологических связей между ними» [112] и внедрены ГК Фонд ЖКХ при составлении ежегодных инвентаризационных форм в области водоснабжения.

5.3 Стандартизация на принципе оценки стоимости жизненного цикла, как основа выбора технических решений

Оценка стоимости жизненного цикла [29,92,93] является инструментом, использование которого необходимо для обеспечения работы систем питьевого водоснабжения и соблюдения санитарных и технических требований действующего законодательства в области качества питьевой водоподготовки. [25]. Для оценки рисков, связанных с санитарными и технологическими аспектами работы систем питьевого водоснабжения ранее были установлены различия между существенными и менее существенными

опасными факторами или событиями (табл. 2.7, 3.4-3.11). Сама оценка риска может быть реализована качественным или полуколичественным методом, что показано в главах 2 и 3 настоящей работы.

При использовании матрицы для оценки риска в качестве критерия оценки технологии водоподготовки на основе использования методологии оценки риска значительную роль играет экспертное мнение, которое позволяет судить о рисках для здоровья населения, возникающих в связи с опасными факторами или событиями (таблица 5.8) [28,29].

Определению величины показателя риска (таблица 5.7) должна соответствовать возможность его контроля. Соответственно, при обнаружении уязвимости существующей технологии или, например, качества источника, необходимо разработать программы повышения качества с учетом кратко-, средне- и долгосрочных мер по ослаблению как вероятности, так и последствий. Класс риска, соответствующий позиции «Очень высокий» (см. таблица 3.8) неприемлем для работы предприятия водоснабжения с позиций абсолютной недопустимости вреда для здоровья населения. Параметрами для определения приоритетности риска могут служить сведения, представленные в [28,29].

Таблица 5.7 – Параметры для определения приоритетности риска

Приоритет	Характеристика риска	Примечание
Явный приоритет	Существенный риск	Риск нуждается в дальнейшем изучении. Необходимо определить эффективность существующих мер контроля. Требуются дополнительные меры контроля.
Нет уверенности, что вероятное 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

Результативность реализации проектов модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки) (Res) оценивается по уровню достижения приемлемого/целевого индивидуального и/или популяционного риска здоровью по формуле (5.1) [9,29]:

$$Res = \frac{R_{\text{после}}}{R_{\text{цел}}}, \quad (5.1)$$

где

$R_{\text{после}}$ – риск (индивидуальный и/или популяционный) после реализации проектов модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки);

$R_{\text{цел}}$ – приемлемый / целевой уровень риска.

Фактически, для проектировщиков, технологов и контролирующих органов (включая экспертизу), проект модернизации (технологии водоподготовки) следует оценивать, исходя из необходимости выполнения требования $Res \leq 1$. При наличии нескольких альтернативных технологий водоподготовки для одного объекта выполняется оценка эффективности каждой технологии (Eff) по формуле (5.2):

$$Eff = \frac{\Delta R}{Z(k) + Z(\text{экспл})}, \quad (5.2)$$

где

ΔR – разность величин индивидуального или популяционного 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.

Для расчета затрат в формуле 2 следует использовать разработанную методику оценки стоимости жизненного цикла (СЖЦ) [92,97,98]. Полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени представлен формулами раздела 2 (2.9,2.10,2.11).

В работах [5,27] автором было показано, что при выборе технологий водоподготовки риск может быть оценен в части:

- химических веществ, изначально присутствующих в воде водоисточника
- фактора, детерминированного водоподготовкой

- фактора транспортировки и распределения воды

С учетом ранее проведенных исследований и анкетирования специалистов в области централизованного питьевого водоснабжения и санитарных врачей, оценочный уровень различных рисков для возможности их учета представлен в таблице 5.8. Обращаем внимание, что каждому опасному событию соответствует фактор опасности и потенциальная оценка в баллах (интервал), что позволяет интегрировать приведенные данные для расчета эффективности выбираемой технологии водоподготовки. Т.е. выбор технологии будет функцией оценки СЖЦ и рисков.

Таблица 5.8.Примеры опасных событий и связанных с ним факторов опасности при оценке технологий очистки питьевой воды [4,5,28]

Опасное событие	Факторы опасности	Баллы, не более
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 - перепускной канал	Перегрузка сооружений водоподготовки. Недостаточное качество водоподготовки.	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. Химизация питьевой воды, необходимость дополнительно контроля показателей качества питьевой воды	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 5.8

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

Исходя из оценок, приведенных в таблицах 5.7 и 5.8 настоящей главы, 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 рассмотрим следующие варианты с позиций оценки рисков и статистических данных по отказам на сооружениях водоподготовки. С учетом априорного выполнения требований формулы (5.1), по данным таблицы 5.9 можно оценить полуколичественным образом суммарные риски выбора технологических решений. В числителе формулы (5.2) будет сумма баллов в части оценки рисков.

В рассматриваемой ситуации к сравнительной оценке приняты три варианта, каждый из которых соответствует по формальным признакам соответствует [9] без учета рисков некачественной воды. Исходные данные – вода поверхностного источника, класс 2 по [24]. Не достигаются результаты по обеспечению качества воды по паводковым сезонам года по показателям хлороформ, алюминий, цветность. Предлагаемые варианты – оставить технологию без принципиальных изменений, усовершенствовав систему обеззараживания, изменить процесс осветления с объемного на контактный + изменить схему обеззараживания, ввести в технологию стадию озонсорбции + изменить схему обеззараживания,

Таблица 5.9 – Данные сравнительной оценки при соответствии по формальным признакам соответствует [9] без учета рисков некачественной воды

Влияющий фактор и кодировка	Частота	Вариант 0 – существу- ющая ситуация	Вариант 1: восстановить бетон, переложить сети, оставить технологию без принципиальных изменений	Вариант 2: обеспечить барьерную функцию по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на УФ	Вариант 3: обеспечить по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на озонирование +сорбция +УФ
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

Продолжение таблицы 5.9

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 5.10 – 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			
Умерено (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							

По данным таблицы 5.9 строим матрицу оценки риска на основании методологии, представленной в главе 2 настоящей работы. С учетом оцененной частоты возникновения факторов опасности (таблица 5.10), построенная матрица не содержит частоты класса 5. Суммарные риски по различным вариантам водоподготовки представлены в таблице 5.11

Таблица 5.11 – Суммарные риски процессов водоподготовки, балл

Номер варианта	Значение суммарного риска
Вариант 0	82
Вариант 1	69
Вариант 2	67
Вариант 3	58

Полученные данные говорят о том, что все выбранные решения по модернизации имеют положительную разность при оценке риска относительно опорного Варианта 0 и отвечают требованиям риск-ориентированного подхода. Выбранная технология должна быть оценена на соответствующие показатели по формулам 2.9-2.11, стр.105. В таблице 5.12 показан пример расчета СЖЦ для разных выбранных технологических процессов.

Таблица 5.12 – Пример представления результатов расчета СЖЦ для разных выбранных технологических процессов, тыс.руб.

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации	Вариант 1: восстановить бетон, переложить сети, оставить технологию без принципиальных изменений	Вариант 2: обеспечить барьерную функцию по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на УФ	Вариант 3: обеспечить по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на озонирование+сорбция +УФ
1	2	3	4
C_{ic}^{3+C}	не учитывается по техническому заданию		
C_{ic}^{IP} ,	5,5	45	58
C_{ic} , с ценой оборудования	460	1250	2150
C_{in}	58	490	750
КАПИТ	523,5	1875	2958
C_e	12800	10850	14100
C_o	не учитывается по техническому заданию		

Продолжение таблицы 5.12

1	2	3	4
C_m	250	150	4550
C_s	1550	-	-
C_{env}	25	15	15
C_d	не учитывается по техническому заданию		
ЭКСПЛ	14625	11015	18665
СЖЦ	15148,5	12980	21623

Исходя из 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 (2), учет составляющей оценки риска позволяет осуществить выбор проектных и эксплуатационных решений с учетом действительно считаемых капитальных и эксплуатационных затрат.

5.4 Стандартизация в области реагентов для нужд централизованного питьевого водоснабжения. Подходы к стандартизации, основанные на необходимом и достаточном уровне контроля качества реагентов и их дозирования.

Необходимость оптимизации расхода реагентов водоподготовки заставляет потребителей обращать внимание на себестоимость продукции [147,148,151-153]. Учитывая то, что стоимость реагентов в процессе водоподготовки может достигать 6 процентов в совокупной стоимости подготовленной воды [149], это является весьма серьезной составляющей себестоимости. Разумеется, стоимость реагентов зависит от стоимости исходного сырья и технологических операций по его преобразованию в конечный продукт [151]. Все это делает необходимым контроль параметров используемого сырья и качества готового продукта. На примере самых распространенных реагентов для питьевого водоснабжения – коагулянтов – отметим, что на сегодняшний день продукция может выпускаться на основании технических условий конкретного производителя, необходимо обеспечить единообразие оценки качества предлагаемых коагулянтов. В данном случае речь идет не об эффективности того или иного коагулянта, а о соответствии требованиям безопасности. Стандартизация унифицирует

процедуры оценки качества реагента и существенно облегчит предприятиям ВКХ задачу по формированию программ испытаний и контроля остаточных концентраций потенциальных примесей в воде. На коагулянты группы ПОХА такого стандарта ранее не существовало. В настоящий момент нами осуществляется переработка действующего стандарта на сульфат алюминия, в соответствии с принципами стандартизации, которые обоснованы при подготовке и утверждении стандарта на полиоксихлорид алюминия. Автором были разработаны методические требования к оценке качества коагулянта – полиоксихлорида алюминия [151]. Основные задачи создаваемого стандарта были следующие [152,153,154]:

- Запрет в рамках стандарта использования вторичного сырья для производства коагулянта для питьевой водоподготовки;
- Формирование единых требований в части качества продукции и требований к остаточному содержанию примесей;
- Формирование программ контроля качества продукции для потребителя на этапе приемки;
- Разработка и представление методик выполнения измерений показателей качества реагентов.

В рамках разработки стандарта были аттестованы или переаттестованы следующие методики выполнения измерений (МВИ), что позволяет единообразно оценивать качество ПОХА, как реагента водоподготовки [151,152,153]:

- Определение массовой доли полиоксихлорида в пересчёте на оксид алюминия Al_2O_3 ;
- Определение массовой доли хлоридов;
- Определение массовой доли нерастворимого в воде остатка;
- Определение основности;
- Определение массовой доли железа;

- Определение свинца, никеля, хрома, бериллия и кадмия методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП);
- Определение массовой доли мышьяка, селена и сурьмы гидридным методом и ртути методом холодного пара;
- Определение массовой доли бериллия, кадмия, мышьяка, никеля, свинца, селена, хрома и сурьмы методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией.

Данный стандарт впервые позволил объединить в едином документе требования к производству ПОХА из различных типов исходного сырья, отсекая отходы и вторичный алюминий, не допустимые для целей питьевой водоподготовки. Также предложено проведение текущего и расширенного входного контроля показателей качества коагулянтов группы ПОХА, позволяющие гарантировано предотвратить попадание примесей в подготовленную питьевую воду.

Общие требования к контролю качества ПОХА, сформулированные в стандарте, представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13. Показатели качества коагулянтов группы ПОХА [151-153]

Требования	Тип 1	Тип 2	Тип 3**	Тип 4	Тип 5
1	2	3	4	5	6
1. Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %, не менее	$10,0 \pm 2,5$	$15,0 \pm 2,5$	$20,0 \pm 3,0$	$30,0 \pm 3,0$	$45,0 \pm 5,0$
2. Плотность (при 20 °С), г/мл, в пределах	$1,24 \pm 0,04$	$1,33 \pm 0,07$	1,24 – 1,38	-	-
3. Массовая доля хлоридов, % масс, в пределах	$10,0 \pm 5,0$	$20,0 \pm 2,5$	$10,0 \pm 4,5$	$33,0 \pm 5,0$	$21,0 \pm 7,0$
4. Основность, в пределах %	25 – 55	30 – 55	50 – 83	50 – 83	50 – 83
5. pH (ед) водного раствора, в пределах	$2,5 \pm 1,5$	$2,0 \pm 1,5$	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* [5] % 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

Продолжение таблицы 5.13

1	2	3	4	5	6
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 и pH 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 5.13) не должны превышать значения для типа 3.

При установлении показателей качества продукции выбраны унифицированные по содержанию действующего вещества (оксид алюминия) типы продуктов. Такая унификация позволяет производителям ПОХА корректно позиционировать свою продукцию на предмет соответствия стандарту. Необходимо анализировать основные показатели ПОХА, определяющие технологический регламент его использования потребителем – это группа показателей 1 – 7. Достоверность и метрологические характеристики результатов контроля качества ПОХА полностью отвечают предъявляемым требованиям [7,25,153,155].

На основании проделанной работы, нами была осуществлена разработка стандарта на полиоксихлорид алюминия, который отвечает насущным потребностям производителей наиболее актуального на данный момент коагулянта для подготовки питьевой воды и его потребителей — предприятий водопроводно-канализационного хозяйства. ГОСТ Р 58580-2019 «Полиоксихлорид алюминия. Технические условия» [156] утвержден 09.10.2019 года приказом Росстандарта № 905 и учитывает все требования санитарного законодательства, технического регулирования, безопасности процессов производства и транспортировки ПОХА.

Другой новацией, сделанной при выполнении данной работы, является введение в область стандартизации реагентов водоподготовки жидкой формы сульфата алюминия. Данная форма сульфата алюминия широко используется предприятиями водоснабжения, вместе с тем отсутствовали единые требования к контролю показателей. Нами была проведена работа по оптимизации требований к сульфату алюминия, исходя из общих принципов, предлагаемых в разделе 4 настоящей работы. Показатели таблицы введены впервые. В таблицах 5.14-5.15 приведены сводные требования к различным формам реагентов на основе сульфата алюминия, предназначенных для питьевой водоподготовки. Итогом данной работы является введение национального стандарта на сульфат алюминия.

Таблица 5.14. Требования к физико-химическим показателям сульфата алюминия, как реагента водоподготовки для твердой формы

№ п/п	Наименование показателя	Характеристики			
		Порошкообраз ный сульфат алюминия	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
1	Внешний вид	Однородный порошкообразный сыпучий материал с размером частиц не более 0,04 мм белого цвета.	Однородный сыпучий материал с размером частиц не более 20 мм белого цвета.	Неслеживающиеся пластинки, брикеты, куски неопределенной формы и разного размера массой не более 10 кг белого цвета.	
		Допускаются оттенки серого, желтого, голубого или розового цветов.			
2	Массовая доля оксида алюминия (Al ₂ O ₃), %, не менее	16	16	16	15
3	Массовая доля свободной серной кислоты (H ₂ SO ₄), %	Выдерживает испытание по методике выполнения измерений с соответствующей областью определения			
4	Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,7
5	Массовая доля железа в пересчете на оксид железа (Fe ₂ O ₃), %, не более	0,02	0,02	0,02	0,30
6	Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка (As ₂ O ₃), %, не более	0,001	0,001	0,001	0,001

Таблица 5.15. Требования к физико-химическим показателям сульфата алюминия, как реагента водоподготовки для жидкой формы

№ п/п	Наименование показателя	Характеристики		
		Марка А	Марка Б	Марка В
1	Внешний вид	Бесцветный прозрачный раствор	Опалесцирующая жидкость. Допускается наличие подвижной взвеси	
		Допускаются оттенки серого, желтого, голубого или розового цветов.		
2	Массовая доля оксида алюминия (Al ₂ O ₃), %, в пределах	7,0÷8,0	6,0÷8,0	6,0÷8,0
3	Массовая доля свободной серной кислоты (H ₂ SO ₄), %, не более	0,10	0,10	0,15
4	Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более	0,1	0,3	0,7
5	Массовая доля железа в пересчете на оксид железа (Fe ₂ O ₃), %, не более	0,02	0,02	0,05
6	Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка (As ₂ O ₃), %, не более	0,001	0,001	0,001

Введение стандартизированных показателей качества реагента водоподготовки позволяет формировать единые требования к программам контроля, повышает управляемость производственного процесса, процесса приемки продукции и формирования требований к реагентам для производителя.

5.5 Принципы стандартизации при оценке качества воды

5.5.1 Риск-ориентированная оценка качества воды

Качество воды практически всегда является интегральной составляющей, требующей оценки группы показателей [12,25,27,58,157]. При этом даже при несоответствии единичного показателя действующим требованиям считать воду качественной нельзя. В этой связи следует с максимальным вниманием относиться к корректности выводов о несоответствии, корректность которых должна оцениваться с позиций риск-ориентированного нормирования.

Такой подход в рамках менеджмента в области управления водными ресурсами все чаще становится актуальной темой глобальных дискуссий [158]. Ставятся вопросы о растущих потребностях экономики в воде необходимого качества при возрастающем ее дефиците, о непредсказуемости появления высоких и сверхвысоких загрязнений, о фактическом отсутствии региональных и фоновых нормативов качества в стране, о слишком приближенном «ступенчатом» делении воды на классы качества [25] и т.д. И действительно, на примере выбора технологических решений в области водоподготовки [29] мы руководствуемся значениями качества исходной и конечной воды, проектируются соответствующие сооружения [7], а риск ошибки при выборе исходных параметров всегда чреват значительными финансовыми потерями.

К сожалению, современное регулирование эколого-правового режима водопользования не предусматривает мероприятий по расширению объема и достоверности информации о составе и свойствах воды, а также по разработке методов анализа, позволяющих «расшифровать» природные законы с целью совершенствования управления водными ресурсами путем адаптации (приспособления) к составу и свойствам природных или сточных вод. Это разительным образом противоречит другим направлениям развития отраслей экономики, где существовавший ранее феноменологический подход к обеспечению безопасности заменяется концепцией приемлемого риска, характеризующего возможность негативных событий [159]. Управление водными ресурсами практически во всем предусматривает «безрисковое» регулирование, экономически и экологически ущербное [160].

С учетом того, что предприятия водной отрасли в области оценки соответствия требованиям к качеству воды (как сточной, так и питьевой) вынуждены работать с дискретными пробами, вопрос оценки соответствия необходимо решать максимально корректно. Актуальными проблемами являются идентификация и анализ рисков, сопровождающих практически все

виды водопользования. Однако этому вопросу в настоящее время уделяется недостаточно внимания. Между тем, доверять можно только результатам, полученным на основе корректного риск-ориентированного подхода, учитывающего как апостериорные, так и априорные данные, что показано на следующем примере.

Пример 1. Случай проверки качества стоков

Предприятие уделило большое внимание экологической безопасности своей деятельности и контролю показателей сбрасываемых сточных вод. В результате доочистка сточных вод была доведена до максимального экономически приемлемого уровня. Это гарантировало нормативное содержание загрязняющих веществ в 99% общего объема стоков. Несоответствия были возможны только в 1% случаев.

Несмотря на столь высокий уровень водно-экологической ответственности предприятия, лаборатория органа водного контроля, проанализировавшая сточные воды, обнаружила нарушение установленных требований по исследованному контролируемому показателю. В результате данных полученного анализа отобранной пробы воды, контролирующий орган пришел к выводу о нарушении правил водоотведения (несоответствие требованиям к качеству), дающее право на штрафные санкции. Уверенность в этом основывалась на том, что испытательная лаборатория осуществляла измерения практически без погрешности – с риском ошибки на уровне 0,01. Соответственно, было установлено нарушение практически безоговорочно, с вероятностью 99%. Тем не менее, менеджмент предприятия потребовал повторных измерений, настаивая на безошибочности результатов априорных исследований заводской лаборатории, свидетельствующих о риске нарушений требований только в 1%.

Обе лаборатории, и принадлежащая контрольно-надзорному органу, и заводская были аккредитованы в единой системе и это обязывало относиться

к результатам обеих с равным доверием [96,161]. Поэтому полученные контрольно-надзорным органом апостериорные данные были скорректированы путем учета априорных данных с помощью теории вероятностей. И было показано, что в этом случае вероятность нарушения всего лишь 50%. Такой уровень вероятности нарушения уже не 99%, и свидетельствует о недоказанности нарушения, так что для решения вопроса о санкциях анализ воды следует повторить.

Чтобы необходимость корректировки данных доказать (чтобы не попасть в метрологическую ловушку) нужно воспользоваться одной из основных теорем элементарной теории вероятностей – теоремой Байеса, которая позволяет определить вероятность какого-либо события при условии, что произошло другое статистически зависимое событие:

$$P(B|E) = (P(B) * P(E|B)) / P(E) \quad (5.3)$$

Принятые в этой формуле обозначения:

P – вероятность некоторого события, B - утверждение, которое проверяется,

E – доказательства, $P(B)$ - вероятность, что B истинно,

$P(E)$ - вероятность, что E истинно, $P(B|E)$ – вероятность того, что истинно B в случае истинности E , $P(E|B)$ - вероятность того, что истинно E в случае истинности B .

В рассматриваемой задаче:

B — сточная вода бракуется,

E — результат измерения указывает на нарушение,

$B|E$ — вода бракуется, поскольку результат измерения указывает на нарушение,

$E|B$ - несоответствие зафиксировано, при том, что оно фактически есть.

Количественная оценка.

$P(B)=0,01$ — вероятность забраковать сточную воду при условии, что в 99% она соответствует установленным требованиям.

$P(E|B) = 0,99$ — вероятность того, что несоответствие зафиксировано, при том, что оно фактически есть (погрешность измерения составляет 0,01).

$P(E) = (0,01 * 0,99) + (0,99 * 0,01) = 0,0198$ — вероятность того, что зафиксировано несоответствие, которое может быть или не быть.

Здесь учтено, что риск несоответствия стоков 1% (априорная информация), а риск ошибки контроля также 1%. Поэтому вероятность результата, указывающего на несоответствие воды получаем перемножением вероятности ошибки контроля и вероятности априорного соответствия воды установленным требованиям: $0,01 * 0,99$ плюс вероятность правильного контроля, умноженной на вероятность того, что вода несоответствующая: $0,99 * 0,01$.

В результате получаем интересующую нас вероятность:

$$P(B|E) = (P(B) * P(E|B)) / P(E) = 0,99 * 0,01 / 0,0198 = 1/2 = 50\%$$

Таким образом, результат становится не 99%, а 50%, так что вероятности заключений о несоответствии или о соответствии воды равны между собой, и требуется дальнейший анализ.

Другим типичным примером может служить вопрос управления процессом водоподготовки, основанный на принятии решений о дозировании реагентов в зависимости от показателей качества исходной воды. На примере процесса обеззараживания питьевой воды покажем следующие варианты развития событий в общем случае:

- На обеззараживание расходуется лишь незначительная часть хлора
- Основной расход хлора идет на окисление органических и неорганических соединений

Таким образом, вынужденное передозирование хлора влечет за собой риски образования хлорорганических соединений, включая тригалометаны, нормирование которых весьма жесткое [25]. Управление процессом дозирования реагентов находится в зависимости от оценки качества

исходной воды. Реальное качество в условиях ручного управления процессом (большинство предприятий ВКХ) зависит от периодичности анализов на станции водоподготовки и от корректной интерпретации результатов этих анализов для управления дозированием реагентов.

Риск ориентированный подход в данном случае основывается либо на увеличении количества анализов, чтобы иметь максимально достоверную информацию о качестве выбранных маркерных показателей, ответственных за потенциал образования тригалометанов, либо на их верной интерпретации. В качестве такого маркерного показателя можно использовать «общий органический углерод». Анализ такого показателя с высокой вероятностью обнаружения позволяет установить прямую связь с дозированием агентов обеззараживания, а сам процесс может управляться в автоматическом режиме.

Расчеты показывают, что такой режим (пропорциональное управление процессом) с учетом погрешности при дозировании позволяет экономить до 10% агента обеззараживания, однако и этот механизм нуждается в совершенствовании, особенно в том случае, когда управление технологическим процессом идет на основании ручного отбора проб, анализа в испытательной лаборатории и интерпретации данных.

Водопользователям полезно обращаться к априорной информации, особенно если обнаруживается, что апостериорный результат вовсе не такой, который следовало бы ожидать. Конечно, нужна еще и апостериорная информация, но для ее учета весьма полезно использовать теорему Байеса, которая, между прочим, вообще не допускает, что хоть какое-нибудь событие происходит с вероятностью 100%. Вообще-то абсолютное доверие возможно только в утверждениях демагогов. В системе корректной оценки безопасности и качества не только сточной воды, неизбежны ошибки, риск которых удастся установить с помощью теоремы Байеса [162].

Существуют и другие способы разрешения спорных ситуаций. Пусть, например, в лаборатории водопользователя (индекс «1») вероятность обнаружения соответствия воды установленным требованиям равна R_1 , а вероятность несоответствия - $1-R_1$. Аналогично - в лаборатории органа контроля (индекс «2»): вероятность соответствия R_2 и несоответствия $1-R_2$.

В этих двух лабораториях возможны различные результаты оценки качества воды с 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 соответствия равна:

$$\frac{R_1(1-R_2)}{R_1(1-R_2)+(1-R_1)R_2} \quad (5.4)$$

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

$$\frac{(1-R_1)R_2}{R_1(1-R_2)+(1-R_1)R_2} \quad (5.5)$$

Пусть, как в вышеприведенном примере 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 $\frac{0,99 \cdot 0,01}{0,99 \cdot 0,01 + 0,01 \cdot 0,99} = 0,5$, как было получено ранее.

Таким образом, разрешение арбитражной (спорной) ситуации требует дополнительных исследований качества воды.

5.5.2 Вероятностная природа водно-экологических нормативов

Определение допустимых концентраций загрязняющих веществ, применительно к водным объектам и качеству воды является основой для дальнейших мероприятий по формированию технологических подходов к

водоподготовке и очистки стоков, по определению нормативов допустимого воздействия и технологических показателей. Основные норматив, являющийся базой таких расчетов - предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ или ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ), представляют собой пороговые (детерминированные) величины. Подразумевается, что установление, к примеру, ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения основано на анализе токсикологических показателей. Однако, на самом деле осуществляется нормирование на основании выборочных токсикологических исследований [27] которое не обеспечивают такой детерминированности. Полученные данные характеризуют только влияние выбранных уровней концентрации токсиканта на исследованные организмы. Распространение же выводов на популяцию, или, тем более, на все водное сообщество при любой концентрации токсиканта, создает ошибки репрезентативности, возникающие из-за несоответствия свойств выборки и генеральной совокупности [27] из-за вариации контролируемых признаков и отличия распределения в выборочной совокупности от распределения в генеральной совокупности. Примерно таким же образом устанавливаются технологические показатели наилучших доступных технологий – не понятна основа для их детерминированного назначения и говорить про экологический или водоохранный характер таких нормативов вряд ли приходится.

Подмена результатов, полученных при обработке случайных выборок величинами детерминированными, как при нормировании, так и при контроле качества воды [27,217], далеко не безопасна. Вследствие этого, например, водное сообщество может оставаться вполне благополучным, несмотря на обнаруженное нарушение нормативов качества, или угнетенным при их соблюдении [4,218].

Для формирования приемлемой системы нормирования необходимо использование статистических методов планирования экспериментов

[219,220], т.к. угнетение организмов на каждом уровне концентрации токсичного вещества, количество таких уровней и количество популяций, представители которых исследуются, представляют собой случайные характеристики. Основным интегральным показателем является содержание в воде токсичного вещества. По принятой в дисперсионном анализе терминологии это - фактор или предсказывающая переменная, варьируемая с целью определения ее влияния на отклик, описывающий «эффект фактора» [28,221]. Соответственно, процедура нормирования должна включать исследование эффекта фактора путем установления статистических зависимостей интоксикации организмов от концентрации водного раствора.

5.5.2.1. Общая схема оценки показателей точности нормирования

Данный алгоритм анализа приведен в наиболее простой модели однофакторного эксперимента для случая острого токсикологического исследования [27]. Для оценки интоксикации необходимо на каждом уровне j фактора (концентрации загрязнения) установить эффект фактора, например, число погибших организмов d_j при проведении n_j независимых исследований. Это позволяет оценить вероятность эффекта $\bar{l}_j = \frac{d_j}{n_j}$.

В полиномиальной шкале измерений с использованием функции биномиального распределения:

$$p(d_j | n_j, l_j) = \frac{n_j!}{d_j!(n_j - d_j)!} (l_j)^{d_j} (1 - l_j)^{n_j - d_j} \quad (5.6)$$

нетрудно рассчитать дисперсию оценки вероятности эффекта:

$$D(\bar{l}_j) = \frac{\bar{l}_j(1 - \bar{l}_j)}{n_j} \quad (5.7)$$

и дисперсию эффекта

$$D(\bar{d}_j) = n_j \bar{l}_j (1 - \bar{l}_j) \quad (5.8)$$

Если величины n_j и $\frac{1}{\bar{l}_j}$ заметно больше единицы, то для дальнейшего анализа может быть использована аппроксимация на основе нормального закона распределения. Тогда для каждого уровня концентрации границы доверительного интервала равны

$$d_j \pm u_{\frac{1+\gamma}{2}} S_j(d_j) \quad (5.9)$$

Здесь u - квантиль нормального распределения, γ - доверительная вероятность,

$$S_j(d_j) = \sqrt{D(\bar{d}_j)} = \sqrt{n_j \bar{l}_j (1 - \bar{l}_j)} \quad \text{оценка} \quad \text{среднеквадратического}$$

отклонения числа погибших организмов.

Следовательно, погрешность оцениваемого числа погибших организмов на j -м уровне при $\gamma=0,95$ (значении, обычно используемом при токсикологических исследованиях) равна:

$$\Delta_{d_j} = \pm 1,96 \sqrt{n_j \bar{l}_j (1 - \bar{l}_j)} \quad (5.10)$$

Отметим, однако, что при предельных значениях $\bar{l}_j$, соответственно 0 или 1, нормальная аппроксимация невозможна, и расчет следует вести по уравнениям Клоппера-Пирсона []:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{r=0}^{d_j} \frac{n_j!}{r!(n_j-r)!} (l_{jB})^{r_j} (1-l_{jB})^{n_j-r_j} &= 1-\gamma_1, \\ \sum_{r=0}^{d_j-1} \frac{n_j!}{r!(n_j-r)!} (l_{jH})^{r_j} (1-l_{jH})^{n_j-r_j} &= \gamma_2, \end{aligned} \right\}$$

где $\gamma_1 + \gamma_2 = 1 - \gamma$.

В частности, при $d_j=0$ ($\bar{l}_j = 0$) или $d_j = n_j$ ($\bar{l}_j = 1$) соответствующие верхняя (индекс «В») и нижняя («Н») границы летальности определяются из условий:

$$(1 - \bar{l}_{jB})^{n_j} = 1 - \gamma \quad \text{и} \quad (\bar{l}_{jH})^{n_j} = 1 - \gamma \quad (5.11)$$

При этом $\Delta_{d_{jH,B}} = \bar{l}_{jH,B} n_j$.

Для остальных значений $\bar{l}_j$ необходима проверка условия того, что $\pm d_j$ не выходит за пределы $(0, n_j)$, т.е. в относительных единицах - $(0,1)$. В противном случае возможно использование усеченного распределения.

Далее для каждого рассчитанного интервала $d_j \pm \Delta_{d_j}$ может быть найден соответствующий интервал концентраций токсиканта $(C_{jH}, C_{jB}) = C_j \pm \Delta_{C_j}$ с учетом зависимости $d=f(C)$.

Пример 1. Обработка результатов токсикологического эксперимента для двух популяций организмов

Были использованы приведенные в [221] результаты наблюдения выживаемости в токсичной среде улиток покемон (прудовик

мелкокрапчатый, *Radix rubiginosa*) и тропических рыбок гуппи (семейство Пецилиевых, *Poeciliareticulata*).

Рассматривалась интоксикация выборок организмов из 30 единиц каждой популяции в водных растворах железа (фактора). Эффектом фактора являлось количество погибших особей в острых экспериментах (летальность). Результаты, интерполированные в диапазоне $C = 100-150$ мг/дм³, приведены на рисунке 5.5.

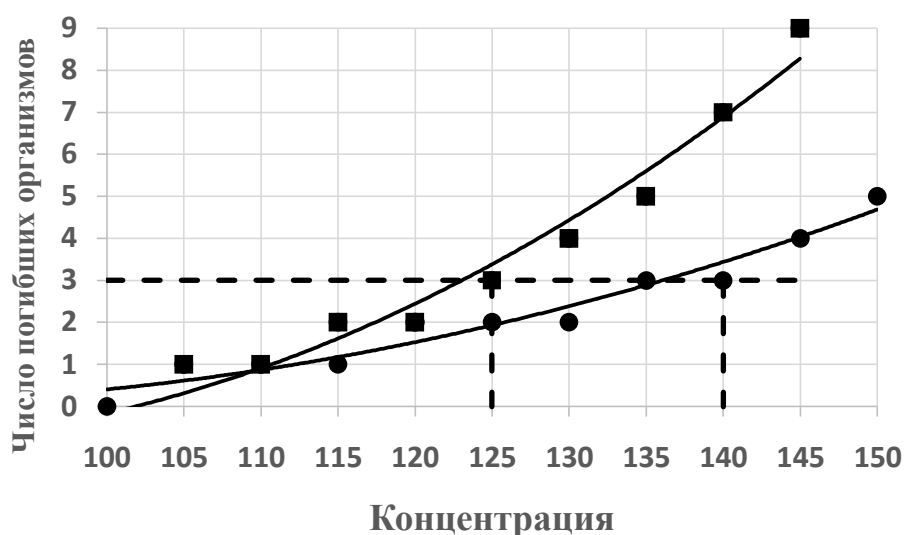


Рисунок 5.5 – Летальность улиток покемон (круглые маркеры) и рыбки гуппи (квадратные), а также соответствующие линии тренда (сплошные линии) и оценка ПДК при условии, что в качестве предельно допустимой летальности принято количество погибших организмов $d_0=3$ (штриховые линии).

Здесь диапазон концентрации токсиканта (фактора), эквивалентный ошибкам летальности (эффект фактора) определяли с использованием линий тренда (рисунок 5.5), аналитический вид которых следующий:

- для улиток покемон $d_j(C_j) \approx 0,002C^2 + 0,37C + 14,35$;

- для рыбок гуппи $d_j(C_j) \approx 0,001C^2 + 0,16C + 6,55$,

где размерность концентрации - мг/дм³.

Из таблицы 5.16 видно, что невозможно гарантировать отсутствие летальности во всем диапазоне концентраций $C_j > 0$. Даже если оцененное

$d_{j=1,2}=0$, то все же ошибка Δ_{d_j} настолько велика, что вообще не допускать гибели организмов вследствие эффекта фактора было неверно, если, конечно, не принимается условие $C=0$.

Таблица 5.16 – Оценка погрешности токсикологического эксперимента для улиток покемон (числитель) и гуппи (знаменатель).

J	C_j	d_j	$\bar{l}_j$	$S_{d_j}^2$	$\pm\Delta_{d_j}$	$\pm\Delta_{d_j}/d_j$	$[C_H \div C_B]$	$\frac{C_B - C_H}{C_B}, \%$
1	100	1/1	0	0	0	-	0	
2	105	1/1	$\frac{0,033}{0,033}$	$\frac{0,96}{0,96}$	$\frac{1,92}{1,92}$	$\frac{1,92}{1,92}$	$\frac{0 \div 117}{0 \div 124}$	$\frac{100}{100}$
3	110	1/2	$\frac{0,033}{0,033}$	$\frac{0,96}{0,96}$	$\frac{1,92}{1,92}$	$\frac{1,92}{1,92}$	$\frac{0 \div 116}{0 \div 124}$	$\frac{100}{100}$
4	115	1/2	$\frac{0,033}{0,066}$	$\frac{0,96}{1,85}$	$\frac{1,92}{2,66}$	$\frac{1,92}{1,33}$	$\frac{0 \div 115}{114 \div 121}$	$\frac{100}{6}$
5	120	2/2	$\frac{0,066}{0,066}$	$\frac{1,85}{1,85}$	$\frac{2,66}{2,6}$	$\frac{1,33}{1,33}$	$\frac{115 \div 136}{112 \div 125}$	$\frac{15}{10}$
6	125	2/3	$\frac{0,066}{0,1}$	$\frac{1,85}{2,7}$	$\frac{2,66}{2,78}$	$\frac{1,33}{0,93}$	$\frac{114 \div 134}{115 \div 131}$	$\frac{14}{12}$
7	130	2/4	$\frac{0,066}{0,133}$	$\frac{1,85}{3,86}$	$\frac{2,66}{3,85}$	$\frac{1,33}{0,67}$	$\frac{112 \div 131}{115 \div 136}$	$\frac{14}{15}$
8	135	3/5	$\frac{0,1}{0,166}$	$\frac{2,7}{4,65}$	$\frac{2,78}{4,23}$	$\frac{0,93}{0,85}$	$\frac{122 \div 145}{124 \div 148}$	$\frac{16}{16}$
9	140	3/7	$\frac{0,1}{0,233}$	$\frac{2,7}{5,36}$	$\frac{2,78}{4,54}$	$\frac{0,93}{0,65}$	$\frac{121 \div 146}{132 \div 150}$	$\frac{17}{19}$
10	145	4/9	$\frac{0,133}{0,3}$	$\frac{3,86}{6,3}$	$\frac{3,85}{4,92}$	$\frac{0,67}{0,55}$	$\frac{126 \div 55}{135 \div 160}$	$\frac{\sim 140 \div 180}{130 \div 170}$
11	150	5/ >10	$\frac{0,166}{>0,33}$	$\frac{4,65}{>7}$	$\frac{4,23}{>5}$	$\frac{0,42}{\sim 0,5}$	$\frac{19}{21}$	$\frac{>20}{>20}$

В среднем же ширина доверительных интервалов составляет 20-30 мг/дм³, и наблюдается их перекрытие для двух исследованных видов организмов. Вследствие этого кажущаяся более высокая летальность гуппи по сравнению с летальностью улиток покемон также не может быть гарантирована. Пусть, например, в качестве «максимальной недействующей концентрации» [27] принят уровень летальности 10% ($d_0=3$). Тогда $C_j=140$ мг/дм³ для улиток покемон и $C_j=125$ мг/дм³ для рыбки гуппи (рисунок 5.5), и

границы доверительных интервалов, $121 \div 146$ и $115 \div 131$ (таблица 5.16), перекрываются в диапазоне $121 \div 131$, так что риск ошибочного назначения группы в качестве более «чувствительного тест-объекта» [219] составляет $\frac{131-121}{146-115}=0,32=32\%$.

Из табл. 5.16 следует, кроме того, что ошибка в оценке ПДК при использованных экспериментальных результатах с низкой ценой деления основной шкалы (разность значений концентраций, соответствующих двум соседним отметкам шкалы, не превышает 5%) сравнительно невелика: при $d_0 = [1 \div 4]$ не превышает 20%. Например, при выбранном выше $d_0=3$ имеем $\Delta_{\text{ПДК}}$ 12% для группы и 17% для улиток покемон. На практике же эта погрешность может резко увеличиться. Например, если при выполнении «острых токсикологических исследований выбирается 5-6 концентраций, различающихся между собой в 10 раз» [27,221-224]. Вследствие этого реальную оценку ПДК (или ОБУВ) необходимо формировать в схеме рисунка 5.7, 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 $C \geq \text{ПДК}_B$. В других случаях достаточно ориентироваться на противоположную границу доверительного интервала, и тогда соответствие принимается при условии $C \leq \text{ПДК}_B$, а несоответствие при $C > \text{ПДК}_B$.

Пример 2. Схема оценки ПДК как максимальной «недействующей» концентрации на наиболее чувствительный тест-объект

В соответствии с [27,225] звено трофической цепи, наиболее чувствительное к токсиканту, определяется как лимитирующий тест-объект, по которому устанавливаются ПДК или ОБУВ. Поэтому необходимо сопоставление максимальных допустимых концентраций загрязняющих веществ для организмов различных популяций.

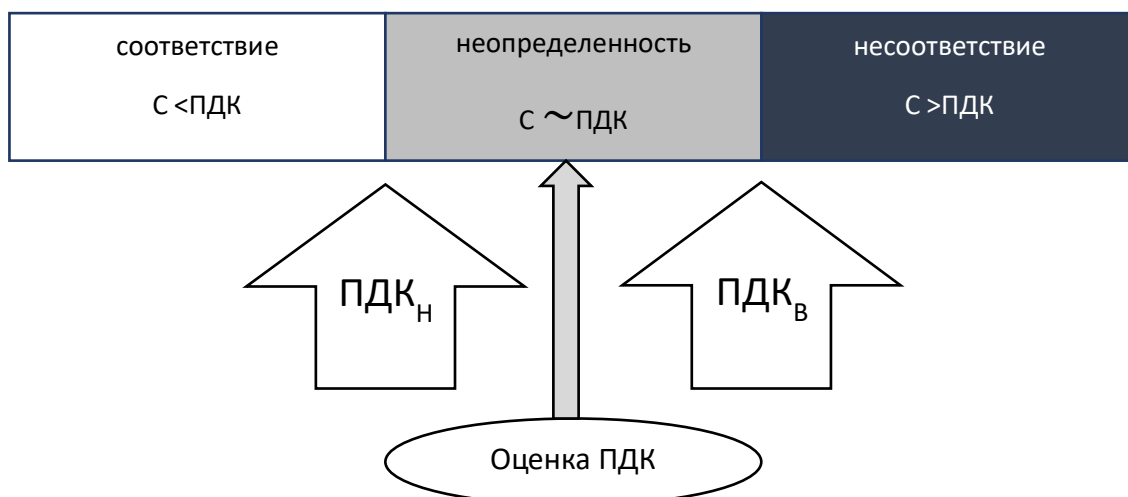


Рисунок 5.7 – Интервалы ориентировочной оценки качества воды

Решение этой задачи требует проверки статистической значимости различий между имеющимися выборками данных, полученных в токсикологическом эксперименте. В принципе, такие проверки полезны и в случае оценки эффекта фактора при разных уровнях последнего. Пусть в этом случае сравниваются данные двух выборок с математическими ожиданиями концентрации токсиканта $M(C_j)$ и $M(C_{j+1})$. Если большее значение $M(C_{j+1}) > M(C_j)$, то они не различимы при условии следующего неравенства квантилей:

$$u_0 = \frac{M(C_{j+1}) - M(C_j)}{\sqrt{\sigma^2(C_{j+1}) + \sigma^2(C_j)}} \leq u_{1-\alpha} \quad (5.12)$$

где, в соответствии с выше найденным,

$$\sigma_{C_j} = \frac{\Delta_{C_j}}{1,96} \quad (5.13)$$

α - уровень значимости, т.е. вероятность отклонить нулевую гипотезу, если на самом деле она верна. Обычно $\alpha \sim (0,05 \div 0,1)$, что соответствует значениям доверительной вероятности $(0,95 \div 0,9)$.

В случае несмещённой (точечной) оценки имеем $M(C_j) = C_j$ и $M(C_{j+1}) = C_{j+1}$, что упрощает задачу проверки статистической различимости, поскольку тогда данные не различимы при условии

$$u_0 = \frac{C_{j+1} - C_j}{\sqrt{\sigma^2(C_{j+1}) + \sigma^2(C_j)}} \leq u_{1-\alpha} \quad (5.14)$$

Если же $u_0 > u_{1-\alpha}$, то значения различимы, и в качестве ПДК выбирается меньшее значение C_j .

Далее можно сформировать жесткое и мягкое правила принятия решений о соответствии нормативу для измеренной при мониторинге концентрации токсиканта C_{Π} : $C_{\Pi} < C_{jH}$ - приемка; $C_{\Pi} < C_{jB}$ - браковка. При $C_{jH} \leq C_{\Pi} \leq C_{jB}$ возникает зона неопределенности.

Аналогичным образом можно проверить и любые две точки, в том числе для установления наиболее чувствительного тест-организма.

Пример 3. Установление максимальной «недействующей» концентрации для одного из двух тест-объектов.

Были использованы результаты наблюдения выживаемости в токсичной среде улиток покемон и рыбок гуппи. Пусть принимается допустимой гибель 10% организмов каждой из двух исследованных организмов разных популяций, 1-й (улиток) и 2-й (гуппи), так что $l_1 = l_2 = 0,1$. Если при этом объем выборок организмов $n_1 = n_2 = 30$, то тогда $d_1 = d_2 = 3$. Также имеем

$$\Delta_{d_1} = \Delta_{d_2} = 1,96\sqrt{30 \cdot 0,1 \cdot 0,9} \approx \pm 3.$$

Следовательно, нижняя граница доверительного интервала $d_1 - \Delta_{d_1} = d_2 - \Delta_{d_2} = 0$, т.е. находится при максимальной концентрации, когда еще отсутствует гибель организмов. Если это наблюдается при $C = 100$ мг/дм³ (табл. 1), а допустимому уровню летальности улиток соответствует концентрация токсиканта $C_1 = 140$ мг/дм³ и гуппи - 125 мг/дм³, то тогда погрешности $\Delta_{C_1} = 140 - 100 = 40$ мг/дм³, $\Delta_{C_2} = 125 - 100 = 25$ мг/дм³. Следовательно, $\sigma_{C_1} = \frac{40}{1,96} \sim 20$ мг/дм³, $\sigma_{C_2} = \frac{25}{1,96} \sim 13$ мг/дм³, $\sigma_{C_1}^2 = 400$, $\sigma_{C_2}^2 = 169$ и квантиль нормального распределения:

$u_0 = \frac{140-125}{\sqrt{400+169}} = 0,62$. При этом значении u_0 для функции стандартного нормального распределения имеем $1-\alpha=0,7324$, т.е. $\alpha \approx 0,27$, что значительно меньше принятого уровня значимости $\alpha=0,1$, при котором $1-\alpha=0,9$ и, следовательно, квантиль $u_{0,1}=1,28 > u_0 = 0,62$.

Как видно, различие рассчитанного значения критерия меньше критического и, следовательно, статистически незначимо (уровень значимости $\alpha > 0,1$). Таким образом, по результатам токсикологического эксперимента наблюдается хорошее совпадение рассматриваемых параметров. Поэтому в качестве ПДК может быть выбрана любая концентрация. Практически в такой ситуации экономически целесообразно выбрать максимальное значение: $\text{ПДК} = C_1$. Для решения экологических задач мы полагаем, что наименьшие концентрации в расчетном интервале следует выбирать в качестве базовых для особых природных территорий, например, для установления требований к сбросу в оз. Байкал. В таком случае технологически будет достижима соответствующая очистка сточных вод. Максимальные значения в интервале ПДК могут быть ориентиром для установления технологических показателей наилучших доступных технологий, делая экономически целесообразными проводимые экологические мероприятия.

Корректное управление водопользованием предполагает отказ от концепции абсолютной экологической безопасности водохозяйственной деятельности. Нормирование, как и контроль качества воды, требуют вероятностного (риск-ориентированного) подхода, поскольку контролируемые токсикологические или химико-аналитические характеристики, являются величинами случайными, оцениваемыми средствами выборочного контроля. Вследствие этого необходимо уточнение указаний нормативных документов о так называемых «недействующих концентрациях» и о ПДК как нормативе, при котором «в водоеме не

возникает последствий, снижающих его рыбохозяйственную ценность» [4,226].

Необходимо также сформировать подход, обеспечивающий социально допустимый уровень риска [5,28]. Это означает, что вероятность возникновения нежелательных или даже опасных последствий для окружающей среды, вызванных водохозяйственной деятельностью, является приемлемой, если возможный ущерб настолько мал, что ради получаемой при этом выгоды в виде материальных и социальных благ общество готово «пойти на риск». Такое положение целесообразно принять как условие оценки статистической погрешности, характеризующей неопределенность оценки истинных значений водно-экологических нормативов.

5.5.3 Формирование стандартизированных требований к оценке качества на основе риск-ориентированного подхода

Риск-ориентированное нормирование основывается на следующих постулатах:

1. Учет рисков, связанных со всеми составляющими организации процесса питьевого водоснабжения
2. Единообразие принятия управленческих решений
3. Единообразие толкования показателей качества воды
4. Выявление и обоснование приоритетов в целях формирования планов повышения качества воды

Исходя из данного перечня, стандартизация в области оценки качества воды должна отражать взаимосвязь возможности определения показателей качества с технологическими и санитарно-гигиеническими требованиями к организации процесса питьевого водоснабжения. Нами сформированы общие принципы оценки рисков за счет питьевого фактора, детерминированного процессом водоподготовки, транспортировки и распределения воды. Такая оценка вошла в структуру разработанного при

участии автора «Справочника перспективных технологий» [9]. На основании таблиц 1.2 и 1.3 в работе позиционируются риски процессов водоподготовки, транспортировки и распределения воды. Основное текущее требование к измерениям качества воды заключается в том, чтобы уровни не превышали норматив более чем на величину допустимой ошибки метода определения [28,29]. При этом возникает ситуация чем меньше концентрация, тем выше погрешность (таблица 5.17).

Таблица 5.17. Расчетные концентрации измерений для некоторых веществ с учетом допустимой погрешности измерений и погрешности выборки.[149]

Вещество	ПДК мг/л	Погрешность 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*ПДК)
Мышьяк	0,05	30	0,07	30	0,087 (>1,7*ПДК)
Хлороформ	0,06	30	0,086	30	0,104 (>1,8*ПДК)
Железо	0,3	25	0,4	25	0,46 (>1,5*ПДК)
Ртуть	0,0005	50	0,001	50	0,0017 (>3*ПДК)
Акриламид	0,0001	60	0,00025	60	0,0007 (7*ПДК)

Такой подход был предложен при подготовке автором настоящей работы Справочника перспективных технологий водоподготовки. В соответствии с Руководством по обеспечению качества питьевой воды целевые показатели безопасности, связанные с конкретной технологией, устанавливаются в форме рекомендаций, применяющихся при водоподготовке воды источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. В процессе исследования автором работы были предложены приоритеты 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. Нами был проведен анализ присутствия загрязняющих веществ в воде [149] и расчет требований по выполнению мероприятий повышения качества питьевой воды (табл.5.18...5.20). Это позволяет формировать требования по приоритетности и срокам выполнения планов мероприятий повышения

качества питьевой воды. Полученные в результате данной работы данные внедрены Минстроем РФ в рамках рекомендаций к выполнению ФП Чистая вода.

Таблица 5.18 – Вещества, коэффициенты опасности для которых (HQ) при соблюдении гигиенического норматива превышают 1 в зависимости от возраста человека

Вещество	ПДК, мг/л	HQ До 7 лет	HQ 40 лет	Рекомендуемое снижение ПДК, при котором HQ не превысит 1	Возможность аналитического контроля вещества на уровне рекомендуемого снижения
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

Таблица 5.19 – Перечень веществ пожизненные индивидуальные канцерогенные риски которых превышают приемлемые $1 \cdot 10^{-5}$ при соблюдении ПДК в питьевой воде для разных возрастных групп

Вещество	ПДК, мг/л	CR До 7 лет	CR До от 7 до 18 лет	CR От 18 до 40 лет	Суммарно CR к 40 годам	Рекомендуемый уровень снижения, мг/л / Наличие метода контроля
1.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/+
2.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/+
3.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/+
4.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/+
5.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/+
6.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/+
7.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/-
8.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/+
9.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/-
10.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/+
11.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/-
12.Этиленмин	0,01	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$12,7 \cdot 10^{-4}$	0,00008/-
13.Мышьяк ^x	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/+
14.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/+
15.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/+
16.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/+

Обоснование по снижению уровней нормативов, выполненное с учетом методики риска для здоровья (таблицы 5.22 и 5.23) учтено при разработке с непосредственным участием автора методических рекомендаций Роспотребнадзора по организации контроля качества питьевой воды.

Таблица 5.20 – 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 [149]

Вещество	Уровень, $C_{ук}$	HQ дети до 7 лет	HQ взрослые	CR взрослые	Класс Опасности	Максимальный срок до момента доведения показателя на уровень безвредности для здоровья
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 лет и 4 мес.
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 5.21).

Таблица 5.21 – Нормативные уровни для ряда приоритетных веществ в действующих документах РФ [149]

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	
Олово			2,0	
Бензапирен	0,000005	0,00001		
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 не предусматривают обязательного выбора общей схемы водоподготовки, в ходе выполнения данной работы, предложен «схемный» принцип выбора технологических решений, основанный на оптимизации технологий с учетом оценки стоимости жизненного цикла. Данный подход был реализован автором настоящей работы по поручению Минстроя РФ при формировании «Справочника перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения» [9], внедрен ГК Фонд содействие и реформирования ЖКХ в виде цифрового алгоритма, подготовленного при участии автора работы (Приложение А).

5.6 Стандартизация при построении автоматических систем водоподготовки.

5.6.1 Автоматические средства контроля. Контролируемые параметры

Поскольку в действующей нормативной базе отраслевого и санитарного законодательства [8,25,90] отсутствуют достаточные основания для использования и построения онлайн-систем мониторинга качества питьевой и сточной воды в рамках производственного контроля, под руководством и при личном участии автора работы был разработан проект национального стандарта ГОСТ Р 59514-2021 «Качество воды. Системы автоматического контроля загрязняющих веществ» [164]. Одновременно с этим, в целях возможности онлайн отбора проб автором настоящей работы инициирована разработка национального стандарта ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб.[165] Данный стандарт введен в

действие в 2020 году приказом Росстандарта от 10.09.2020 № 640-ст. Стандартами устанавливаются требования к онлайн-системам мониторинга качества питьевой воды, а именно:

1. к методам и оборудованию, позволяющим проводить аналитический контроль состава и свойств (загрязнения) воды с использованием систем автоматического контроля (автоматические измерительные системы; системы аналитического контроля на месте отбора проб, системы автоматического контроля);
2. к управлению технологическими процессами очистки воды и водоподготовки;
3. к обработке и передаче данных о показателях загрязнения воды [105];

Также, с учетом имеющегося отечественного и международного опыта [105], при разработке проекта стандарта были выдвинуты некоторые ограничения в применении для систем автоматического контроля, которые в настоящее время не представляются возможными:

- для определения органолептических показателей качества воды;
- для биологического определения, в т.ч. гидробиологических и микробиологических показателей безопасности воды;
- для определения несмешивающихся с водой (нерастворимых в воде) веществ (масла, нефтепродукты, жиры, взвешенные твердые частицы) в неочищенных сточных водах;
- для определения нестабильных во времени индикаторов загрязнения (без специальной пробоподготовки), например, соединений железа (II), растворенных форм металлов.

В проекте национального стандарта предложена следующая последовательность этапов создания систем аналитического контроля, которая включает следующие действия [105]:

- определение стационарных контрольных точек и показателей загрязнения вод, подлежащих выбору и (или) аналитическому контролю автоматическими средствами, включая сбор и анализ информации о составе и свойствах анализируемых вод;
- определение наличия средств и методов отбора проб и (или) измерений концентраций загрязняющих веществ, определение технической возможности автоматического контроля в условиях эксплуатации стационарного пункта контроля;
- определение мест установки и проектирование АСУ, включая выбор средств измерений. Проектирование системы автоматического управления осуществляется с учетом действующих положений информационно-технической справки по наилучшим доступным технологиям «Общие принципы производственного экологического мониторинга и его метрологического обеспечения» [105], ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» (в части требований к автоматическим пробоотборникам) [106], ГОСТ Р ИСО 5725-6 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике» [166];
- поставка и установка оборудования, необходимого для создания АСУ;
- приемка системы автоматического управления в эксплуатацию, в том числе проверка работоспособности (функционального состояния), надежности и целостности полученных данных (результатов измерений), передача тестовых данных;
- пусконаладочные работы системы автоматического управления.

Первым шагом при разработке программы мониторинга качества воды является определение цели мониторинга. Это помогает в выборе параметров для мониторинга. Решение должно основываться на таких факторах, как:

- типы проблем с качеством воды и источников загрязнения, которые могут возникнуть;

- стоимость доступного оборудования для мониторинга;
- точность и достоверность доступного оборудования для мониторинга;
- возможность мониторинга.

Чаще всего для определения загрязненности воды при автоматическом контроле контролируются такие параметры как:

- электрическая проводимость,
- окислительно-восстановительный потенциал,
- поглощение света на длине волны 254 нм,
- рН
- растворенный кислород,
- мутность,
- ряд специфических показателей загрязнения: химическое и биологическое потребление кислорода, общий органический углерод, нефтепродукты, соединения азота и фосфора.

На основе разработанного стандарта допускается использование других показателей, близких по своей физико-химической природе, но возможных для использования при автоматизации контроля данных показателей (табл.5.24).

Таблица 5.24 - Взаимозаменяемые показатели состава и свойств воды для автоматического контроля [105,164]

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

Такое допущение принимается только в отношении автоматического контроля следующих типов воды: дистиллированная, питьевая, незагрязненные природные и очищенные сточные воды [105]. Также нельзя не упомянуть и о том, что такие измерения не могут заменить мониторинг состава и свойств воды в аккредитованной лаборатории.

5.7 Стандартизация в области подготовки кадров. Формирование рамки профессиональных квалификаций

Решение вопросов стандартизации в области подготовки кадров нами реализуется посредством создания ряда профессиональных стандартов. Начиная с 2014 года автор настоящей работы, являясь заместителем комиссии по водоснабжению и водоотведению СПК ЖКХ инициировал и принял участие в подготовке ряда профессиональных стандартов, которые в настоящий момент утверждены приказами МинТруда [185]. Вместе с тем, понимая необходимость стандартов развития, вместо так называемых стандартов состояния, которые были предложены для нужд отрасли водоснабжения и водоотведения и где была фактически зафиксированы требования к уровню подготовки кадров на текущий момент, без учета развития программ дополнительного образования, изменений в отрасли и новых трендов развития [186,242], автором был разработан проект профессионального стандарта, который включает в себя единый преемственный набор профессиональных компетенций для нужд водной отрасли. Это стандарт получил название «Специалист по водоснабжению и водоотведению. Акватроник». Данный стандарт, в котором последовательно предлагается развитие профессиональных компетенций, отражает возможность развития сотрудников, является основанием для формирования программ подготовки и переподготовки кадров, включает в себя целый спектр профессиональных знаний, навыков и умений, востребованность которых с учетом требований к новым специальностям будет только расти

[186]. Разработка при участии и под руководством автора настоящей работы и введения данного профессионального стандарта основывалось на самом передовом опыте работы предприятий. Одновременно с этим, разработанный профессиональный стандарт соответствует требованиям государственной политике в области подготовки кадров, в области цифровизации и повышении управляемости технологическими процессами.

Подготовка специалистов и требования к квалификации в рамках данного профессионального стандарта включает практически все квалификационные уровни, начиная с требований к среднему специальному образованию и заканчивая магистерскими уровнем подготовки специалистов. Для создания такого набора компетенций были исследованы и интегрированы в разработанный документ необходимые требования с позиций знаний, умений и действий специалиста. Данные компетенции отвечают риск-ориентированным факторам работы систем и сооружений централизованного питьевого водоснабжения. Таким образом, подходы, связанные с организацией процессов водоснабжения и учитывающие все стадии технологического процесса, по итогам проведенных нами методических исследований интегрированы с требованиями к подготовке кадров.

5.8 Выводы по главе5

В настоящей главе нами показаны направления стандартизации и представлены подготовленные национальные стандарты для обеспечения совершенствования процесса питьевого водоснабжения. Проведенная научно-методическая работа позволили нам сформировать рамку национальных стандартов, которые позволяют унифицировать и систематизировать следующие процессы:

- выбор водных источников и оценки их качества – разработано при участии и под руководством автора и внедрено в практику 4 национальных стандарта
- выбор реагентов для нужд питьевого водоснабжения – разработано и внедрено два национальных стандарта на основные реагенты питьевого водоснабжения
- унификация при описании систем водоснабжения - разработан при участии и под руководством автора и внедрен соответствующий национальный стандарт
- совершенствование качества и валидности лабораторных исследований – при участии автора разработаны и внедрены два национальных стандарта
- автоматизация контроля качества воды – разработан при участии и под руководством автора национальный стандарт в области автоматического контроля показателей качества воды; методические разработки, на которых основана разработка стандарта, внедрены.
- кадровое обеспечение для нужд отрасли ВКХ – разработан при участии и под руководством автора системообразующий профессиональный стандарт.

6 Экономические и технико-экономические показатели результатов проведенного исследования

6.1 Обоснование параметров расчета стоимости жизненного цикла при выборе технологических решений водоподготовки

На основании ранее рассмотренных автором, в т.ч. в настоящей работе принципов оценки стоимости жизненного цикла [92,93,97], а также разработанного под руководством и непосредственным участии автора настоящей работы национального стандарта [98] в рамках дальнейших исследований сделаны оценки использования методологии СЖЦ для выбора технологических решений разного уровня. Рассмотрим выбор технологических решений на примере Бонзынского водозабора г. Вязьма. В таблице 6.1 представлены данные по качеству исходной воды, которые были приняты для выбора технологических решений водоподготовки.

Таблица 6.1 – Качество исходной воды

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

Вода имеет превышение ПДК по содержанию железа, мутности и жесткости. Железо и мутность хорошо удаляется на установке обезжелезивания, включающая в себя стадии окисления железа и

фильтрования малорастворимого гидроксида железа 3. При $pH > 7,0$ достаточно в качестве окислителя использовать кислород воздуха (аэрацию), при меньших pH требуется использовать более сильный окислитель, например, гипохлорит натрия. В данном случае рассматривается система с окислением аэрацией. 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 отведение образующихся сточных вод водоподготовки.

Для получения воды с высоким качеством, рекомендуется держать ее жесткость в пределах 4-5 мг-экв/л. Возможно получить умягченную воду основываясь на применении промышленно апробированных способов (рисунок 6.1):

- Умягчение на натрий-катионитных фильтрах.
- Обессоливание на низконапорном осмосе или нанофильтрации.
- Реагентное умягчение

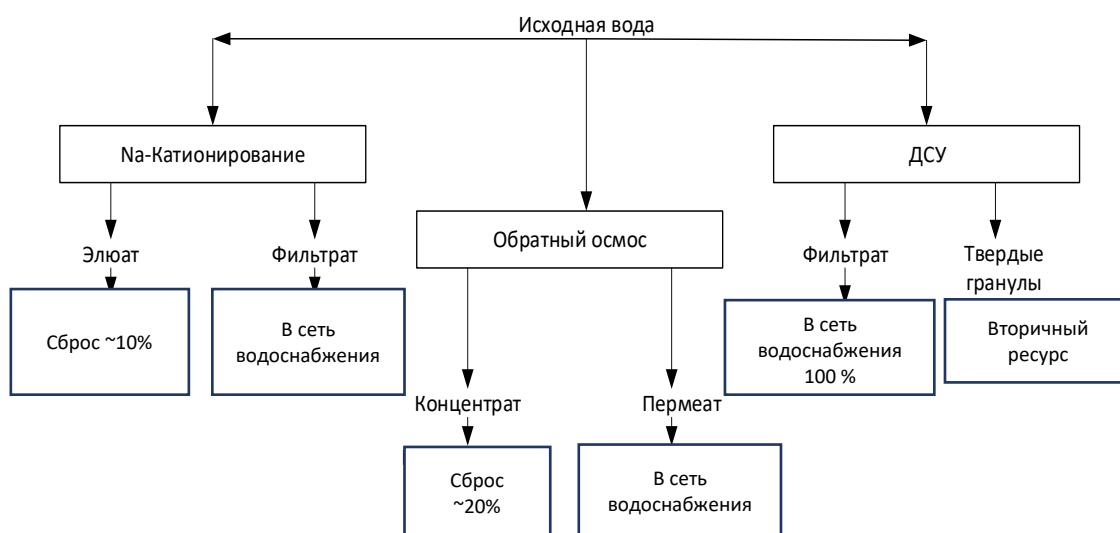


Рисунок 6.1 – Варианты получения умягченной воды

В варианте с натрий-катионированием получаем стоки с повышенным количеством солей, в варианте с обратным осмосом более высокое количество сточных вод существенно менее соленых. Для реагентного умягчения

практически отсутствует образование сточных вод. Ниже на рисунках 6.2, 6.3 и 6.5 приведены две предварительные балансовые схемы обработки воды установки с использованием технологии обратного осмоса, с использованием Na-катионирования и с использованием реагентного умягчения.

На основании принятых исходных данных с качественным анализом исходной воды предварительное солесодержание в смешенном потоке будет составлять около 320-400 мг/л с общей жесткостью около -4-5 мг-экв/л. При использовании установки обратного осмоса образуется минерализованный концентрат, сконцентрированный в среднем 2,5-3 раза по сравнению с исходным солесодержанием, что при направлении в канализацию позволит получить смешенный сток практически того же солесодержания, что и при работе только установки обезжелезивания.



Рисунок 6.2– Предварительная балансовая схема с использованием обратного осмоса. Установка МФ (установка механической фильтрации); Установка ОО (установка обратного осмоса); РЧВ(резервуар чистой воды)

На основании принятых исходных данных с качественным анализом исходной воды предварительное солесодержание в смешенном потоке будет

составлять около 400-500 мг/л с жесткостью около 4-5 мг-экв/л. При использовании установки Na-катионирования образуется сильно минерализованный регенерационный сток, имеющий примерно в 2-3 раза большее содержание солей, чем было солей жесткости в исходной воде. В обеих схемах предварительно взято около 60% возврата промывочных вод механических фильтров.

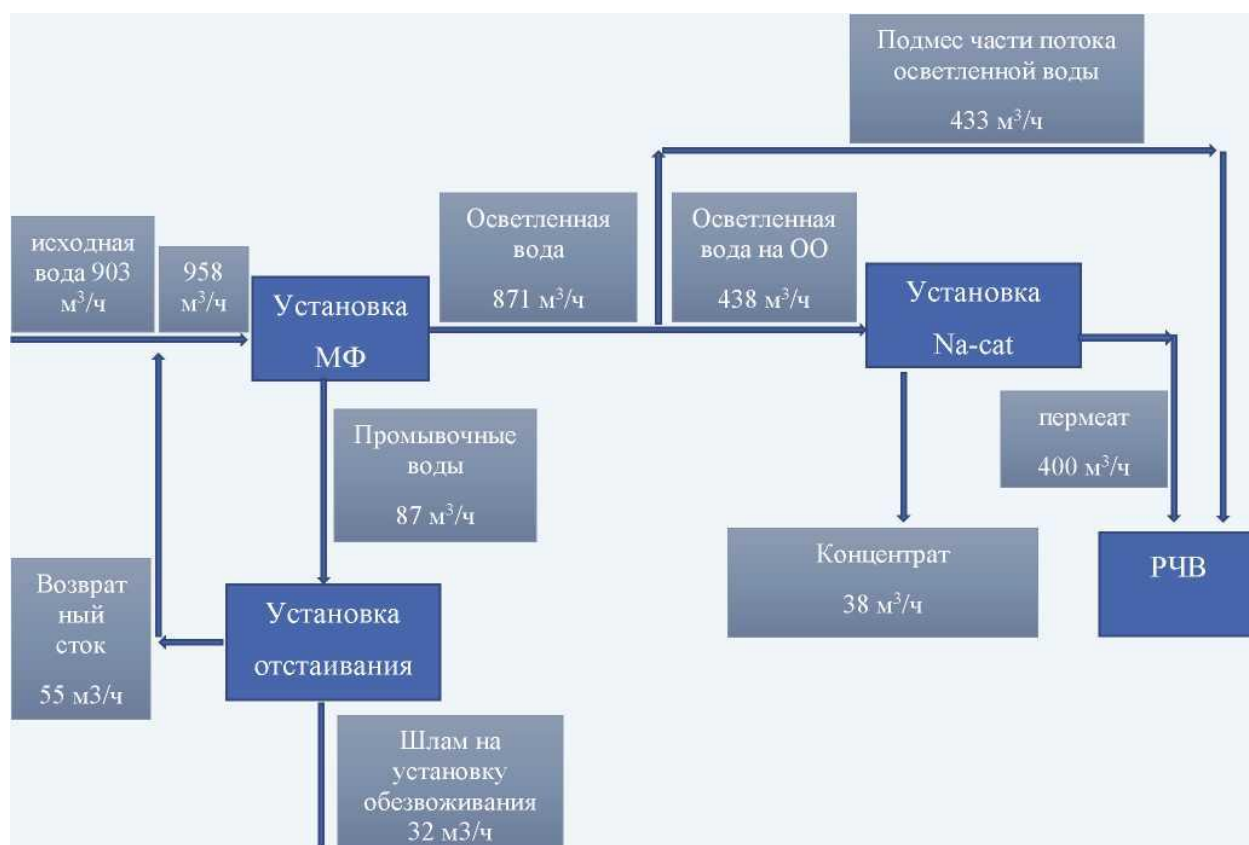


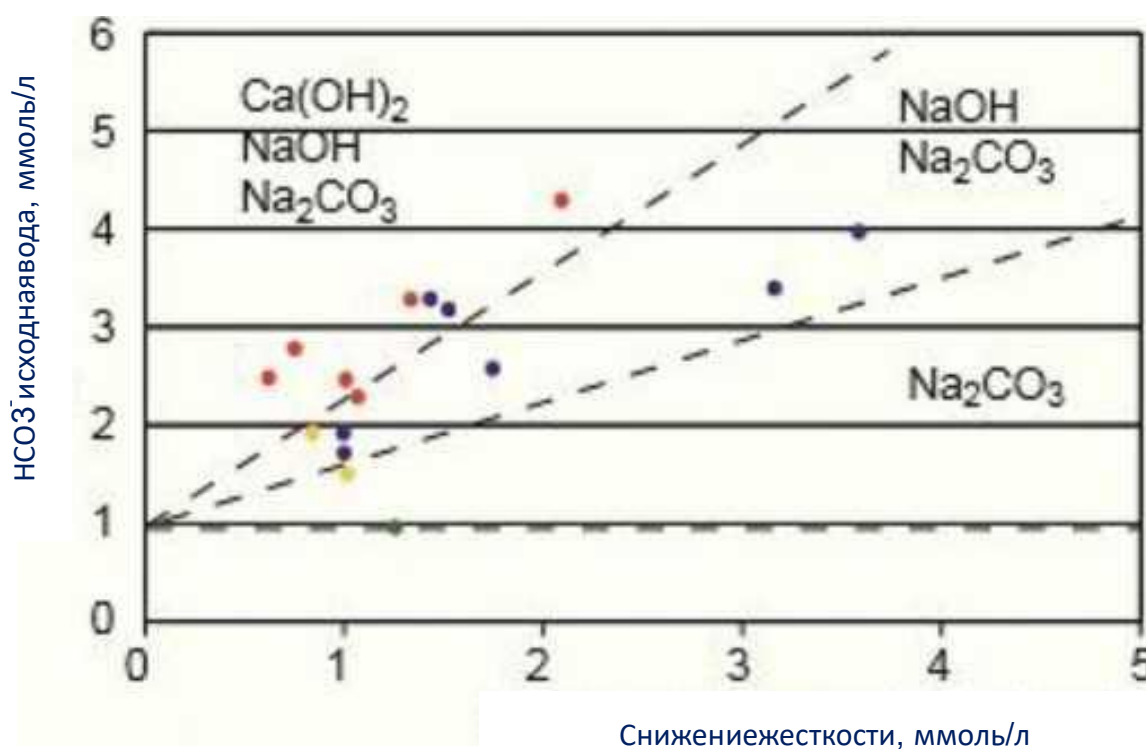
Рисунок 6.3– Предварительная балансовая схема с использованием ионного обмена. Установка МФ (установка механической фильтрации); Установка Na-cat(установка натрий катионирования); РЧВ(резервуар чистой воды)

Использование реагентного умягчения основано на рекомендациях западных разработчиков по областям использования реагентов для интенсифицированных реакторов, показанных на рисунке 6.4. Умягчение воды едким натром целесообразно применять при наличии такого соотношения между карбонатной жесткостью, содержанием свободной углекислоты и кальциевой некарбонатной жесткостью, когда образующейся соды при распаде бикарбонатов и взаимодействии со свободной углекислотой

достаточно для удаления кальциевой некарбонатной жесткости, т. е. справедливо равенство:

$$\text{ЖСа} + \text{Щ} = 2\text{ЖК} + \text{CO}_2 \quad (6.1)$$

где ЖСа - кальциевая некарбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; Щ - щелочность умягченной воды, мг-экв/л; ЖК - карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; CO_2 - содержание свободной углекислоты в исходной воде, мг-экв/л. При условии $(2\text{ЖК} + \text{CO}_2) > (\text{ЖСа} + \text{Щ})$ в обрабатываемую воду необходимо вводить известь, а при $(2\text{ЖК} + \text{CO}_2) < (\text{ЖСа} + \text{Щ})$ - соду.



- подземная вода NaOH; • **подземная вода** $\text{Ca}(\text{OH})_2$; • поверхностная вода NaOH; • поверхностная вода Na_2CO_3

Рисунок 6.4 – Применимость различных реагентов в зависимости от соотношения жесткости и щелочности воды. [4,6]

Преимущества едконатрового метода умягчения перед известковым заключаются в том, что едкий натр легко растворяется в воде. Это существенно упрощает системы приготовления и дозирования его растворов. В варианте, разработанном для Бонзянского водозабора на основании [182] по техническому заданию, сформированному автором настоящей работы, такой

аппарат называется «Динамическая система умягчения» - ДСУ. Работа ДСУ основана на обработке воды щелочным реагентом в присутствии затравочного материала в псевдоожиженном слое с получением умягченной воды и гранул карбоната кальция.

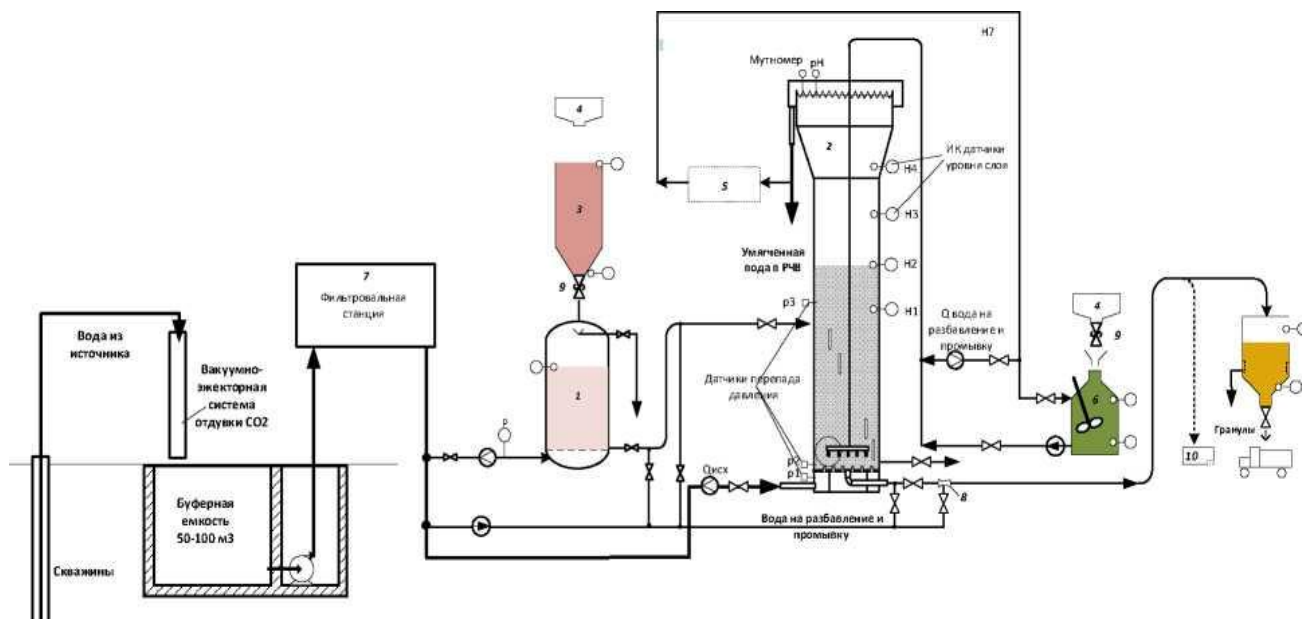


Рисунок 6.5 – Принципиальная схема обезжелезиванием на фильтрах и умягчением на ДСУ

1 - фильтр ФОВ для отмывки песка; 2 - ДСУ 2-3 шт; 3 - бункер для хранения песка; 4 – растариватель биогенов; 5 - установка ОО для получения обессоленной воды для растворения и разбавления щелочи; 6 - система приготовления щелочи включает: 2 растворных бака + насосы-дозаторы; 7 - сборник гранул с емкостью с дренажами и шибером на выгрузке; 8 - эжектор для выгрузки гранул в сборник; 9 - шиберный питатель; 10 - оборотный контейнер.

Установка ДСУ по схеме рисунку 6.5 при участии автора настоящей работы была смонтирована на Бознянском ВЗУ г. Вязьма и запущена в работу (Приложение Г). На первом этапе изучалась эффективность умягчения при дозировании щелочи. В колонну ДСУ помещено 800 мм загрузки (рисунок 6.6 а). При первоначальной загрузке кипит равномерно весь слой и обрастание происходит одинаково для частиц всего слоя. После длительной работы, когда произошло укрупнение частиц, что привело к разделению частиц по высоте

слоя на 2 части по размерам и массе. Снизу остались уже обросшие карбонатом крупные частицы, а сверху «новые» частицы загрузки.

Граница раздела достаточно заметная (рисунок 6.6в) при любых скоростях. После остановки разделение очень четкое (рисунок 6.6а). Сверху, также наблюдается сегрегация по размерам и цвету (рисунок 6.6б). Различие по окраске происходит по мере внедрения извлеченного железа в структуру гранул.



а

б

в

Рисунок – 6.6. Слой загруженного песка – а, слой в рабочем режиме – б, границы раздела – в

При производительности $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ скорость раствора в рабочей зоне ДСУ составляет 27 м/ч , при $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ - 54 м/ч , а при $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ - 81 м/ч . При этих режимах слой загрузки полностью оживлен и кипит. Сверху, в зоне расширения после снижения скорости, уровень слоя четкий и стабильный (рисунок 6.6 б).

Изучение эффективности умягчения при дозировании щелочи

На первом этапе изучалась эффективность умягчения при дозировании щелочи при предварительной отдувки газов (декарбонизации) и насыщении воды кислородом для окисления железа с последующим его удалением на

напорном фильтре с песчаной загрузкой. После прохождения воды через вакуумно-эжекционный дегазатор, где произошло удаление углекислоты рН поднялся с 7,36 до 8,13, что говорит о ее большом количестве в воде. Кроме того, наблюдался запах сероводорода. Ранее было найдено, что в диапазоне производительностей ДСУ от 30 до 100 м³/м²ч качество очистки не меняется при загрузке песка более 30% от высоты колонны. Поэтому, для получения сравнимых показателей по перепаду давления опыты на щелочи проводились при равных производительностях - 2000 л/ч.

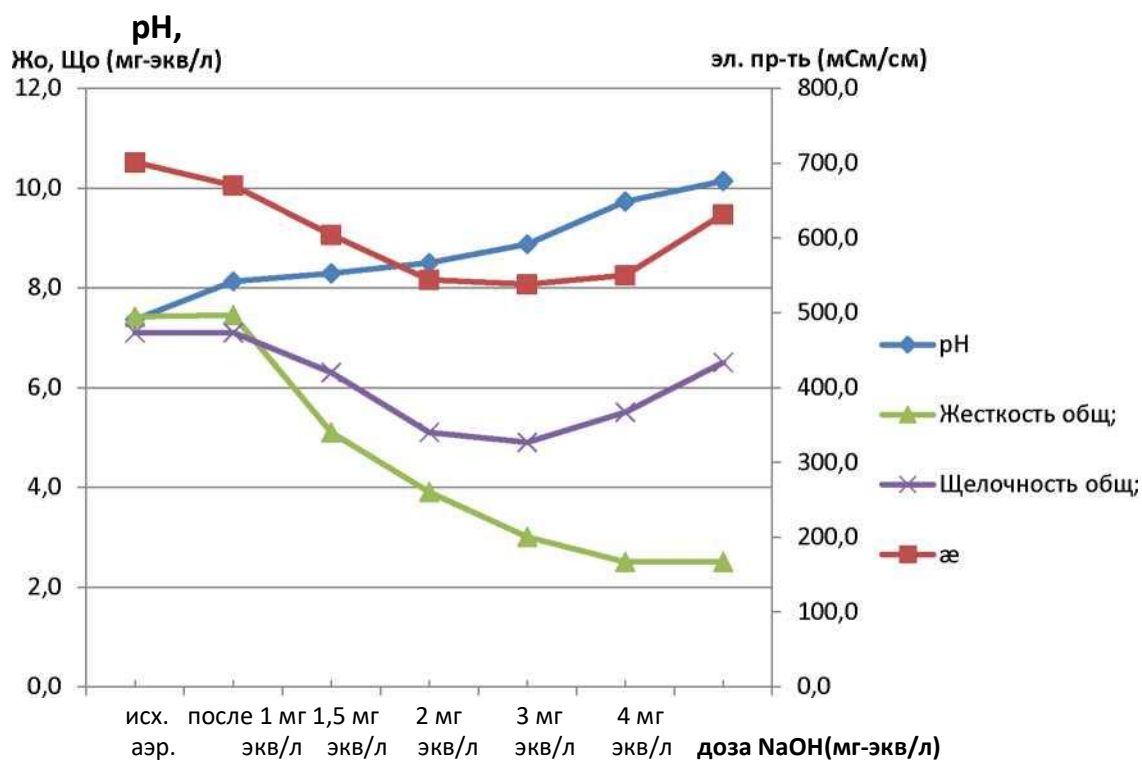


Рисунок 6.7 – Зависимость глубины умягчения от дозы NaOH

Технологические параметры в большой мере зависят от дозы щелочи. Так на рисунке 6.7. показана зависимость глубины умягчения от дозы NaOH и полученные при этом величины щелочности и рН. Видно, что глубина умягчения практически пропорциональна дозе до тех пор, пока существует щелочной резерв. В данном случае это происходит при снижении жесткости до 2,5 мг-экв/л. При этом рН растет примерно пропорционально дозе щелочи. Поскольку по [25,90] рН ограничена 9 единицами, то жесткость может быть снижена до 3 мг-экв/л, что более чем достаточно и позволяет обрабатывать

только часть потока - примерно половину, и получать норматив путем смешения потоков. Оптимальной для обработки всего потока следует считать дозу 1,0-1,5 мг-экв/л при которой жесткость составляет 5,1-3,9 мг- экв/л.

Исходная вода имеет примеси железа, в номинальном режиме работы скважин содержание железа составляет порядка 2,2 мг/л. Из рисунка 6.8 видно, что концентрация железа резко падает после аэрации и механической фильтрации до 0,11 мг/л и затем уменьшается в ДСУ до следовых количеств - 0,01...0,03 мг/л в зависимости от дозы NaOH. Очень важным моментом является то, что остановки любой продолжительности не влияли на качество очистки. Причем после возобновление работы выход на стационарный режим занимал несколько минут.

Прекращение дозирования щелочи естественно приводило к быстрому сбою работы, но ее восстановление практически сразу, за несколько минут, необходимых для достижения обработанной водой перелива, стабилизировало процесс. Следует отметить, что вода после ДСУ прозрачная. Затем была проверено работа с дозированием щелочи без предварительной отдувки углекислоты и обезжелезивания согласно схеме показанной на рисунке 6.8. Сравнительный эксперимент проводился с NaOH. При работе без предварительной аэрации и фильтрации раствора на щелочи при дозе 2,5 мг-экв/л были получены жесткость 3,2 мг-экв/л, щелочность 6,3 мг-экв/л и содержание железа 0,51 мг/л. Сопоставление полученных результатов показывает, что для получения одинаковой степени умягчения потребовалось увеличить дозу щелочи с ~1,5 мг-экв/л до ~2,5 мг-экв/л, т.е. примерно на 25-40%, что является существенной величиной для эксплуатационных расходов.

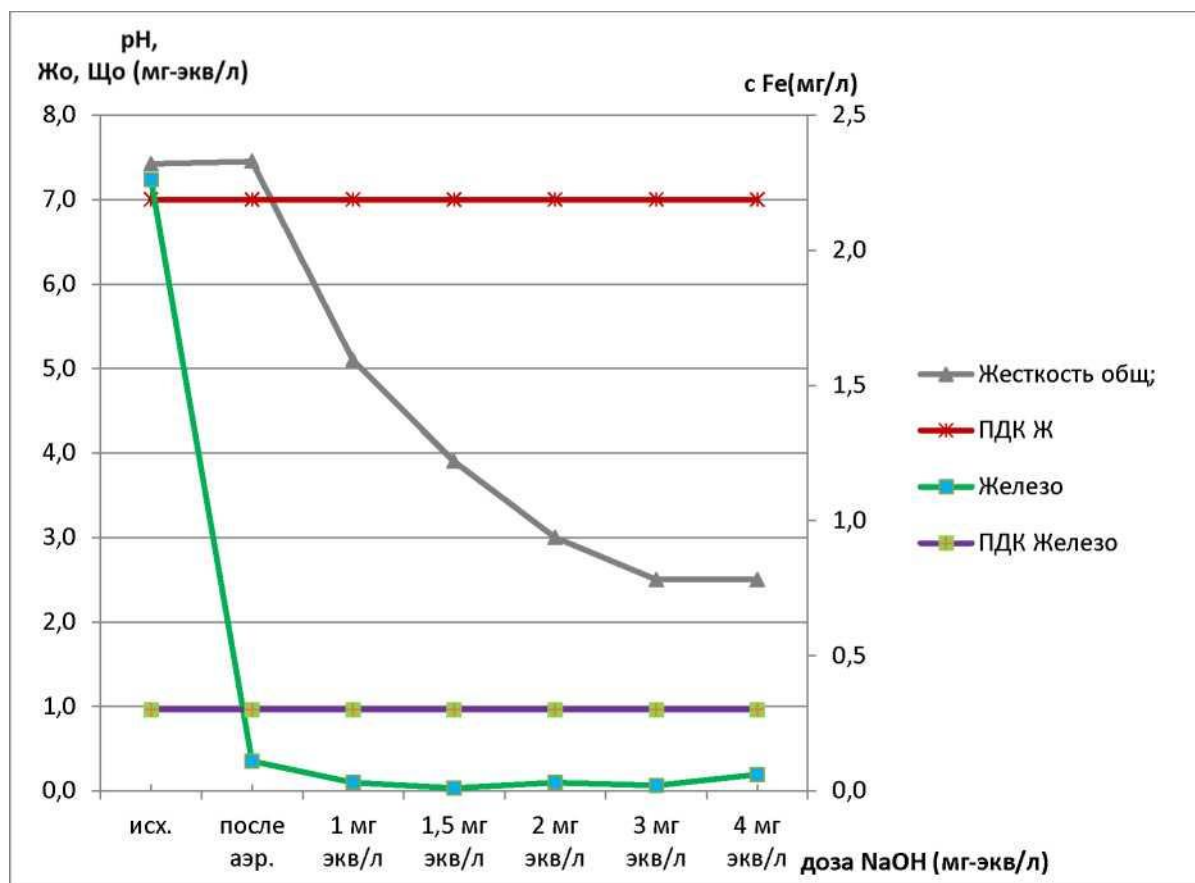


Рисунок 6.8 – Зависимость глубины умягчения и снижения концентрации железа от дозы NaOH (данные без учета погрешности метода).

Щелочь должна готовиться в растворителе и храниться в расходных баках соответствующего объема, но может быть использована и готовой из еврокубов или из цистерн. Для хранения песка используется вертикальная емкость - силос, под которой устанавливается эжектор для подачи в колонны. Гранулы транспортируются в вертикальную емкость с дренажным устройством или обратные мусорные контейнеры с дренажом откуда загружаются в автотранспорт для вывоза на утилизацию.

Технологические и экономические параметры установки

При очистке $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ т.е. половины общего потока при дозе щелочи $\sim 1,5 \text{ мг-экв/л}$ т.е. до 60 г/м^3 , в сутки требуется порядка 3 еврокубов 20% раствора или 720 кг твердого вещества. При обработке всего потока т.е. $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при дозе щелочи $\sim 1,0 \text{ мг-экв/л}$ т.е. до 40 г/м^3 , в сутки требуется порядка 4 еврокубов 20% раствора или 960 кг твердого вещества.

Количество выводимого карбоната кальция:

- расход $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, количество удаленного карбоната - $2,1 \text{ г-экв}/\text{м}^3$ вес эквивалент карбоната кальция - $50 \text{ г}/\text{мг-экв}$. В результате имеем 1050 кг в сутки по сухому веществу. Это нужно вывести на свалку или использовать для строительства. При расходе $500 \text{ м}^3/\text{ч}$, количество удаленного карбоната - $3,5 \text{ г-экв}/\text{м}^3$ вес эквивалент карбоната кальция - $50 \text{ г}/\text{мг-экв}$. В результате расход 875 кг в сутки по сухому веществу.

- плюс песок крупностью $\sim 0,3 \text{ мм}$ в количестве $\sim 1/10 - 1/100$ от количества карбоната кальция. Т.е. от 10 кг до $100 \text{ кг}/\text{сутки}$. На досыпку раз в две недели $\sim 150-1500 \text{ кг}$ песка.

На умягчение $8\,700\,000 \text{ м}^3/\text{год}$ при расходе щелочи $\sim 1,0 \text{ мг-экв}/\text{л}$ т.е. до $40 \text{ г}/\text{м}^3$ цене щелочи $30 \text{ руб}/\text{кг}$ годовые затраты составят $\sim 10\,000$ тыс. руб. Расход пропорционален количеству обработанной воды. Себестоимость приведения воды к нормативу по жесткости составляет $\sim 1,0 \text{ руб}/\text{м}^3$ очищенной воды, а с учетом смешения 2 потоков цена за 1 м^3 составит $\sim 0,75 \text{ руб}/\text{м}^3$.

Комплектность основных элементов предлагаемых технологических решений.

Предполагается, что основные узлы с использованием технологии обратного осмоса будут укомплектованы следующим образом:

Установка умягчения обратным осмосом включает в себя:

- ❖ Блок обратного осмоса (4 раб. + 1 рез.), который включает в себя:
 - Фильтры тонкой очистки.
 - Узел дозирования ингибитора
 - Насос высокого давления
 - Блоки фильтрующих модулей (предварительно по 108 элементов в каждом).
 - Комплект трубопроводной обвязки, КИП и арматуры.
- ❖ Блок промывки (1 раб.), который включает в себя:
 - Насос промывки
 - Бак промывочного раствора
 - Фильтры тонкой очистки
 - Узел подогрева воды

- Комплект трубопроводной обвязки, КИП и арматуры.

❖ Блок обеззараживания перед установкой обратного осмоса (1 раб.),
который включает в себя:

- Ультрафиолетовую лампу
- Комплект трубопроводной обвязки, КИП и арматуры.

Установка Накатионирования включает в себя:

❖ Блок На-катионирования на ионообменных фильтрах:

- Фильтр ФИПа (6 раб. + 1 на регенерацию), предварительно диаметр каждого фильтра 2,6 м.)
- Фильтр-ловушка (6 раб.+ 1 рез.)
- Комплект трубопроводной обвязки, КИП и арматуры.

❖ Насосная станция регенерации (1 раб.), который включает в себя:

- Насос регенерации (1 раб.+ 1 рез.)
- Комплект трубопроводной обвязки, КИП и арматуры.

Установки комплектуется оборудованием производства:

Оборудование			Марка
Насосы-дозаторы			Grundfos
Насосные агрегаты			Grundfos / KSB
Сетчатые фильтры			Yamit/Amiadiли аналог
Приборы КИП			WIKA, Yokogawa, Krohne, Burkert,
Арматура			Danfoss,
Мембранные элементы обратного осмоса/ионообменная смола			FIP, GF, FESTO, GEMU, Bray, Hawle
Основные комплектующие шкафов управления (автоматы, пускатели, плавные пуски, частотные преобразователи и т.п.)			Membranium/Purolite
ПЛК на АСУ			ABB, Schneider Electric, Phoenix Contact, Siemens, Danfoss
			Siemens

Таблица 6.3 – Факторы эксплуатационных расходов для обоснования выбора технологического решения по умягчению воды

№	Наименование	Ед. изм	ОО	Na-cat	ДСУ
1	Ингибитор солеотложения 100%	кг/год	27000	-	-
2	Лимонная кислота 100%/HCl 100%	кг/год	30720	-	-
3	Трилон Б 100%	кг/год	7680	-	-
4	Едкий натр 100%	кг/год	768	-	720*365
5	NaCl	кг/год		700800	-
6	Мембраны обратноосмотические	шт/год	144	-	-
7	Ионообменная смола	т/год	-	18,5	-
8	Гидроантрацит	т/год	26,5	23	-
9	Кварцевый песок	т/год	12,3	10,65	0,1*365
10	Электрoэнергия	ГВт*ч/год	3	1,6	-
11	Стоки	м3/год	1 165 080	332 880	-
12	Утилизация вторичного ресурса – кальцинированного песка	т/год			0,875*365

В таблице 6.4 приведена стоимость оборудования и работ по данному проекту

Таблица 6.4 – Предварительная оценка стоимости оборудования/услуг

№	Наименование услуги/оборудования	Цена услуги/оборудования, млн. руб.
1.	Полное сопровождение проекта	22
2.	Основное оборудование указанной выше комплектации, включая шеф-монтажные и пуско-наладочные работы	367
ИТОГО		389

Таблица 6.5 – Сравнительные эксплуатационные расходы для выбора типа умягчения воды

Метод умягчения	ОО	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 г/м ³	~ 900 г/м ³	~ 40 г/м ³
Стоимость реагентов, руб/кг	~ 300	~ 10***	~ 40
Ценареагентов, 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/кг,	-	-	10 г/м ³ 0,1 руб/м ³
Образование стоков, от начального объема воды	20%	5-7%	-
Утилизация гранул кальцита	-	-	****
Себестоимость обработки 1 м³, руб/м³	5,4	11,2	2,3

*Стоимость амортизации мембран определяется исходя из их цены, для размера 8040 это ~ 40000 руб., производительности 0,8 м³/ч и количества воды, обработанной за 3 года воды 0,8 м³/чх3х8000 = 19200 м³. Получается ~ 2,0руб/м³.

**Аналогично для катионита: 1 м³ может очистить ~ 20 м³/ч, за 10 лет очистит 160000 м³. При стоимости катионита ~ 150000 руб. /м³, цена составит ~ 1 руб/м³.

***При использовании таблетированной соли стоимость реагента возрастает в 3 раза.

**** Гранулы кальцита могут быть использованы в строительстве, сельском хозяйстве и т.п.

Расчет делается в расчете 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.

Оценка стоимости жизненного цикла, исходя из приведенных в таблицах 6.3, 6.4 и 6.5 данных, позволяет сформировать следующие стоимостные показатели, представленный в таблице 6.6. В расчет брались показатели, связанные со снижением жесткости воды до обеспечения требования гигиенических нормативов. Стоимость водоотведения бралась, исходя из 20 руб/куб.м.

Таблица 6.6 – 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 обратного осмоса	Вариант 2: Технология с использованием ионного обмена	Вариант 3: Технология с использованием динамической системы умягчения
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, млн.р	92,25	84,375	94,5
C_e , млн.руб	65,703	32,851	16,425
C_o	<i>единое для всех, не идет в расчет</i>		
C_m , млн.руб	85,415	246,50	82,125
C_s	<i>единое для всех, не идет в расчет</i>		
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, млн.руб	352,868	391,102	196,05

На основании проведенного расчета с учетом оценки стоимости жизненного цикла наиболее выгодной технологией для рассматриваемого варианта выбрано динамическое скоростное реагентное умягчение (ДСУ). Следует обратить внимание, что проблемой в случае Бознянского водозабора является большая сложность с водоотведением образующихся сточных вод.

6.2 Обоснование требований к контролю качества воды с позиций оценки стоимости жизненного цикла

На рисунке 6.7 представлена схема водоподготовки из поверхностного водного источника с указанием стадий, для которых характерно введение реагентов.



Рисунок 6.7 – Схема водоподготовки из поверхностного водного источника с указанием стадий, характеризующихся введением реагентов

При реализации процесса водоподготовки необходимо введение следующих реагентов: коагулянтов (возможно и флокулянтов), агентов обеззараживания.

1. Определение дозы коагулянта

Ц – цветность обрабатываемой воды, град.

В соответствии с исходной максимальной мутностью по таблице 6.7 выбирают дозу коагулянта.

Таблица 6.7 – Доза коагулянта в зависимости от мутности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м ³	Доза коагулянта, г/м ³	Мутность воды, г/м ³	Доза коагулянта, г/м ³
Менее 100	25-35	600-800	50-60
100-200	30-40	800-1000	60-70
200-400	35-45	1000-1500	70-80
400-600	45-50		

Примечание: 1) Меньшие дозы относятся к воде, содержащей грубодисперсную взвесь; 2) При применении контактных осветлителей и контактных префильтров дозу коагулянта необходимо принимать на 10 – 15%

меньше, чем по таблице 6.7 или по формуле: $D_k = 4 \cdot \sqrt{Ц}$.

Дозы коагулянта, полученные в соответствии с таблицей 6.7 и рассчитанные по формуле, сравниваются. При одновременном содержании в исходной воде взвешенных веществ и цветности для дальнейших расчетов принимают наибольшую из доз.

2. Определение дозы флокулянта

Наиболее часто применяемыми флокулянтами являются полиакриламид (ПАА) и активная кремнекислота (АК). При использовании полиакриламида при вводе его перед отстойниками или осветлителями со взвешенным слоем осадка его дозу принимают по таблице 6.8.

Таблица 6.8. Доза флокулянта ПАА (безводного) [7]

Мутность воды, г/м ³	Цветность воды, град	Доза ПАА, г/м ³
Менее 10	более 50	1,0-1,5
10-100	30-100	0,3-0,6
100-500	20-60	0,2-0,5
500-1500	-	0,2-1,0

3. Определение дозы хлора

Дозы хлора по активному хлору вводятся, исходя из требований гигиенического нормирования для обеспечения микробиологической безопасности воды. Вместе с тем, во избежание зарастания фильтров, процесс хлорирования часто ведут в две ступени – первичное и вторичное (окончательное). Первичное хлорирование предназначено для предварительного окисления присутствующей в воде органики, чтобы оптимизировать процесс отстаивания и фильтрования. Показатель, характеризующий органические загрязнения в воде, введен в новый СанПиН 1.2.3685-2021 [25] и носит название «Общий органический углерод». Рекомендуемая доза хлора для процесса первичного хлорирования составляет 3 – 10 г/м³. [7]

Доза реагента для обеззараживания воды после заключительной стадии очистки (вторичное хлорирование) принимается: для поверхностных вод – 2 – 3 г/м³, для подземных источников – 0,7 – 1,0 г/м³ [7,183,184].

Так как было показано, что важной задачей водоподготовки является снижение химической нагрузки на воду, а также исходя из данных о том, что на этапе первичного хлорирования образуется максимальное количество хлорорганических загрязнений, в настоящей работе предлагается подход, основанный на разработанном при непосредственном участии автора настоящей работы национальном стандарте [164]. На рисунке 6.8 представлена схема возможной организации контроля качества воды с использованием систем автоматического контроля загрязняющих веществ. За основу взято оборудование, поставляемое компанией ХАХ Ланге [174]. Основные характеристики предлагаемого оборудования рассмотрены в разделе 4.3. Предлагаемая комплексная схема автоматического контроля процесса водоподготовки позволяет следующее:

- В каждый момент времени обладать информацией о качестве воды на стадиях процесса водоподготовки;
- Установить взаимосвязь дозирующих устройств с определяемыми показателями качества;
- Снизить расходы на используемые реагенты за счет оптимизации процесса дозирования.

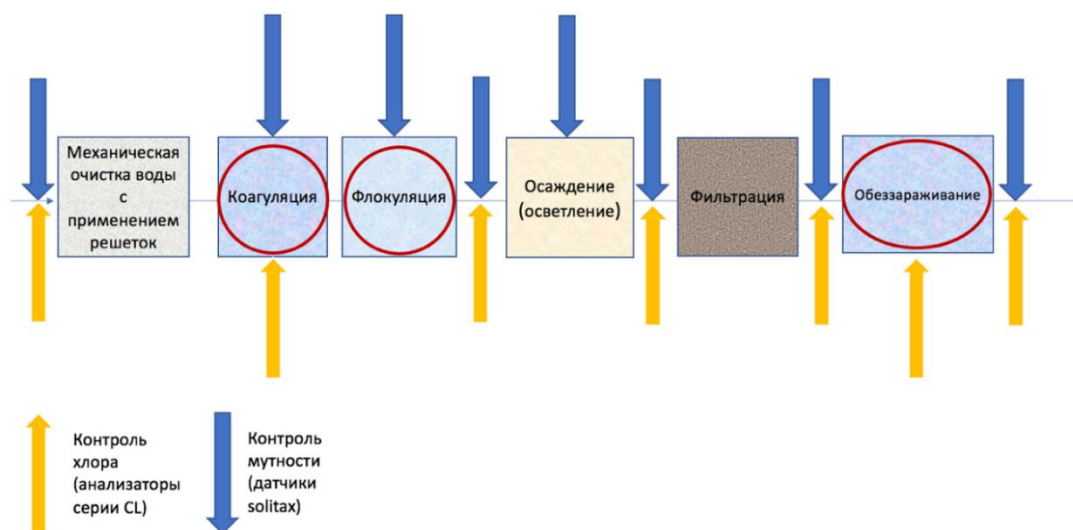


Рисунок 6.8 – Комплексная схема автоматического контроля процесса водоподготовки

Предлагаемая система контроля основана на:

- Непрерывном определении мутности входящей воды – данный показатель определяет расход коагулянта и позволяет с большой степенью достоверности оптимизировать подачу реагентов при обеспечении качества обработанной воды;
- Непрерывном определении общегоорганического углерода – данный показатель косвенно связан с образованием хлорорганических соединений, т.е. такое определение позволяет предотвратить избыток тригалометанов в обработанной воде и оптимизировать расход агента обеззараживания;
- Непрерывном определении остаточного хлора в воде – качественная характеристика процесса, позволяющая снизить риски передозировки хлора, т.е. потенциал образования ТГМ и обеспечить технологические режимы гарантированного соответствия микробиологической безопасности.

На рисунках 6.9-6.11 предложены различные варианты дозирования реагентов в зависимости от возможности определения функционального показателя.

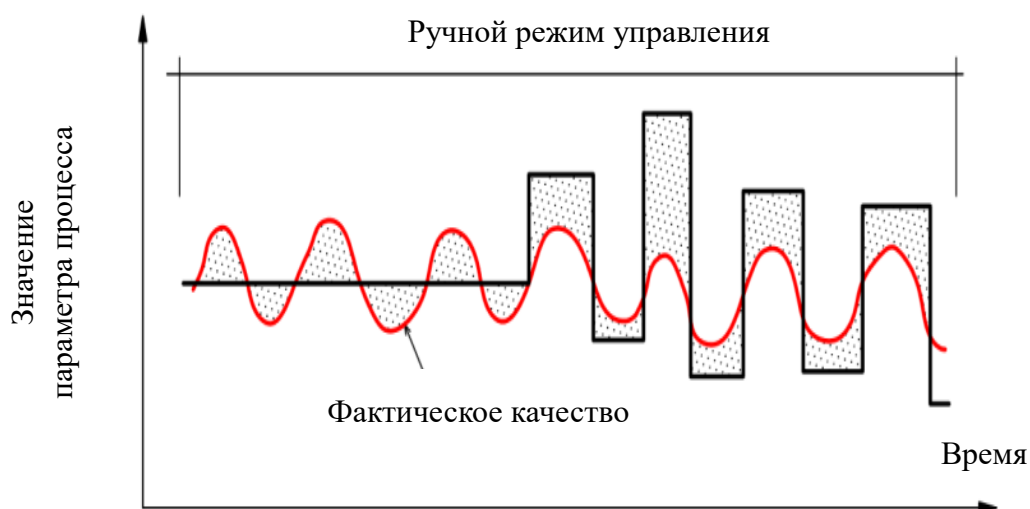


Рисунок 6.9– Ручной режим управления дозированием

Дополнительные расчеты представлены в Приложении Д. В частности, для коагулянтов таким показателем будет являться мутность, которая может быть определена классически по ГОСТ [146] с интервалом дозирования (режим дозирования фактически ручной), либо с помощью онлайн контроля (САК), в таком случае реализуется дозирование либо в пропорциональном, либо в ручном режиме.

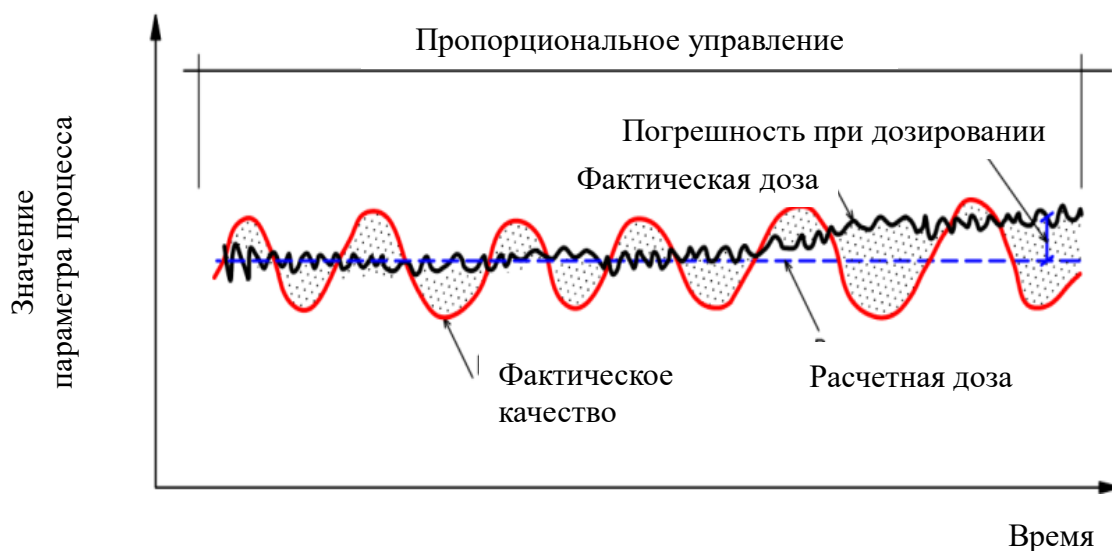


Рисунок 6.10 – Пропорциональный режим управления дозированием

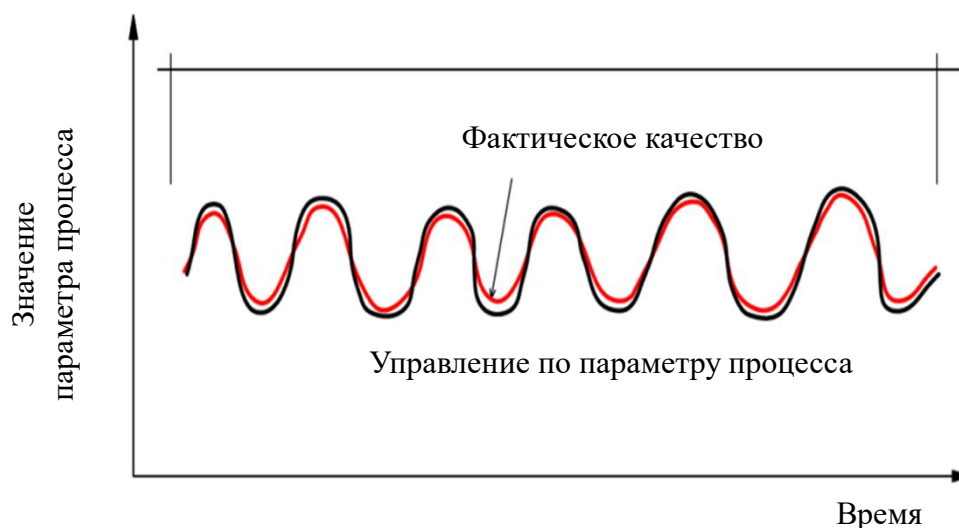


Рисунок 6.11 – Управление дозированием по параметру процесса

В качестве технико-экономической оценки предлагаемого решения по оптимизации в рамках данной работы была применена оценка СЖЦ-инструмент, использование которого необходимо для обеспечения работы

систем питьевого водоснабжения [25]. Для возможности оценки рисков, связанных с санитарными и технологическими аспектами работы систем питьевого водоснабжения ранее в работе показаны различия между существенными и менее существенными опасными факторами или событиями [27-29] и выделены два метода оценки риска: качественный и полуколичественный.

При оценке стоимости жизненного цикла (см. раздел 2 и 3) [29] полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени представлен формулой (2.11) на странице 105, при этом общая расшифровка составляющих приведена в [98]:

$$\begin{aligned} \text{СЖЦ} = & \sum_{t1}^n \frac{\text{КАПИТ}(C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \\ & + \sum_{t2}^n \frac{\text{ЭКСПЛ}(C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d \end{aligned}$$

Применительно к оценке решений в области контроля качества вводятся показатели [29,92,97,98]:

C_o – стоимость единичного анализа качества воды и оплату труда обслуживающего персонала;

C_m – затраты на расход товара (реагента или материала);

C_s – стоимость потерь от несоответствия качества воды;

При выборе технологий водоподготовки оценка риска может быть проведена в части:

- химических веществ, изначально присутствующих в воде водоеисточника;
- фактора, определяющегося водоподготовкой;
- фактора транспортировки и распределения воды

В таблице 6.9 показан пример расчета СЖЦ в зависимости от выбранных технологических процессов. В рассматриваемой ситуации к сравнительной оценке приняты три варианта, каждый из которых по формальным признакам соответствует [25,28] без учета рисков

некачественной воды. Каждый из возможных вариантов контроля качества воды соответствует требованиям гигиенического нормирования и ФЗ 7. Исходные данные – вода поверхностного источника, класс 2 по [24]. В соответствии с наиболее часто встречающейся ситуацией, не достигаются результаты по обеспечению качества воды в паводковые сезоны года по показателям: хлороформ, алюминий, цветность.

Предлагаемые варианты:

- Вариант 1: Технология с использованием ручного дозирования и обычного лабораторного контроля;
- Вариант 2: Технология с использованием пропорционального дозирования коагулянта, на основе анализа мутности;
- Вариант 3: Технология с использованием автоматического дозирования коагулянта на основе непрерывного измерения мутности.

Таблица 6.9 – Результаты расчета СЖЦ, тыс.руб

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации	Вариант 1: Технология с использованием ручного дозирования и обычного лабораторного контроля	Вариант 2: Технология с использованием пропорционального дозирования коагулянта, на основе анализа мутности	Вариант 3: Технология с использованием автоматического дозирования коагулянта на основе непрерывного измерения мутности
C_{ic}^{3+C}	не учитывается по техническому заданию		
C_{ic}^{IP} , млн. руб			
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	14825	12365	11005
СЖЦ	15343	13565	12905

Исходя из оценки стоимости жизненного цикла, 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.

6.3 Обоснование рекомендаций к выбору насосного оборудования с позиций оценки стоимости жизненного цикла

С позиции оказания услуг ВКХ, прокомментируем структуру СЖЦ, таблица 6.10. Заказчик производит выбор показателей на основе технической логики (проекта или конкурса).

Таблица 6.10 – Обзор показателей СЖЦ по отношению к проекту «Насосная станция»

Аббревиатура и её описание (тезисно)	Комментарии по учету в проектах по насосным станциям
Техническое задание (ТЗ) заказчика должно содержать сведения для подрядчика:	
Сведения к определению величин: n – расчетный период, лет; p – годовой темп инфляции, доли ед.; i – процентная ставка, доли ед.; $r = (i - p)$ – ставка дисконтирования, доли ед.; $R = 1/(1 + r)^n$ – коэффициент дисконтирования, доли ед. Текущие тарифы на электроэнергию и др. энергию, если она задействована в проекте. Закупочные цены на материалы и реагенты, если заказчик предполагает использовать их в проекте.	
КАПИТ – сумма капитальных затрат	
$C_{ic}^{ЗП}$ (земля + сети)	Если требуется: приобретение земельного участка, стоимость получения разрешений и стоимость подключения к другим сооружениям и инженерным сетям.
$C_{ic}^{ПР}$ (проектирование)	Учет любых инжиниринговых работ, НИОКР, предпроектных работ и инженерных изысканий.
C_{ic} (капитальная стоимость)	Общестроительные работы, СМР, ПНР, авторский надзор, цена закупаемого оборудования. Стоимость любой, логически оправданной, технологической системы с оборудованием.
ЭКСПЛ – сумма эксплуатационных затрат (с учетом изменений в ходе жизненного цикла объекта)	
C_e (электроэнергия)	Расход электроэнергии определяют на основе прогнозных расчетов по заданному в ТЗ режиму (график или таблица) часовой неравномерности объектных расходов и напоров. Затем умножают на тариф и переводят в ед. кВт·ч годовой потребляемой энергии (или мощности).
C_o (оплата труда)	Текущие затраты на оплату труда обслуживающего персонала
C_m (ремонт, обслуживание и расход материалов и реагентов)	Учет затрат в соответствии с режимами производителя: ТО – техническое обслуживание, ТР – текущий ремонт, КР – капитальный ремонт. Расход материалов и запасных частей, а также учет стоимости работ.

Продолжение таблицы 6.10

C_s (простой)	Стоимость потерь от непредвиденных простоев насосной техники можно получить, расценив размер недополученной продукции абонентами водоканала.
C_{env} (охрана окружающей среды)	Стоимость затрат по охране окружающей среды можно получить, расценив размер предотвращаемого ущерба.
C_d – затраты на конец СЖЦ	
C_d (снос или повторное использование)	Все статьи затрат на вывод насосной станции и насосного оборудования из эксплуатации с восстановлением окружающей среды. Оборудование может иметь остаточную стоимость (её учитывают со знаком «-»).

Режимный график энергопотребления

График или таблицу режимов выполняет подрядчик на основе ТЗ заказчика. В качестве основы заказчик обязан предоставить данные о расходах и напорах за характерный для объекта период времени. Также могут быть учтены сведения о развитии объекта на перспективу. Целью ТЗ является определение мощности для расчётных условий насосной станции, в условиях максимальной производительности и напоров. Поэтому следует выбрать ряд данных из подобных суток. Если иное не предписано, рекомендуем для обработки данных (усреднением значений) от муниципальных объектов даты 31 декабря и 31 августа с очевидной причиной. Реальные датчики расхода и напора имеют стандартные погрешности, которые лучше исключить во избежание накопления ошибки. Для этого рекомендуем процедуру корректировки (например, в таблицах excel):

– сортируем все данные (час-Q-H) по возрастанию расходов;

– выстраиваем точки для расходно-напорной характеристики системы трубопроводов Q-H, а затем формируем её в виде полиномиальной функции 2-й степени, например:

$$H = 5E-07Q^2 + 0,0019Q + 24,589$$

Прим.: E-07 – это 10^{-7} .

– руководствуясь данной зависимостью, выстраиваем график Q-H по принципу логического соответствия часовых расходов и напоров, устраняя погрешности приборов измерения;

–сортируем в обратную сторону все данные (час-Q-H) по параметру возрастания часов (в привычный вид).

Эта процедура требуется в особенности для насосных станций 2-го и 3-го подъемов, работающих не на водоводы (что рассчитать значительно проще), а на городскую водоразборную систему.

Расчёт потребляемой мощности C_e

Расчеты выполняются силами подрядчика на основе Режимного графика энергопотребления. На практике это кропотливая работа с развернутыми таблицами excel с учетом работы каждого из рабочих насосов с преобразователем частоты (ПЧ) и без него (если так задано в ТЗ). Анализируют последовательно работу насосов каждый час с учетом его КПД и ПЧ в каждой рабочей точке. Для упрощения процедуры возможно принять КПД для ПЧ одинаковым в течение суток (97-98% или из паспортных данных), если иное не предписано в ТЗ. Представим пример графически, см. рисунок 6.12, хотя на практике это табличные значения.

Ремонти обслуживание C_m

Элементы табл. 6.14 ТО, ТР и КР представляют в виде таблиц распределения товарно-материальных ценностей (ТМЦ) в соответствии с указанным в ТЗ жизненным циклом насосного оборудования, например 10-25 лет. Рассматривают для каждой из операций: её периодичность, текущие цены материалов и запасных частей, стоимость работ.

Периодичность операционных работ определяет производитель насосного оборудования (или задает её в Инструкции по эксплуатации и обслуживанию).

Каждый элемент ТО, ТР и КР должен включать итоговые затраты:

–ИТОГО: цена ТЦМ на текущий ремонт ТР (либо ТО, КР) - ____ рублей/год;

–ИТОГО: стоимость текущих ремонтов ТР (либо ТО, КР) сервисным инженером - ____ рублей/год.

Если для ТО типично ежегодное регулярное обслуживание насосов, то для ТР и КР его выполняют по графику «один раз в несколько лет». Полагая, что на завершающем этапе определения СЖЦ появится операция с дисконтированием затрат, рекомендуется приводить ТР и КР к ценам текущего года. Например, работы выполняют по графику 3 раза за 10 лет эксплуатации, а текущая годовая цена или стоимость составляет X руб., то в строке «ИТОГО» следует записать результат $= 3 \cdot X / 10$ руб.

1. Формирование данных от поставщиков и производителей

Подрядчик обрабатывает данные, а заказчик проверяет, поскольку должен быть уверен в отсутствии ошибок, влияющих на конечный результат (конкурса, стадии ТЭО или проекта). Исходные данные (строки выделены серым цветом) заносят в произвольную таблицу для дальнейших расчетов, например, таблица 6.11.

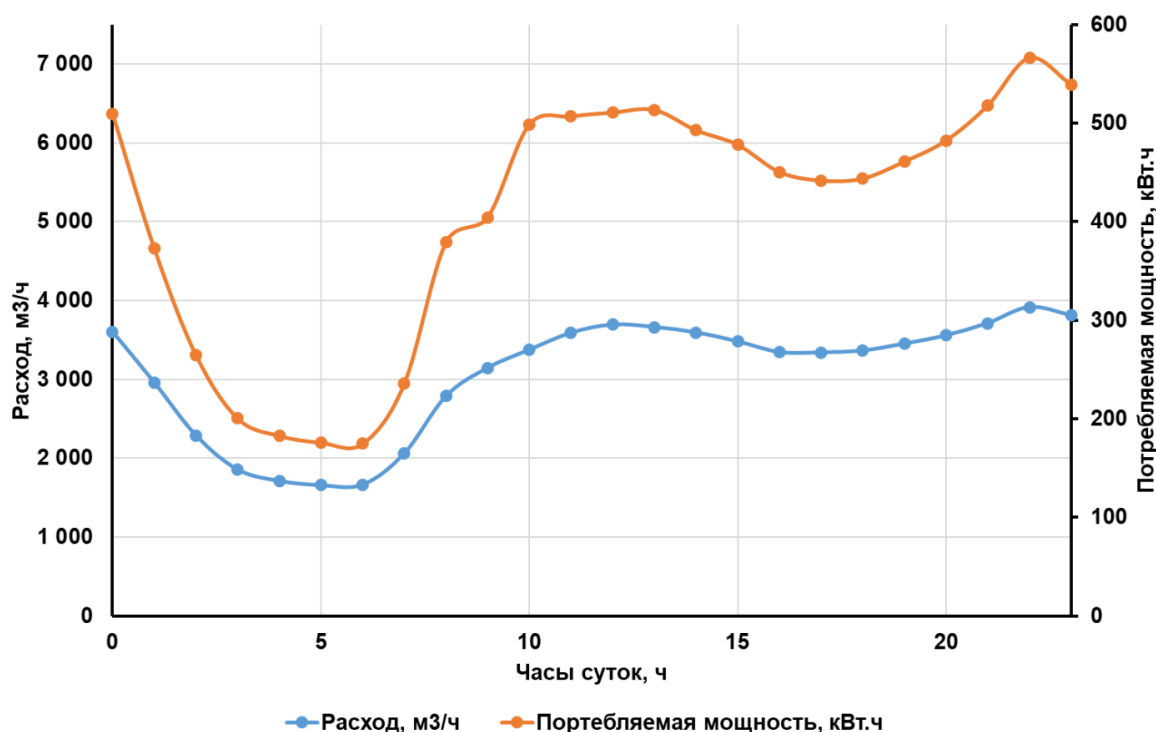


Рисунок 6.12 – Результат расчёта потребляемой мощности по изменению исходного расхода

Таблица 6.11– Сводный расчет капитальных и эксплуатационных затрат в текущих ценах

Участник конкурсной процедуры		ООО «_____»	ООО «_____»	ООО «_____»
Разработчик / производитель		Производитель 1 _____модель_____	Производитель 2 _____модель_____	Производитель 3 _____модель_____
Краткое описание технологии / оборудования / техники / установки	Ед. изм.	2 насоса Центробежный погружной насос сухойгоризонтальной установки без панели управления	2 насоса Центробежный насос сухой установки без панели управления	2 насоса Центробежный погружной насос сухой вертикальной установки без панели управления
Продолжительность эксплуатации	сут/год	365	365	365
Расчетный период <i>n</i>	годы	10	10	10
Исходные данные / Технические условия				
Общие капитальные затраты (сумма КАПИТ)	руб	16 699 600,00	13 442 150,00	20 846 780,00
Капитальные затраты (Стоим. оборудования + Транспорт)		16 238 600,00	12 954 400,00	20 406 130,00
Стоимость оборудования (без НДС)	руб	16 150 300,00	12 880 400,00	20 321 130,00
Транспортные расходы (без НДС)	руб	88 300,00	74 000,00	85 000,00
Капитальные затраты на основе работ		461 000,00	487 750,00	440 650,00
Авторский надзор (без НДС)	руб	130 500,00	117 050,00	135 000,00
Шеф-монтажные работы (без НДС)	руб	120 100,00	125 000,00	125 000,00
Шеф-Пусконаладочные работы и обуч персонала (без НДС)	руб	210 400,00	245 700,00	180 650,00

Продолжение таблицы 6.11

Эксплуатационные затраты(сумма ЭКСПЛ)	руб/год	15 753 695,47	17 704 753,14	14 717 059,38
Стоимость электроэнергии <i>Се</i>	руб/год	14 968 915,92	17 230 925,64	13 775 533,38
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 <i>См</i> - Расходные материалы (без НДС)	руб/год	411 075,00	210 590,00	445 986,00
на Техническое обслуживание (ТО)	руб/год	110 850,00	60 150,00	94 330,00
на Текущий ремонт (ТР)		300 225,00	150 440,00	351 656,00
на Капитальный ремонт (КР)	руб/год	0,00	0,00	0,00
Стоимость работ по обслуживанию <i>См</i> (без НДС)	руб/год	373 704,55	263 237,50	495 540,00
Технического обслуживания (ТО)	руб/год	100 772,73	75 187,50	104 811,11
Текущего ремонта (ТР)	руб/год	272 931,82	188 050,00	390 728,89
Капитального ремонта (КР)	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 составят, таблица 6.12.

Таблица 6.12– Затраты с учетом коэффициента дисконтирования и уровня инфляции по годам эксплуатации

Год	Производитель 1 ___модель___	Производитель 2 ___модель___	Производитель 3 ___модель___
1	14 703 449,10	16 524 436,26	13 735 922,08
2	13 723 219,16	15 422 807,18	12 820 193,94
3	12 808 337,89	14 394 620,03	11 965 514,35
4	11 954 448,69	13 434 978,69	11 167 813,39
5	11 157 485,45	12 539 313,45	10 423 292,50
6	10 413 653,08	11 703 359,22	9 728 406,33
7	9 719 409,55	10 923 135,27	9 079 845,91
8	9 071 448,91	10 194 926,25	8 474 522,85
9	8 466 685,65	9 515 264,50	7 909 554,66
10	7 902 239,94	8 880 913,54	7 382 251,02
Всего	109 920 377,42	123 533 754,39	102 687 317,04

Стоимость полного жизненного цикла, определяющая результат, представлена в таблице 6.13. Заказчик объявляет победителя конкурсной процедуры (или выявляет наиболее приемлемый вариант ТЭО или проекта).

Таблица 6.13 – Стоимость жизненного цикла по вариантам

Производитель 1 ___модель___	Производитель 2 ___модель___	Производитель 3 ___модель___
126 619 977,42	136 975 904,39	123 534 097,04

Таким образом, победителем процедуры по критерию Стоимость жизненного цикла является Производитель 3 (показательно: с самой высокой ценой на оборудование). Из анализа данных становится понятной причина – это минимальные потребляемые мощности электроэнергии.

6.4 Выводы по главе 6

На основе простых и понятных для организаций водной отрасли обоснований представлены разработанные автором настоящей работы рекомендации к определению стоимости жизненного цикла для разных случаев выбора проектных решений. Данный подход универсален, конкретен и может быть использован как для проведения конкурсных процедур, так и для подготовки технико-экономических обоснований, а также вариантов проектных решений с целью формирования отраслевой (системы водоснабжения и водоотведения) методической базы, для реализации Национального проекта «Экология» и Федерального проекта «Чистая Вода». Показана оценка стоимости жизненного цикла для различных вариантов выбора технологических решений, отражена структура капитальных и эксплуатационных затрат с учетом дисконтирования за выбранный временной период оценки.

Заключение и выводы

Формировании принципов и механизмов обеспечения качества питьевого водоснабжения неразрывно связаны с созданием комфортной среды жизнедеятельности населения нашей страны, а следовательно, с обеспечением устойчивого развития. В данной работе автором рассмотрено влияние условий среды обитания и наличия загрязняющих веществ на качество питьевой воды, а также закономерности процессов взаимодействия загрязняющих веществ в водоемах и в системах водного хозяйства. На основании проведенных исследований предложены, разработаны и внедрены методологические принципы и механизмы обеспечения качества питьевой воды для населения Российской Федерации. Автором показано, что создание безопасной и комфортной среды жизнедеятельности в части обеспечения питьевого водоснабжения должно решаться на основании системного подхода, позволяющего стандартизировать экологические, химические, технологические, гигиенические и экономические требования, включая вопросы контроля и оценки эффективности, предъявляемые к проектированию и эксплуатации соответствующих объектов обеспечения питьевой водой населения Российской Федерации. Техничко-экономическая эффективность и надежность систем водного хозяйства автором рассматривалась посредством предложенных и внедренных механизмов и принципов оценки стоимости жизненного цикла. Основные результаты проведенного исследования представлены ниже.

1. На основании проведенной инвентаризации систем обеспечения населения питьевой водой проведен 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 создания 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 создания 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 ЦСВ 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 централизованных систем водоснабжения. 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. На основании проведенного анализа действующих требований к обеспечению кадрами предприятия водоснабжения при участии автора разработан и внедрен Минтруда России 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 и пр. 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.

Дальнейшие исследования по рассматриваемой в работе проблематике безопасности систем питьевого водоснабжения должны основываться на сформированных в работе методических подходах. При этом, исходя из задач энерго- и ресурсоэффективности следует обратить внимание на включение позиций, связанных с минимизацией углеродного следа для процессов подготовки и транспортировки питьевой воды. Перспективным может быть корректировка предлагаемой методологии оценки стоимости жизненного цикла в целях внесения дополнительного параметра, характеризующего задачи углеродного регулирования. Кроме того, с позиций контроля качества воды, необходимо продолжить работу по формированию принципов риск-ориентированного контроля, включая использование приборов онлайн-контроля, а также рассмотреть возможность дальнейшего совершенствования методологии формирования мероприятий в области обеспечения населения

качественной питьевой водой. Чрезвычайно важным предполагается совершенствование существующих и научно-методологическая поддержка разработки отечественных решений для систем питьевого водоснабжения, на что уже сейчас направлены работы автора диссертационного исследования.

Список использованных источников

1. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений (том 1,2,3):[том 1] - М.: АСВ, 2003. - 228 с.; [том 2] - М.: АСВ, 2004. - 496 с.; [том 3]. - М.: АСВ, 2004. - 256 с
2. Конюшков А.М., Яковлев С.В. Водоснабжение и канализация [Текст] / А.М.Конюшков, С.В.Яковлев. – М. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материала 1960 , 535 с.
3. Фрог Б. Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебн. пособие для вузов. [Текст] / Б.Н.Фрог, А.П. Левченко. М . Издательство МГУ, 1996 г . 680 с ; 178 ил . ISBN 5—274—01420—8.
4. Спеллман Ф.Р. Справочник по очистке природных и сточных вод. Водоснабжение и канализация.[Текст]/ Ф.Р. Спеллман. Перевод с английского под ред. М.И.Алексеева.- СПб.: ЦОП «Профессия», 2014 — 1312 с. ISBN 978—5—9184—053—5
5. Самбурский Г.А., Пестов С.М. Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества / Г. А. Самбурский, С. М. Пестов. — [б. м.] : Издательские решения, 2017. — 184 с. — ISBN 978-5-4483-5369-7
6. Рябчиков Б. Е. Современная водоподготовка[Текст] / Б.Е.Рябчиков. — М.: ДеЛи плюс, 2013.- 680 с.
7. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. С изменением N 1" (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/14) (ред. от 24.05.2018)[Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения 15.06.2021)
8. Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. N 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/(дата обращения 29.06.2021)
9. Справочник перспективных технологий водоподготовки. [Электронный ресурс] URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/spravochnik-vodopodgotovki.pdf> (дата обращения 12.05.2020)Паспорт Национального проекта «Экология» [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/ (дата обращения – 24 августа 2020 г.)

10. Самбурский Г.А. Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения // Наилучшие доступные технологии. 2020. №3.С. 40-52
11. Prüss-Ustün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford, J. M., Cumming, O., Curtis, V. & Cairncross, S. 2014 Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middleincome settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine & International Health* 19 (8), 894–905.
12. МР 2.1.4.0143-19. 2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Методика по оценке повышения качества питьевой воды, подаваемой системами централизованного питьевого водоснабжения. Методические рекомендации" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.03.2019) [Электронный ресурс] URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325256/ (дата обращения – 24 августа 2020 г.)
13. J. Lilje & H.-J. Mosler | Socio-psychological determinants for safe drinking water *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* | 07.1 | 2017 [Электронный ресурс] URL: Downloaded from <https://iwaponline.com/washdev/article-pdf/7/1/13/386126/washdev0070013.pdf> (by guest on 05 December 2021)
14. Cairncross, S., Hunt, C., Boisson, S., Bostoen, K., Curtis, V., Fung, I. C. & Schmidt, W. P. 2010 Water, sanitation and hygiene for the prevention of diarrhoea. *International Journal of Epidemiology* 39 (Suppl. 1), pp. 193–205.
15. Clasen, T. 2015 Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries. *Current Environmental Health Reports* 2 (1), pp. 69–74.
16. WHO Guidelines for Drinking-water Quality (2017) Руководство по обеспечению качества питьевой воды, четвертое издание 628 с. ISBN: 978-92-4-454815-8
17. Luilo, G. B. & Cabaniss, S. E. 2011 Predicting total organic halide formation from drinking water chlorination using quantitative structure-property relationships. *SAR and QSAR in Environmental Research* 22 (7–8), pp.667–680.
18. Smith, E. M., Plewa, M. J., Lindell, C. L., Richardson, S. D. & Mitch, W. A. 2010 Comparison of byproduct formation in waters treated with chlorine and iodine: relevance to point-of-use treatment. *Environmental Science & Technology* 44 (22), pp.8446–8452.

19. Chu, W., Li, D., Gao, N., Templeton, M. R., Tan, C. & Gao, Y. 2015 The control of emerging haloacetamide DBP precursors with UV/persulfate treatment. *Water Research* 72, pp.340–348.
20. Wolf, J., Prüss-Ustün, A., Cumming, O., Bartram, J., Bonjour, S., Cairncross, S., Clasen, T., Colford Jr, J. M., Curtis, V., De France, J., Fewtrell, L., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Jeandron, A., Johnston, R. B., Mäusezahl, D., Mathers, C., Neira, M. & Higgins, J. P. T. 2014 Assessing the impact of drinking water and sanitation on diarrhoeal disease in low- and middle-income settings: systematic review and meta-regression. *Tropical Medicine & International Health* 19 (8), pp. 928–942.
21. Sonogo, I. L. & Mosler, H.-J. 2013 Rapport sur l'Enquête de Référence sur le Comportement lié à l'Eau; Hygiène et Assainissement familial au Burundi. [Baseline report on Water, Hygiene, and Sanitation Practices in Burundi families] Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. Retrieved 23 from: [Электронный ресурс] URL:http://www.eawag.ch/fileadmin/user_upload/tx_userprofiles/upload/sonogoin/burundi_working_paper_2013.pdf. (дата обращения 05 мая 2021)
22. Sonogo, I. L., Huber, A. C. & Mosler, H.-J. 2013 Does the implementation of hardware need software? A longitudinal study on fluoride-removal filter use in Ethiopia. *Environmental Science & Technology* 47 (22), pp 12661–12668.
23. World Bank Group 2015 World Development Report 2015: Mind, Society, and Behavior. World Bank, Washington, DC. Retrieved from: [Электронный ресурс] URL:<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20597>. (дата обращения 05 мая 2021)
24. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора" (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 27.11.1984 N 4013) (ред. от 01.06.1988). [Электронный ресурс] URL:<http://base.garant.ru/3923124/>(дата обращения 29.04.2021)
25. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (вместе с "СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы..." (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 N 62296) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/ (дата обращения 29.04.2021)

26. Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». [Электронный ресурс] URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=340210#04638957234828842>(дата обращения 29.04.2021)
27. 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
28. Sambursky G, Grodzenskiy, S. 2020 Approaches to risk assessment and selection of water treatment technologies to provide consumers with quality drinking water Amazonia Investiga, 9(25), 33-43.
29. Самбурский Г.А., Нефедова Е.Д. Подходы к оценке рисков и выбору технологий водоподготовки для обеспечения потребителей качественной питьевой водой // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 2 (146). С. 48-56.
30. Abraham, C. & Michie, S. A taxonomy of behavior change techniques used in interventions. Health Psychology 2008. 27 (3), pp 379–387.
31. Michie, S., Johnston, M., Francis, J., Hardeman, W. & Eccles, M. From theory to intervention: mapping theoretically derived behavioural determinants to behaviour change techniques. Applied Psychology 2008 57 (4), pp 660–680.
32. Bartholomew, L. K. & Mullen, P. D. Five roles for using theory and evidence in the design and testing of behavior change interventions. Journal of Public Health Dentistry 2012 71, pp 20–33.
33. Rosenstock, I. M. Historical origins of the health belief model. Health Education & Behavior 1974 2 (4), pp 328–335.
34. Floyd, D. L., Prentice-Dunn, S. & Rogers, R. W. A metaanalysis of research on protection motivation theory. Journal of Applied Social Psychology 2000 30 (2), pp 407–429.
35. Fishbein, M. & Ajzen, I. Predicting and Changing Behavior: The Reasoned Action Approach. Psychology Press (Taylor&Francis), New York, NY, USA. 2010 24(1). pp 40–49.
36. Schwarzer, R. Modeling health behavior change: how to predict and modify the adoption and maintenance of health behaviors. Applied Psychology 2008 57 (1), pp 1–29.
37. Mosler, H.-J. A systematic approach to behavior change interventions for the water and sanitation sector in developing countries: a conceptual model, a

- review, and a guideline. *International Journal of Environmental Health Research* 201222 (5), pp 431–449.
38. Brown, J. & Clasen, T. High adherence is necessary to realize health gains from water quality interventions. *PLoS One* 20127 (5), e36735.
 39. Dreibelbis, R., Winch, P. J., Leontsini, E., Hullah, K. R., Ram, P. K., Unicomb, L. & Luby, S. P. The Integrated Behavioural Model for Water, Sanitation, and Hygiene: a systematic review of behavioural models and a framework for designing and evaluating behaviour change interventions in infrastructure-restricted settings. *BMC Public Health* 201313 (1), p 1015.
 40. McLennan, J. D. To boil or not: drinking water for children in a periurban barrio. *Social Science & Medicine* 200051 (8), pp 1211–1220.
 41. Parker Fiebelkorn, A., Person, B., Quick, R. E., Vindigni, S. M., Jhung, M., Bowen, A. & Riley, P. L. Systematic review of behavior change research on point-of-use water treatment interventions in countries categorized as low- to medium development on the human development index. *Social Science & Medicine* 201275 (4), pp 622–633.
 42. Азиатский банк развития, 2018 Data limitations are a major hindrance in conducting further analysis on the impacts of sanitation ADB. [Электронный ресурс] URL: <https://www.adb.org/publications/sanitation-top-development-journals-review> (дата обращения 15 мая 2021)
 43. МБРР / Всемирный банк 2014 worldbank.org/annualreport2014 [Электронный ресурс] URL: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/20093/WB%20Annual%20Report%202014_RU.pdf?sequence=20 (дата обращения 15 мая 2021)
 44. Un Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP) 2021 [Электронный ресурс] URL: <https://www.unescap.org/our-work/social-development/social-protection> (дата обращения 17 мая 2021)
 45. 2019 WaterMarketsReport [Электронный ресурс] URL: <https://www.aither.com.au/2019-water-markets-report/> (дата обращения 17 мая 2021)
 46. Tobias, R. Changing behavior by memory aids: a social psychological model of prospective memory and habit development tested with dynamic field data. *Psychological Review* 2009116 (2), pp 408–438.
 47. Hullah, K. R., Martin, N., Dreibelbis, R., Valliant DeBruicker, J. & Winch, P. What Factors Affect Sustained Adoption of Safe Water, Hygiene and Sanitation Technologies? A Systematic Review of Literature. EPPI-Centre,

Social Science Research Unit, UCL Institute of Education, University College London, London, UK. 2015176 (42), pp 40–68

48. Методические рекомендации по определению технического состояния систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и водоотведения, утвержденным 25 апреля 2012 г. Минрегионом России [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/902351351> (дата обращения 23 мая 2021)
49. Постановление Правительства РФ от 19 апреля 2018 г. N 472 "Об осуществлении мер по реализации государственной политики в сфере оценки эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации" [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/71930110/> (дата обращения 23 мая 2021)
50. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 (ред. от 02.03.2021, с изм. от 27.04.2021) "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов" [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_114247/ (дата обращения 23 мая 2021)
51. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 03.08.2018) "О недрах" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019) [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/ (дата обращения 23 мая 2021)
52. Arnold, B. F. & Colford, J. M. Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 200776 (2), pp 354–364.
53. Bain, R., Cronk, R., Wright, J., Yang, H., Slaymaker, T. & Bartram, J. Fecal contamination of drinking-water in low- and middle-income countries: a systematic review and metaanalysis. *PLoS Medicine* 201411 (5), e1001644.
54. Постановление Правительства РФ от 6 января 2015 г. N 10 "О порядке осуществления производственного контроля качества и безопасности питьевой воды, горячей воды" [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/70836474/> (дата обращения 23 мая 2021)
55. EU Commission Directive 2015/1787 [Электронный ресурс] URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2015.260.01.0006.01.ENG(дата обращения 23 мая 2021)
56. InternationalStandardBSEN 15975-2 [Электронный ресурс] URL: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030292152> (дата обращения 23 мая 2021)
 57. A risk-based approach towards strengthening drinking-water quality surveillance – First draft for comment by the Working Group on Water and Health [Электронный ресурс] URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/11Nov_15-16_10thWGWH/Inf._doc/INF_4_Item07_ENG_draft_Risk_based_surveillance_of_drinking_water_quality.pdf (дата обращения 25 мая 2021)
 58. EUDrinkingWaterDirective [Электронный ресурс] URL: https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html (дата обращения 25 мая 2021)
 59. Clasen, T., Schmidt, W.-P., Rabie, T., Roberts, I. & Cairncross, S. Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea: systematic review and meta-analysis. *BMJ: British Medical Journal* 2007 334 (7597), pp782–791.
 60. Enger, K. S., Nelson, K. L., Rose, J. B. & Eisenberg, J. N. The joint effects of efficacy and compliance: a study of household water treatment effectiveness against childhood diarrhea. *Water Research* 201347 (3), pp1181–1190.
 61. Mintz, E. D., Reiff, F. M. & Tauxe, R. V. Safe water treatment and storage in the home: a practical new strategy to prevent waterborne disease. *JAMA-Journal of the American Medical Association-US Edition* 1995 273 (12), pp 948–953.
 62. Moser, S. & Mosler, H.-J. Differences in influence patterns between groups predicting the adoption of a solar disinfection technology for drinking water in Bolivia. *Social Science & Medicine* 200867 (4), pp 497–504.
 63. T. K. K., Shrestha, R. R., Dangol, B., Maharjan, M. & Murcott, S. E. Design for sustainable development— Household drinking water filter for arsenic and pathogen treatment in Nepal. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 200742 (12), pp 1879–1888.
 64. Rainey, R. C. & Harding, A. K. Acceptability of solar disinfection of drinking water treatment in Kathmandu Valley, Nepal. *International Journal of Environmental Health Research* 200515 (5), pp 361–372.
 65. Wright, J., Gundry, S. & Conroy, R. Household drinking water in developing countries: a systematic review of microbiological contamination between

- source and point-of-use. *Tropical Medicine & International Health* 20049 (1), pp 106–117.
66. Diseases related to contamination of drinking-water constitute a major burden on human health [Электронный ресурс] URL:https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch01.pdf(дата обращения 25 мая 2021)
 67. Howard, G., Charles, K., Pond, K., Brookshaw, Houssain and Bartram, J. Securing 2020 vision for 2030: climate change and ensuring resilience in water and sanitation services. *Journal of Water and Climate Change*, WWDR4, 2012. [Электронный ресурс] URL:<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>(дата обращения 25 мая 2021)
 68. Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Howard, G., et al. (2009) *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking water suppliers*. Geneva: World Health Organisation. [Электронный ресурс] URL:https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/publication_9789241562638/en/ (дата обращения 25 мая 2021)
 69. Fischhoff, B (2011). *Communicating Risks and Benefits: An Evidence-Based User's Guide*. [Электронный ресурс] URL:<http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/RiskCommunication/default.htm> (дата обращения 25 мая 2021)
 70. Howard, G., Calow, R., Macdonald, A. and Bartram J. *Climate Change and Water and Sanitation: Likely Impacts and Emerging Trends for Action*. *Annual Review of Environment and Resources* 2016 41:1, pp253-276
 71. Peng, H., Li, P., Liu, X., and Zou, P. “Composition and design for the dual water supply system based on water quality.” *China Water & Wastewater*, 200218(5), pp65–67.
 72. Song, G., and Chen, G. “Feasibility research of dual water distribution systems.” *China Measure. Technol.*, 20032, pp 61–62.
 73. Xiao, W., Lin, Y., Luo, D., and Xiao, X. “Dissolution effects on different disinfectants to the pipe material in dual water system.” *Water & Wastewater Eng.*, 200430(1), pp 25–28.
 74. 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*. 2019. № 4. С 32-56
 75. ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков [Электронный ресурс]. Режим

- доступа: URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294847/4294847487.htm> (дата обращения 20.03.2021)
76. Пономарева Л.С. Экономический механизм охраны вод от загрязнения (часть 2) Коэффициенты корректировки // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 6. С. 8–12.
 77. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/(дата обращения 20.07.2021)
 78. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/(дата обращения 20.07.2021)
 79. ГОСТ Р 58556- 2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций» [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727107.pdf>(дата обращения 20.07.2021)
 80. ГОСТ Р 58557-2019. Обоснование эколого–экономической целесообразности внедрения водоохраных мероприятий.[Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727106.pdf>(дата обращения 20.07.2021)
 81. ГОСТ Р 58555-2019 экспертно-комбинированный метод регулирования водопользования [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727108.pdf>(дата обращения 20.07.2021)
 82. Моисеенко Т.И. Оценка качества вод и «здоровья» экосистем с позиций экологической парадигмы // Водное хозяйство России. 2017. № 3. С. 104–124.
 83. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды // Европейская комиссия. Объединенный научный центр. Институт по исследованию перспективных технологий. Европейское бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды. Июль 2006. Режим доступа: [Электронный ресурс] URL: http://www.14000.ru/brefs/BREF_ECME.pdf. (дата обращения 20.07.2021)

84. Сечкова Н.А., Оболдина Г.А., Попов А.Н. Использование комплексных критериев качества для оценки экологической безопасности водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России. 2015. № 6. С. 37–53.
85. Pavluk T.I., Abraham bij de Vaate & Heather A. Leslie. Development of an Index of Trophic Completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters // Hydrobiologia 2000 №427: pp135-141. Kluwer Academic Publishers 2000.
86. Касимова Е.М., Оболдина Г.А., Попов А.Н. Совершенствование экономического механизма регулирования водопользования на основе комплексных показателей, используемых при внедрении наилучших доступных технологий // Водное хозяйство России. 2015. № 6. С. 54–66.
87. ГОСТ Р 57075-2016 "Методология и критерии идентификации наилучших доступных технологий водохозяйственной деятельности" [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727108.pdf> (дата обращения 20.07.2021)
88. Единые критерии качества вод. СЭВ. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран – членов СЭВ. Москва : [б. и.], 1982 . 21 с.
89. РД 52.24.309-2016 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293748/4293748080.htm> (дата обращения 20.03.2019).
90. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения [Электронный ресурс] URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294846/4294846957.htm> (дата обращения 12.05.2020)
91. Всемирная организация здравоохранения. Руководство по обеспечению качества питьевой воды, третье издание. Том 1 – Рекомендации [Электронный ресурс] URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/ru/ (дата обращения 12.05.2020)
92. Баженов В.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А., и др. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и

- сооружений для водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 10-19
93. Г.А. Самбурский, В.И. Баженов, В.А. Шкаредо, С.Е. Березин Новый стандарт для организаций водоснабжения и водоотведения // Экология производства. 2020. № 4. С. 72-78
 94. Самбурский Г.А. Лукьянов О.В. Синергетическая концепция организации управления // Интеграл. 2011. №3. С.105-107
 95. 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
 96. Лукьянов О.В., Самбурский Г.А. Оценка использования ресурсов информационной системы // Интеграл. 2011. №4. С.107
 97. Баженов В. И., Березин С. Е., Самбурский Г. А., Шкаредо В. А. ГОСТ Р58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»: возможности применения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020 № 1. С. 56–63.
 98. ГОСТ Р 58785-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения». Москва, Стандартинформ. 2020 [Электронный ресурс] URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200170681> (дата обращения 12.05.2021)
 99. ГОСТ Р 59025-2020 Метод исследования качества поверхностных вод по анализам-маркерам при регламентировании и нормировании антропогенной нагрузки[Электронный ресурс] URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200175596> (дата обращения 22.05.2021)
 - 100.РД 52.24.309—2016 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный ресурс] URL:<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293748/4293748080.htm> (дата обращения 22.05.2021)
 - 101.ФГБУЗ Росприроднадзора [Электронный ресурс] URL: <https://78centr.ru/?team> (дата обращения 12.05.2021)
 - 102.Государственный доклад О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году [Электронный ресурс] URL: https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=14933(дата обращения 12.05.2021)

- 103.Постановление Правительства РФ от 06.01.2015 N 10 "О порядке осуществления производственного контроля качества и безопасности питьевой воды, горячей воды" (вместе с "Правилами осуществления производственного контроля качества и безопасности питьевой воды, горячей воды") [Электронный ресурс] URL: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-06012015-n-10/> (дата обращения 12.05.2020)
- 104.ИТС10-2019«Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» [Электронный ресурс]URL:<https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/its-10-2019.pdf>(дата обращения 12.05.2020)
- 105.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
- 106.ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный Стандарт. «Вода. Общие требования к отбор проб.» [Электронный ресурс] URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293785/4293785467.pdf> (дата обращения 12.05.2020)
- 107.ГОСТ 21.704-2011Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации наружных сетей водоснабжения и водоотведения[Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095705>(дата обращения 22.05.2020)
- 108.ГОСТ 21.1101-2013. Система проектной документации для строительства. Спецификация оборудования, изделий и материалов[Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293774/4293774399.pdf> (дата обращения 12.05.2020)
- 109.Паспорт Национального проекта «Экология» [Электронный ресурс] URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/(дата обращения 12.05.2020)
- 110.Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию" (ред. от 09.04.2021) [Электронный ресурс] URL:" http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/ (дата обращения 12.06.2021)
- 111.Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.04.2021) [Электронный ресурс] URL:

- http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения 12.06.2020)
- 112.ГОСТ Р 59495-2021 «Качество воды. Системы водоснабжения наружные. Требования к графическому отображению основных структурных элементов и технологических связей между ними». [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/572725362>(дата обращения 15.07.2020)
 - 113.Руководство в помощь при реконструкции водопроводных систем» (DVGW, 1997 г. Германия [Электронный ресурс] URL:<http://трубопровод.рф/статьи/все/2013/10/17/эффективность-научного-подхода-при-выборе-критерие/> (дата обращения 15.07.2020)
 - 114.С.В. Храменков, О.Г. ПриминЭффективность научного подхода при выборе критериев планирования восстановления трубопроводов / С.В Храменков, О.Г.Примин, В.А. Орлов Реконструкция трубопроводных систем. М.: АСВ, 2008. 215 с.
 - 115.Руководство по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов». Серия 03. Выпуск 67. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 194 с.
 - 116.Д.Б. Фрог, О.Г. Примин и др. Методика выбора объектов реконструкции и перекладки трубопроводов водоснабжения и водоотведения / Д.Б.Фрог, О.Г.Примин, Москва, 2018, 64 с.
 - 117.P.N. Christensen, G.A. Sparks and K.J. Kosluk. A method-based survey of life cycle costing literature pertinent to infrastructure design and renewal.Can. J. civ. Eng.2005 32: pp250-259
 - 118.Office of Government Commerce. Procurement guide: Whole-life costing and cost management,Office of Government Commerce,London, UK.2003 62: pp 20-29
 - 119.D.H. Ross, Infrastructure Research Needs: A Public Works Perspective, First Annual Conference on Infrastructure Priorities: A National Infrastructure Research Agenda, October 2426, Washington, D.C., USA. 2001.
 - 120.S.K. Durairaj, S.K. Ong, A.Y.C. Nee and R.B.H. Tan. Evaluation of Life Cycle cost analysis Methodologies. Corporate Environment strategy. 2002Vol. 9(1) 30-39
 - 121.J. Woodhouse, 2001. Asset management, Asset Management Processes & Tools, The Woodhouse Partnership Ltd, Newbury, UK.

- 122.R.K. Herz. KANEW software for the Analysis of Infrastructure Rehabilitation Strategies. Technical University of Dresden. 1999. [Электронныйресурс] URL: <http://www.tu-dresden.de/stadtbau/stbwkanewe.html>(дата обращения 12.05.2020)
- 123.L.S. Burn, S.N. Tucker, M. Rahilly, P Davis, R. Jarrett and M. Po. Asset planning for water reticulation systems - the PARMS model.Water Science & Technology: Water Supply,20033(1-2) 5562
- 124.P. Davis, M Moglia, S Gould and S. Burn, Physical Probabilistic Models to Estimate Failure Rates in PVC Pipe Networks,Proceedings, 6th Annual Symposium on Water Distribution Systems Analysis. ASCE/EWRI World Water and Environmental Resources Congress, Salt Lake City, Utah, USA, June 2004.pp 1147 - 1158
- 125.M. Heathcote and D. Nicholas, Life assessment of large cast iron watermains,UWRAA Research Report 1998No 146.251 p
- 126.P. Davis and L.S. Burn, Physical failure models for buried pipelines,Proceedings of Pipeline Assets Planning and Operations at CSIRO Building, Construction & Engineering,2001Ch 5.pp 358-388
- 127.P. Davis, S. Burn, M. Moglia and S. Gould A physical probabilistic model to predict failure rates in buried PVC pipelines.Reliability Engineering &System Safety 92 (9), September 2007, pp 1258-1266.
- 128.S. Burn, P Davis, T Schiller, B Tiganis, G Tjandraatmadja, M Cardy, S Gould and P Sadler, () Long Term Performance of PVC Pipes, Awwa Rf Report 2005(91092F)
- 129.S. MacKellar and D. Pearson.Nationally Agreed Failure Data and Analysis Methodology for Water Mains Volume 1: Overview and Findings. Report Ref. 2003No. 03/RG/05/7, UK Water Industry Research, London, UK.
- 130.B. Rajani. Personal communication. Published in a National Research Council Canada (NRC) Internal Report2001.
- 131.A LambertWhat do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems? IWA Conf. n Systems approach to leakage control and water distribution system management.Brno, Czechoslovakia. 2001ISBN 80-7204-197-5
- 132.Manual of water supply practices: PVC Pipe - Design and Installation, 2nd Ed.American Water Works Association, 2002AWWA M23 ISBN 1-58321-171-3

133. Manual of water supply practices: Ductile Iron Pipe and Fittings, 2nd Ed. American Water Works Association, 2003 AWWA M41 ISBN 1-58321-218-3
134. Manual of water supply practices: PE Pipe - Design and Installation. American Water Works Association, 2006 AWWA M55 ISBN 1-58321-387-2
135. A.O. Lambert and R.D. McKenzie Practical experience in using the Infrastructure Leakage Index. IWA Leakage Management Conference - A practical approach. Cyprus, Nov. 2002. ISBN 9963-8759-0-4
136. R S Means Heavy Construction Cost Data, 17th Annual Edition, Reed Construction Data. 2003
137. Продоус О.А., Самбурский Г.А. и др. Рекомендации по реконструкции металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна / О.А. Продоус, М.Г. Новиков, А.А. Шипилов, Л.Д. Терехов, П.П. Якубчик, В.А. Чесноков С-Петербург: Свое издательство, 2021, 36 с.
138. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. – 10-е изд. – дополненное. // М.: ООО «Издательский Дом «Бастет», 2014. – 382 с.
139. Продоус О.А., Шипилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П. Анализ погрешностей при гидравлическом расчете металлических трубопроводов водоснабжения с использованием справочных пособий Ф.А. Шевелева. // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» 2021, №2. С 50-55.
140. Продоус О.А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб. // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения» 2020. Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2020. – С. 113-117.
141. Дикаревский В.С., Якубчик П.П., Продоус О.А., Смирнов Ю.А. Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб. // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Рациональное использование воды и топливно-энергетических расходов в коммунальном и водном хозяйстве. Алма-Ата, 6-8 августа 1985 г. // М.: КСМ ВСНТО, 1985. – С. 90-92.
142. Продоус О.А. Гидравлическая оценка остаточного срока службы изношенных металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения. // Электронный журнал Сборник докладов 4-ой международной конференции «Водоснабжение и водоотведение

- населенных и промышленных предприятий: эффективные решения и технологии», Москва, 2020. // 8-9.09.2020 в рамках форума ЭкваТэк-2020. [Электронный ресурс] URL: https://www.ecwatech.ru/ru-ru/program/conf2020_watersupply_waterdisp/watersupply_conference_paper_collect_2020.html (дата обращения 16.07.2021)
143. ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200077909> (дата обращения 12.07.2021)
144. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 004/2011 О безопасности низковольтного оборудования [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/902299536> (дата обращения 12.08.2021)
145. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011 Электромагнитная совместимость технических средств [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320551> (дата обращения 12.08.2021)
146. ГОСТ Р 57164-2016 Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности / ГОСТ Р от 17 октября 2016 г. № 57164-2016. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140391> (дата обращения 12.08.2021)
147. Самбурский Г.А., Доканина Ю.В. Есть ли альтернатива неорганическим коагулянтам для питьевого водоснабжения // Вестник МИТХТ. Серия: социально-гуманитарные науки и экология 2015. Том 2. № 3. С.44-51.
148. Самбурский Г.А., Плитман С.И., Тулакин А.В., Амплеева Г.П., Цыплакова Г.В., Кошенков В.Н. О некоторых проблемах реагентной обработки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. №10. С. 7-11.
149. Краснова М.Г., Самбурский Г.А. Анализ технологий, направленных на совершенствование технологического процесса очистки питьевой воды // Инновации и инвестиции. 2018. №6. С. 202-207
150. ГОСТ Р 12966-85. Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019055> (дата обращения 12.05.2020)
151. Самбурский Г.А. Водный коагулянт полиоксихлорид алюминия: стандартизация и контроль качества // Контроль качества продукции. 2019. № 11. С.6-11.

152. Самбурский Г.А. Устинова О.В. Разработка национальных стандартов для нужд водной отрасли на примерах реагента полиоксихлорида алюминия // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды». Москва. 2019. С. 83-88.
153. Самбурский Г.А. Устинова О.В., Леонтьева С.В. Особенности стандартизации химических реагентов для подготовки питьевой воды (на примере коагулянта полиоксихлорида алюминия) // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 1. С. 15-21.
154. G A Sambursky et al 2020 Development of national standards for the needs of the water industry on the examples of the aluminium polyoxychlorideJ. Phys.: Conf. Ser. 1515052017
155. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) [Электронный ресурс] URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/depsanmer/sanmeri/Pages/P2_299.aspx (дата обращения 12.05.2020)
156. ГОСТ Р 58580-2019 «Полиоксихлорид алюминия. Технические условия» [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726764.pdf> (дата обращения 12.05.2020)
157. Технический справочник по обработке воды в 2 т: пер с фр. СПб. : Новый журнал, 2007. 775 с.
158. Eggimann, Sven; Mutzner, Lena; Wani, Omar; Mariane Yvonne, Schneider; Spuhler, Dorothee; Beutler, Philipp; Maurer, Max. "The potential of knowing more – a review of data-driven urban water management". Environmental Science & Technology. 2017, 51 (5), 2538–2553
159. Руководство JCGM 106:2012 Роль неопределенности измерений при оценке соответствия. Перевод НПО «Профессионал», Санкт-Петербург: 2014, 106 с.
160. О.М. Розенталь. Риск-ориентированный контроль качества воды / О.М. Розенталь М.: 2018. – 320 с.
161. Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 N 102-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения 12.05.2021)
162. Формула Байеса: теория [Электронный ресурс] URL: https://function-x.ru/probabilities_bayes.html (дата обращения 12.05.2021)

- 163.ГОСТ Р 58573-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168434> (дата обращения 12.05.2021)
- 164.ГОСТ Р 59514-2021 «Качество воды. Системы автоматического контроля загрязняющих веществ» [Электронный ресурс] URL:<https://files.stroyinf.ru/Data/751/75193.pdf> (дата обращения 12.05.2021)
- 165.ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/437262379>(дата обращения 12.05.2021)
- 166.ГОСТ Р ИСО 5725-6 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029980>(дата обращения 12.05.2021)
- 167.Новиков М.Г., Петров С.В., Петров Д.С., Макаров В.Л., Самбурский Г.А., Турутина А.В Устройство для осветления воды. Патент на полезную модель RU 180108 U1, 04.06.2018. Заявка № 2018105177 от 12.02.2018.
- 168.Методические рекомендации по полиэлектролитам МУ 2.1.4.1060-01Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием синтетических полиэлектролитов в практике питьевого водоснабжения [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029355> (дата обращения 12.05.2021)
- 169.ГОСТ 31861-2012 "Вода. Общие требования к отбору проб" [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения 12.05.2021)
- 170.ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012663>(дата обращения 12.05.2021)
- 171.ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (Переиздание) [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/712/71232.pdf> (дата обращения 12.05.2021)
- 172.ГОСТ Р 8.674-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями

- [Электронный ресурс] URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293810/4293810475.pdf> (дата обращения 12.05.2021)
173. ГОСТ Р 8.678-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Форма оценки соответствия технических систем и устройств с измерительными функциями установленным требованиям [Электронный ресурс] URL:<https://base.garant.ru/70480700/> (дата обращения 12.05.2021)
 - 174.[Электронный ресурс] URL: <https://ru.hach.com/> (Дата обращения: 12.05.2021)
 - 175.«KANEW» (R.K. Herz. KANEW software for the Analysis of Infrastructure Rehabilitation Strategies. Technical University of Dresden.1999 [Электронный ресурс] URL: http://www.tu-dresden.de/stadtbau/stbw_kanew.e.html(дата обращения 12.05.2021)
 - 176.PARMS (L.S. Burn, S.N. Tucker, M. Rahilly, P Davis, R. Jarrett and M. Po. Asset planning for water reticulation systems - the PARMS model. Water Science & Technology: Water Supply, 20033(1-2) 5562.
 - 177.Инновационный подход к ремонту трубопроводов [Электронный ресурс] URL: <http://docplayer.net/17295283-Innovation-and-cost-effective-approach-to-potable-water-pipe-replacement-strategically-focused-on-distribution-system-water-quality-improvement-by.html> (дата обращения 12.05.2021)
 - 178.Самбурский Г.А. Проблемы обеспечения кадрами для водной отрасли // Наилучшие доступные технологии», ISSN 2409-0530 2, 2015, С.56-58
 - 179.Самбурский Г.А. Великая водная держава – свет и тени // Журнал "СТО Строительство Технологии Организация", 05-2017, № 54,С.34-36
 - 180.Самбурский Г.А. Новый взгляд на развитие образования в водной отрасли // ISSN 2409-0530 Наилучшие доступные технологии»2019 № 5С. 23-27
 - 181.Плитман С.И., Тулакин А.В., Амплеева Г.П. К вопросу о надежности гигиенических нормативов Единых требований Таможенного союза / С.И.Плитман и др. // журнал Санитарный врач, 2014, №11, стр.57-60
 - 182.Рябчиков Б.Е., Пантелеев А.А., Ларионов С.Ю., Шилов М.М., Касаточкин А.С.Реактор для реагентного умягчения воды Патент на полезную модель 198959U1, 05.08.2020. Заявка №2019119753от24.06.2019.
 - 183.Чахтина И.А. Проектирование и расчёт очистных сооружений водопровода. Учебное пособие. «Водоснабжение и водоотведение» / И.А.Чахтина Барнаул 2007 г. Изд-во АлтГТУ, 257 с.

- 184.Снигирев С.В., Чуриков Ф.И., Статья: «Применение коагулянтов с добавками синтетических полиэлектролитов в водоснабжении и водоотведении - фактор риска и потенциальной опасности для здоровья населения и природной среды» // Гигиена и Санитария 2014, №5 с. 59-62
- 185.Реестр профессиональных стандартов [Электронный ресурс] URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/> (дата обращения 12.05.2021)
- 186.Об утверждении списка 50 наиболее востребованных на рынке труда новых и перспективных профессий, требующих среднего профессионального образования. Приказ Минтруда от 26.10.2020 №744 [Электронный ресурс] URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru/upload/medialibrary/4bc/744.pdf>(дата обращения 12.05.2021)
- 187.Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: «Крисмас+», 2004. – 248 с.
- 188.Самбурский Г.А. Вопросы применения полимерных труб и арматуры // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение ISSN 2072-2710, №6(30)-2010 с. 42-46
- 189.Самбурский Г.А. Анализ технико-экологических проблем удаления бора из питьевой воды // «Вестник МИТХТ» ISSN 1819-1487 том 6, №4 2011 с. 34-38
- 190.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.
- 191.Самбурский Г.А., Кощеев А.В. Социально-экологические проблемы современного санитарно-эпидемиологического законодательства Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. Серия: социально-гуманитарные науки и экология. 2014 Том 1.Вып.2. С.46-53
- 192.Самбурский Г.А. Применение энергоэффективных технологий для предприятия ВКХ: возможности и проблемы // Инженерные системы ISSN 1609-3851, 2015 №2, С.68-74
- 193.Самбурский Г.А. Проблемы и ожидания предприятий ВКХ при выполнении программ производственного контроля качества питьевой воды и сточных вод. // Сборник тезисов докладов XIX Научно-

- практического семинара «Вопросы аналитического контроля качества вод» 14-18 сентября 2015 г., с.11-15
- 194.Самбурский Г.А., Пестов С.М. Некоторые вопросы применения коагулянтов для питьевого водоснабжения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. ISSN 2072-2710 2016. № 1. С. 49-54
 - 195.Самбурский Г.А.,Плитман С. И., Пестов С. М., Тулакин А. В., Амплеева Г.П.О некоторых проблемах водоподготовки в части реализации закона «О водоснабжении и водоотведении» // Водоснабжение и санитарная техника № 5-2016,с. 4-8
 - 196.Самбурский Г.А. Расчетные затраты времени на проведение основных видов работ в лабораториях водопроводно-канализационного хозяйства / Методические рекомендации Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения, ISBN 978-5-4483-5274-4 Москва, РАВВ, 2016, 84 с.
 - 197.Самбурский Г.А., Пупырев Е.И., Алиев А.И. Дезинвазия осадка: рекомендации предприятиям ВКХ по выполнению требований гигиенического законодательства // Водоснабжение и санитарная техника № 11 -2016 С. 4-6
 - 198.Самбурский Г.А. Некоторые вопросы контроля качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения и сточных вод абонентов. Опыт РАВВ // Сборник тезисов докладов XXI ежегодного научно-практического семинара «Вопросы аналитического контроля качества сточных вод» 02-06 октября 2017 г. Москва с. 7-9.
 - 199.Баженов В.И., Данилович Д.А., Самбурский Г.А., Баженов В.В Цифровой водоканал – миф или реальность // Наилучшие доступные технологии» журнал, ISSN 2409-0530 №6, 2017 С. 38-48
 - 200.Продоус О.А., Шипилов А. А., Самбурский Г.А. Система предварительной оценки направляемых на государственную экспертизу проектов по водоснабжению и водоотведению. // Водоснабжение и санитарная техника № 5 -2018 С. 22-26
 - 201.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.
 - 202.Пупырев Е.И., Самбурский Г.А. Системы водоотведения в природной зоне Байкала //Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 7. С. 4-10
 - 203.Оболдина Г.А., Поздина Е.А., Самбурский Г.А. Стандарты – инструментальный экологического сопровождения регулирования // Водное

- хозяйство России: проблемы. технологии, управление ISSN 1999-4508 №3-2019, С 6-19
204. Самбурский Г.А. Технологические и организационные аспекты реализации программ повышения качества воды для централизованных систем питьевого водоснабжения. // Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации ФС РФ с. 5-11 / Аналитический вестник №13 (727), 2019 г
 205. 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: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. ISBN 978-5-7264-2168-1 с. 134-140
 206. Rufener, S., Mausezahl, D., Mosler, H.-J. & Weingartner, R. Quality of drinking-water at source and point-of-consumption—drinking cup as a high potential recontamination risk: a field study in Bolivia. *Journal of Health, Population, and Nutrition* 201028 (1), 34–41.
 207. Stocker, A. & Mosler, H.-J. Contextual and sociopsychological factors in predicting habitual cleaning of water storage containers in rural Benin. *Water Resources Research* 201551 (4), 2000–2008.
 208. Tamas, A., Meyer, J. & Mosler, H.-J. Predictors of treated and untreated water consumption in rural Bolivia. *Journal of Applied Social Psychology* 201343 (7), 1394–1407.
 209. van Geen, A., Ahsan, H., Horneman, A. H., Dhar, R. K., Zheng, Y., Hussain, I., Ahmed, K. M., Gelman, A., Stute, M., Simpson, H. J., Wallace, S., Small, C., Parvez, F., Slavkovich, V., Loiacono, N. J., Becker, M., Cheng, Z., Momotaj, H., Shahnewaz, M., Seddique, A. A. & Graziano, J. H. Promotion of well-switching to mitigate the current arsenic crisis in Bangladesh. *Bulletin of the World Health Organization* 200280 (9), 732–737.
 210. Wheeler, J. & Agha, S. Use of Certeza point-of-use water treatment product in Mozambique. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 20133 (3), 341–348
 211. Camilla West, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan Why do residential recycled water schemes fail? A comprehensive review of risk factors and impact on objectives *Water Research* 2016102 pp 271 – 281

- 212.Arjen Y. Hoekstra Water Footprint Assessment: Evolvment of a New Research Field Water Resource Manage 2017 31:3061–3081 DOI 10.1007/s11269-017-1618-5
- 213.Boulay A-M, Bulle C, Deschenes L, Margni M (b) LCA characterization of freshwater use on human health and through compensation. In: Towards life cycle Sustainability management. Springer Link,2011 pp 193–204
- 214.UNEP-SETAC, Life Cycle Initiative Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators (2017Vol 1). Edited by: Rolf Frischknecht and Olivier Jolliet. Retrieved from [Электронный ресурс] URL:<http://www.lifecycleinitiative.org/applying-lca/lcia-cf/> (дата обращения 12.05.2021)
- 215.Pfister S, Boulay A-M, Berger M et al Understanding the LCA and ISO water footprint: a response to Hoekstra a critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. Ecol Indic 201772: 352–359
- 216.Boulay A-M et al The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE) Int J Life Cycle Assess 2017DOI 10.1007/s11367-017-1333-8
- 217.Bell S Urban Water Sustainability: Constructing Infrastructure for Cities and Nature 2017pp 1-185
- 218.Edzwald J K Water quality and treatment. A handbook on drinking water. 20116 ed. / ed.: Edzwald J.K. (N.Y.: McGraw-Hill) p 1696
- 219.Rozental O M and Aleksandrovskaia L N Statistical Estimation of the Service Life of Water Treatment Systems. Journal of Water Chemistry and Technology, 2021 vol 3, No. 1, pp 8–13
- 220.Rozental O M and Aleksandrovskaia L N. Assessment of the degree of compliance of water with regulatory requirements. Water Resources, 2018, vol 45, No. 3, pp. 379–387.
- 221.Makaeva V I, Akhmetzyanova G F, Makaeva A R About a cause of fish kill in the water objects of the republic of Tatartstan Veterinary doctor 2012 T6, pp 34-36
- 222.International Standard ISO 39511:2018 “Sequential sampling plans for inspection by variables for percent nonconforming (known standard deviation)” (ISO publ2018-05) [Электронный ресурс] URL: <https://www.iso.org/standard/67139.html> (дата обращения 12.05.2021)
- 223.Рекомендации по стандартизации Р 50.1.040-2002. “Статистические методы. Планирование эксперимента. Термины и определения”

- (утверждены приказом Росстандарта 02.10. 2002 N 362-ст [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030727>(дата обращения 12.05.2021)
224. Mutzner L, Wani O, Mariane Y, Spuhler D, Beutler P and Maurer M The potential of knowing more – a review of data-driven urban water management *Environmental Science & Technology* 2017 51(5), pp 2538–2553
 225. Schaum C and Cornel P Sewage treatment of the future: health, water and resource protection *Osterreichische Wasser - und Abfallwirtschaft*. 2016 T 68 No 3-4 134-45
 226. Wurbs R A and Hoffpauir R J Environmental flow requirements in a water availability modeling system *Sustainability of Water Quality and Ecology* 2017 Vol 9–10, November, pp 9-21
 227. 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. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-42-47>
 228. Баженов В.И., Самбурский Г.А., Фрог Д.Б. Насосные станции. Рекомендации к определению стоимости жизненного цикла // «БСТ – Бюллетень строительной техники» № 6 (1042) 2021
 229. Самбурский Г.А. Природоподобные решения по управлению водными ресурсами в городах на основе замкнутых циклов: обзор зарубежной практики // *Наилучшие доступные технологии» журнал*, 2021 № 4 с. 41-55
 230. Самбурский Г.А., Ткаченко В. С., Черкашин С.В. Проектирование водопроводных сетей: алгоритмизация выбора решений / Г.А. Самбурский, В.С. Ткаченко, С.В. Черкашин // *Наилучшие доступные технологии» журнал*, 2021 № 3 с. 22-29
 231. Самбурский Г.А. Оценка соответствия качества питьевой воды условиям изменения гигиенических нормативов / Г.А. Самбурский // *Контроль качества продукции* 2021. № 5. С. 30-33
 232. O M Rosental and G A Sambursky IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2021 Sci. 848 012125 doi:10.1088/1755-1315/848/1/012125
 233. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Кармазинов Ф.В., Грачев В.А., Нефедова Е.Д. Бенчмаркинг качества питьевой воды / СПб.: Новый журнал, 2010. 432 с.
 234. Кульский Л.А., Накорчевекая В. Ф. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод / Л.А. Кульский, В.Ф. Накорчевекая — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983.—240 с.

235. Дытнерский Ю.И., Каграманов Г.Г. Моделирование процесса фильтрации с помощью керамических мембран: Учебн. пособие / Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева.- М., 2001.- 52 с.
236. Орлов Н.С. Ультра-микрофильтрация: учебное пособие / М.: РХТУ им. Менделеева, 2014. 117 с.
237. Субетто А.И. Квалиметрия человека и образования: генезис, становление, развитие, проблемы и перспективы // Материалы XI симпозиума «Квалиметрия в образовании: методология, методика и практика» – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 97 с.
238. Бойцов В.В., Гличев А.В. Управление качеством продукции / В.В. Бойцов, А.В. Гличев. Издательство стандартов: М - 1985, 464 с.
239. Tarasova N.P. Chemical Education and Sustainable Development in Russia // Chemistry Intern.— 2004 Vol.26, № 4.— P.3—6.
240. В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев, И.Е. Рейф. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев, И.Е. Рейф. ISBN 5-16-001846-8 М.: Инфра-м, 2005.- 224 с.
241. Сметанин В.И. Восстановление и очистка водных объектов / В.И. Сметанин – Москва: КолосС, 2013. - 157 с
242. Львов Д.С. Экономика развития / Д.С. Львов. - М. : Экзамен, 2002. - 511 с., ISBN 5-8212-0396-1
243. Теличенко В.И., Потапов А.Д., Слесарев М.Ю., Щербина Е.В. / В.И. Теличенко Экологическая безопасность строительства: учебник. – М.: Архитектура-С, 2009. – 312 с.
244. Костров, А. В. Основы информационного менеджмента: Учеб. пособие / А. В. Костров. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 2009. – 528 с
245. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [Электронный ресурс] URL: <http://fundmetrology.ru/> (дата обращения 12.05.2021)

Приложения
Приложение А
Справки о внедрении результатов работы



Администрация Городского округа Подольск
 Муниципальное унитарное предприятие

“ВОДОКАНАЛ”

Пионерская ул., д.1-б, Г.о. Подольск, Московская область, 142105. Тел./факс: (4967) 54-11-42, (4967) 57-88-58
 E-mail: mup@vodokanalpodolsk.ru <http://www.vodokanalpodolsk.ru>, ОГРН 1035007201712, ИНН/КПП 5036029468/503601001

22.10.2024 № 4203

На № _____ от _____

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационного исследования
 Самбурского Георгия Александровича**

В ответ на поступивший автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме **«Совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации»** внедрены и используются в практике деятельности МУП «Водоканал» г.Подольск в рамках операционной и инвестиционной деятельности для целей:

1) Методология выбора технологий водоподготовки в рамках проектов модернизации и нового строительства, в том числе при реализации регионального проекта «Чистая вода»

2) Оценки стоимости жизненного цикла сооружений, оборудования, реагентов и материалов на основе методологии, предложенной автором при создании Национального стандарта ГОСТ Р 58785-2020 Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Предложенная Самбурским Г.А. в диссертационной работе методология основана на системном обобщении практического опыта работы предприятий водоснабжения и водоотведения. Предлагаемые автором подходы и решения используются на МУП «Водоканал» г. Подольск и позволяют оптимизировать, алгоритмизировать и развивать мероприятия, связанные с выбором технологических решений и совершенствовать текущую деятельность предприятия.

Директор МУП «Водоканал» г. Подольск

М.М.Семин



**Государственная корпорация -
ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
РЕФОРМИРОВАНИЮ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА**

Шарикоподшипниковская ул., дом 5, г. Москва, 115088
тел.: (495) 651-65-46, факс: (495) 651-65-30
www.fondgkh.ru; e-mail: fond@fondgkh.ru

22.10.2021 г. № ОР-09/200

на № _____

**СПРАВКА
о внедрении результатов диссертационного исследования
Самбурского Георгия Александровича**

В ответ на поступивший автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме «Совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации» внедрены и используются в практике деятельности ГК Фонд содействия реформированию ЖКХ в следующих целях:

1. Формирование и поддержка работы цифрового алгоритма применения «Справочника перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения», в части компетенций ГК Фонд ЖКХ по реализации Федерального проекта «Чистая вода».
2. Оценка ГК Фонд ЖКХ проектов водоснабжения, поступающих в рамках реализации Национального проекта «Экология», в т.ч. установление критериев оценки технических решений для целей выбора технологий водоподготовки при реализации Федерального проекта «Чистая вода»;
3. Формирование ГК Фонд ЖКХ единых требований к сбору информации о состоянии систем и сооружений водоснабжения в РФ в рамках

периодической инвентаризации. Для этих целей используется разработанный при непосредственном участии Самбурского Г.А. национальный стандарт ГОСТ Р 59495-2021 «Качество воды. Системы водоснабжения наружные. Требования к графическому отображению основных структурных элементов и технологических связей между ними».

4. Алгоритмизация ГК Фонд ЖКХ выбора технологий для строительства и/или модернизации систем водоснабжения - линейных объектов, в том числе оценка эффективности выбора технологий строительства и модернизации трубопроводной инфраструктуры процессов водоснабжения в рамках реализации Федерального проекта «Чистая вода»
5. Обоснование экономической эффективности предлагаемых технологических решений при выборе технологий водоподготовки с использованием разработанной Самбурским Г.А. методологией на основе оценки стоимости жизненного цикла, включенной в национальный стандарт ГОСТ Р 58785-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».

Использование результатов диссертационного исследования Самбурского Г.А. работы позволило сформировать единые критерии сбора информации, оптимизировать, алгоритмизировать и развивать мероприятия, связанные с выбором технологических решений и проведения анализов региональных программ «Чистая вода», согласно реализации Национального проекта «Экология» в части компетенций и задач, стоящих перед ГК Фонд содействия реформированию ЖКХ.

Первый заместитель
генерального директора



О.С. Рурин

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И
ВОДООТВЕДЕНИЯ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ"**

ИНН 6726022823 КПП 672201001 215111, Смоленская обл., г. Вязьма, ул. 25 Октября, д. 64
215111, Смоленская обл., г. Вязьма, ул. 25 Октября, д. 64 А тел 8(48131)5-24-64, тел / факс 8(48131)5-44-83

Исх. № 38 от «18» ноября 2021 г.

По месту требования

**СПРАВКА
о внедрении результатов диссертационного исследования
Самбурского Георгия Александровича**

В ответ на поступивший автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме **«Совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы обеспечения качества питьевой воды в Российской Федерации»** внедрены и используются в практике деятельности ООО «Вода Смоленска» в рамках операционной и инвестиционной деятельности для целей:

1) Методология выбора технологий водоподготовки в рамках проектов модернизации и нового строительства, в том числе при реализации регионального проекта «Чистая вода» и оптимизации трубопроводной инфраструктуры.

2) Выбор технологии умягчения воды для проекта модернизации Бознянского водозабора г. Вязьма. Данный водозабор будет обслуживать население г. Вязьма, всего более 50000 человек. При формировании технического задания необходимо было добиться снижения жесткости исходной воды до значений, соответствующих требованиям санитарного законодательства. Проблемой являлся факт отсутствия возможностей отведения промывных вод установок обратного осмоса или ионного обмена.

При выборе решения Самбурским Г.А. была предложена и обоснована технология динамического умягчения воды, проведены опытные испытания на модельной установке. В настоящий момент предложенное решение включено в проект и успешно прошло экспертизу.

Предложенная Самбурским Г.А. в диссертационной работе методология основана на теоретическом и практическом обобщении опыта работы предприятий водоснабжения и водоотведения. Автором предложены подходы и решения, которые используются ООО «Вода Смоленска» в целях энерго- и ресурсосбережения, снижения экологической нагрузки, оптимизации выбора технологических решений и совершенствовании текущей деятельности предприятия.

Генеральный директор



С.Н. Адаева

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОВЕТ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ КВАЛИФИКАЦИЯМ**

**СОВЕТ ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ КВАЛИФИКАЦИЯМ
В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

119049, г. Москва,
ул. Лобачевского 66а, каб. 107
от 26 октября 2021 г. № 04-69/21

Тел./факс: 8 (495) 741-99-03
сайт: спк-жкх.рф E-mail: spk-zhkh@mail.ru

по месту требования

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Самбурского Георгия Александровича**

В ответ на поступивший автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме «Совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации» внедрены и используются в практике деятельности Совета по профессиональным квалификациям в ЖКХ в целях формирования программ независимой оценки квалификации работников, реализуемых согласно Федерального закона № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификации»:

Под руководством и при непосредственном участии Самбурского Г.А. подготовлен профессиональный стандарт "Специалист по водным технологиям водоснабжения и водоотведения (акватроник)". Данный стандарт утвержден Минтруда приказом от 25 мая 2021 года № 340н и внедрен в практику деятельности предприятий жилищно-коммунального хозяйства.

Развитие направление акватроника, методологически обоснованное в целях формирования соответствующих квалификаций работников Самбурским Г.А., позволило создать первый в отрасли ЖКХ «цифровой» профессиональный стандарт. В документе представлены требования к квалификации специалистов и их образованию, необходимые для обеспечения кадровых запросов современного предприятия водоснабжения и водоотведения.

В стандарт интегрированы компетенции специалистов, учитывающие необходимость автоматизации технологических процессов, перехода на цифровые модели управления предприятиями водоснабжения и водоотведения.

Работы Самбурского Г.А. в области формирования профессиональных квалификаций работников водоснабжения и водоотведения, отраженные в диссертационном исследовании автора, внедрены в деятельность Центров оценки квалификаций в Российской Федерации.

Председатель Совета
по профессиональным
квалификациям в жилищно-
коммунальном хозяйстве



А.М. Козлов



**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН)**

Иск. от 24.01.2022 № 072/35

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы Г. А. Самбурского
«Разработка и совершенствование теоретических и методологических
принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в
Российской Федерации»**

Результаты диссертационного исследования Самбурского Георгия Александровича по теме «Разработка и совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации» внедрены и использованы НИИСФ РААСН при выполнении следующих работ:

- 1) Выполнение фундаментальной НИР по теме «Методологические основы проектирования инженерных систем и объектов водоснабжения и водоотведения ЖКХ с оценкой по критерию стоимости жизненного цикла». Работа выполнена в лаборатории № 35 «Технологическая интенсификация объектов водоснабжения и канализации»;
- 2) Пересмотр в 2021 г. СП 31.13330.2012 «СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.».

Материалы диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. используются профильными лабораториями НИИСФ РААСН и, в частности по следующим направлениям:

- экономические расчеты на базе совокупной стоимости владения LCC. Экономическая оценка, учитывающая все соответствующие затраты в течение определенного расчетного периода, включая корректировку временной стоимости денег;
- построение имитационных моделей с учетом СЖЦ (совершенствование имитационных моделей технологического прогноза (гидравлического, технологического) для повышение оперативности принятия решений);
- проектирование и строительство (в части инструмента обоснования выбора конкретных технологий и оборудования).

Директор НИИСФ РААСН

Шубин И. Л.

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAACS)

Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., д.21, тел.: +7 495 482 4076, факс: +7 495 482 4060, niisf@niisf.ru, www.niisf.ru



**РОССТАНДАРТ
ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ ПО
СТАНДАРТИЗАЦИИ
ТК 343 «КАЧЕСТВО ВОДЫ»**

119334, г.Москва, ул. Мосфильмовская, д. 35, стр. 2,
+7 495 055-23-17,
E.mail: tk343@tawww.ru

Исх. № ТК343/ 05-01 от 26.01.2022

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Самбурского Георгия Александровича**

В ответ на поступивший автореферат диссертации Самбурского Г.А. на соискание степени доктора технических наук сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме «Разработка и совершенствование и разработка теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации» внедрены при выполнении Техническим комитетом ТК №343 «Качество воды» Росстандарта программы национальной стандартизации в области экологии и обеспечения единства измерений. Подтверждаем, что работы над указанными ниже стандартами осуществлялись лично и под руководством Самбурского Г.А.

- ГОСТ Р 58556- 2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций» - утвержден и введен в действие 27 сентября 2019 г Приказ 787-ст
- ГОСТ Р 58557-2019 «Обоснование эколого-экономической целесообразности внедрения водоохранных мероприятий» - утвержден и введен в действие 27 сентября 2019 г Приказ 788-ст
- ГОСТ Р 58555-2019 «Экспертно-комбинированный метод регулирования водопользования» - утвержден и введен в действие 27 сентября 2019 г Приказ 786-ст
- ГОСТ Р 58580-2019. «Полиоксихлорид алюминия. Технические условия» - утвержден и введен в действие 09 октября 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 декабря 2019 г. Приказ 1489-ст
- ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» - утвержден и введен в действие 10 сентября 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 сентября 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 апреля 2021 г. Приказ 283-ст
- ГОСТ Р 59748-2021 Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования - утвержден и введен в действие 13 октября 2021 г. Приказ 1137-ст

Ответственный секретарь ТК 343

Устинова О.В.



Объединение производителей, поставщиков и потребителей алюминия

123100, г. Москва, Краснопресненская наб., д.6

Телефон: +7 (495) 663-99-50

www.aluminas.ru, info@aluminas.ru

Исх. № 21-398 от 25.10.2021

**Диссертационный совет Российского
химико-технологического университета
им Д.И. Менделеева**

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационного исследования Самбурского Георгия Александровича

В ответ на поступивший автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук Самбурского Г.А. сообщаем, что результаты диссертационного исследования автора по теме «Совершенствование теоретических и методологических принципов технологической и нормативной базы питьевого водоснабжения в Российской Федерации» внедрены и используются в практике деятельности предприятий, входящих в структуру Ассоциации «Объединение производителей, поставщиков и потребителей алюминия» (Алюминиевая Ассоциация) в следующих целях:

1. Формирование единых требований к качеству продукции для предприятий при производстве реагента для водоснабжения и водоотведения – полиоксихлорида алюминия на основе разработанного под руководством и при непосредственном участии Самбурского Г.А. национального стандарта ГОСТ Р 58580-2019 «Полиоксихлорид алюминия технические условия».
2. Унификация методов и принципов организации входного контроля полиоксихлорида алюминия качества реагентов на предприятиях водоснабжения и водоотведения. Формирование единых требований к входному контролю.

3. Классификация коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия в целях сегментирования рынка данного химического реагента.

4. Инициация работ по межгосударственной стандартизации полиоксихлорида алюминия в рамках программы межгосударственной стандартизации.

Алюминиевая Ассоциация подтверждает внедрение результатов диссертационного исследования Самбурского Г.А. на предприятиях - производителях и благодарит автора за проведенную работу, в рамках которой впервые предложена теоретически обоснованная методология стандартизации для современного реагента водоподготовки – полиоксихлорида алюминия.

Сопредседатель



И.С.Казовская

Приложение Б

Пример исследования качества поверхностных вод по анализам-маркерам при регламентировании и нормировании антропогенной нагрузки

Метод исследования качества поверхностных вод по анализам-маркерам обладает следующими характеристиками и свойствами:

- унифицированность, т.е. применимость для оценки качества вод, состояния водных экосистем, обоснования допустимых сбросов, допустимой антропогенной нагрузки, допустимого воздействия, что обеспечивает формирование как нормативов, так и показателя оценки допустимого воздействия, т.е. алгоритма нормирования с элементами регламентирования антропогенной нагрузки по ПАН^б;

- объективность, т.е. верификация группы расчетных или обоснованных данных, (например, допустимых сбросов) с фактически установленным воздействием по данным мониторинга.

Для повышения объективности регулирования водопользования, обоснования допустимой антропогенной нагрузки от сбросов загрязняющих веществ, обеспечивающей благополучие/неблагополучие водных экосистем, используют фактические данные мониторинга качества воды используемого водного объекта и данные обоснования допустимой антропогенной нагрузки на его участке. Регламентирование и нормирование антропогенной нагрузки, установленной по данным импактного мониторинга, реально сложившейся водохозяйственной ситуации (метод верификации) выполняют по динамике ПАН^б путем исследования качества воды водного объекта по сезонным (см. рисунок 3.4) и среднегодовым данным (см. рисунок 3.4). Контрольные створы обосновывают по [100].

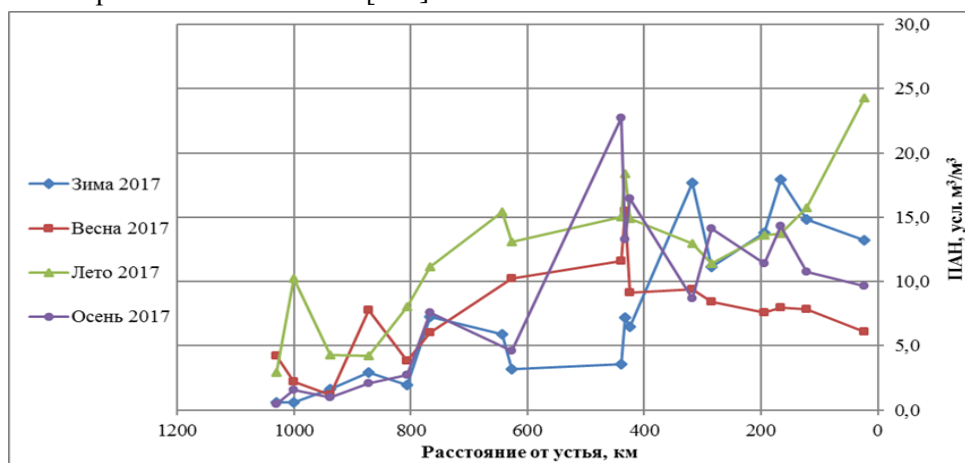


Рисунок 3.4— Анализ внутригодовой изменчивости качества воды реки Туры

Динамика качества вод в исследуемых створах участка водотока по сезонным данным (см. рисунок 3.4) не обеспечивает однозначных выводов об улучшении или ухудшении качества в них, но позволяет оценить и сравнить, в какой период года качество наилучшее и худшее.

Использование среднегодовых данных о качестве вод в исследуемых створах (см. рисунок 3.5) значительно повышает надежность однозначных выводов об улучшении или ухудшении качества в них, позволяет оценить, между какими створами качество улучшается (например, между створами 12–14 после впадения реки Ницы), между которыми ухудшается (например, между створами 5 и 7 после впадения реки Салды), на каких участках соответствует допустимому значению (например, между створами 7 и 10), на каких участках антропогенная нагрузка стабильная (створы 5–10, 12–14), на каких — нестабильная (створы 1–4, 10–12, 14–8). По среднегодовым данным обосновывают ДАН на исследуемом участке водотока для любого

водопользователя. Уплотняют сетку отбора проб в контрольных створах по длине водотока, устанавливают максимум на линии динамики ПАН⁶ в зависимости от расстояния от устья реки. Например, допустимое значение ДАН на участке 7–10 составляет около 7,5 усл. м³/м³. Чем ближе к истоку, тем ДАН меньше. Например, на участке между 2 и 5 створами ДАН определяется значением всего около 4 усл. м³/м³. На участке между створами 10 и 12 ДАН составляет около 12 усл. м³/м³.

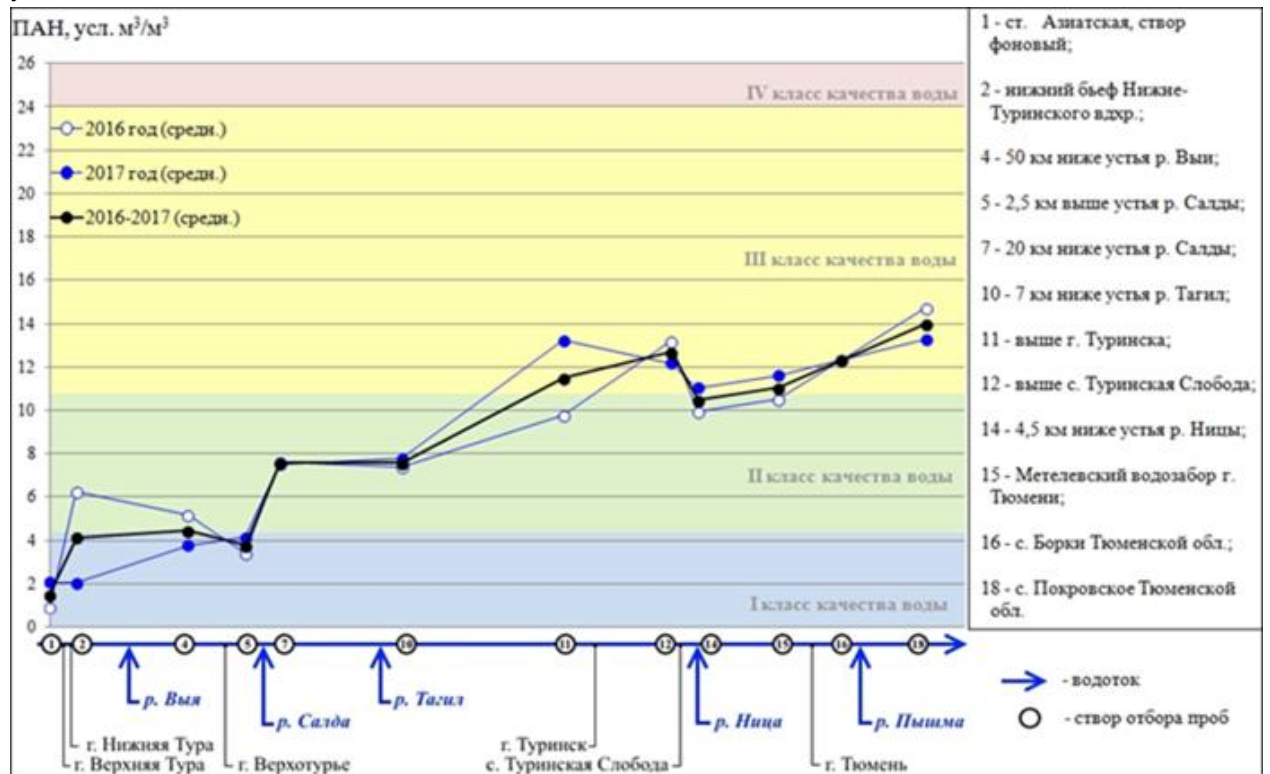


Рисунок 3.5 — Картирование качества реки Туры по среднегодовым ПАН⁶

Преимущества метода регламентирования антропогенной нагрузки по динамике ПАНб:

- классифицируют состояние водного объекта по антропогенной нагрузке;
- обеспечивают выделение участков реки, на которых процессы самоочищения

превышают антропогенную нагрузку, включающую наряду с локальными сбросами и влияние водосборной территории. Сбросы других ОНВ, расположенных на таких участках, где процессы самоочищения превышают антропогенную нагрузку, соответствуют допустимым в соответствии с п. 5.10 ГОСТ Р 58556—2019

При анализе внутригодовой и межгодовой изменчивости ПАНб для водотоков и водоемов обеспечивают выявление региональных ДАН, а также участков с антропогенной нагрузкой, приводящей к деградации водных объектов. Минимальный период мониторинга — год. Более длительный период мониторинга повышает достоверность получаемых выводов, обеспечивает подтверждение стабильности/нестабильности локальной антропогенной нагрузки или обоснование факта о загрязненной водосборной территории.

Приложение В

Описание ряда технологий водоподготовки

Аэрация, напорная и безнапорная.

Аэрация - процесс, целью которого является окисление железа и марганца, а также компенсация дефицита кислорода в исходной воде и освобождение воды от нежелательных или избыточных газов - углекислого газа и сероводорода. Методы аэрации можно классифицировать по способу контакта жидкой и газовой фаз: стекание воды по поверхности, разбрызгивание воды в воздухе и ввод воздуха в жидкость. Различают аэраторы со свободной поверхностью и напорные.

Дегазация, атмосферная и вакуумная.

Основное назначение - удаление кислорода, сероводорода, углекислого газа. В результате повышается уровень pH, снижается агрессивность воды. Для частичного удаления углекислого газа процедура осуществляется с помощью разбрызгивания, барботаж, механического диспергирования. Все системы отдувки являются противоточными. Для более глубокого удаления газов применяются вакуумные дегазаторы.

Микрофильтрация.

Применяется для удаления из поверхностной воды водорослей, планктона на барабанных и дисковых микрофилтрах, оборудованных фильтрующими элементами из тонкой металлической или пластмассовой сетки с размером отверстий 20...60 мкм (микрофилтры) и 0.3...0.5 мм (барабанные сетки).

Химическое окисление: хлор, гипохлорит, озон, перманганат калия.

Возможные области применения основных окислителей: окисление железа и марганца, аммонийного азота, снижение цветности органических соединений.

Ограничения в применении окислителей:

- при применении хлора - образование хлорорганических соединений и появление привкусов;
- при применении озона возможно образование броматов;
- при применении перманганата калия возможно появление окрашивания воды и осадка.

Коагуляция - флокуляция, во флокуляторах с принудительным перемешиванием, сульфатом или оксихлоридами алюминия.

Коагулирование воды - процесс обесцвечивания и осветления природной воды с применением реагентов - коагулянтов, которые при взаимодействии с гидрозолями и растворимыми примесями образуют осадок. Используется для подготовки воды к операциям отстаивания, флотации и фильтрации. Процесс коагулирования проводится в две ступени: смешение реагента с водой и флокуляция. Обычное время флокуляции составляет 12 - 15 минут, однако при температуре воды 1°C оно составит до 18 - 22 минут. В процессе флокуляции примеси образуют флокулы - хлопьевидный осадок, который из-за значительного размера удаляется из воды отстаиванием, флотацией или фильтрованием.

Отстаивание, традиционное и тонкослойное, осветление в слое взвешенного осадка.

Распространенный процесс разделения твердой и жидкой фаз. Выбор метода и параметры зависят от гидравлической крупности частиц, выделяемых из воды. Применяется в случаях значительного содержания взвешенных веществ, превышающего экономически обоснованную грязеемкость механических фильтров.

Флотация.

Флотация представляет собой процесс разделения фаз: жидкость - твердое вещество, применяемый в отношении частиц, плотность которых меньше плотности жидкости. Флотация происходит в присутствии реагентов под действием микропузырьков воздуха, который растворяется в воде под давлением. Удельные нагрузки воды во флотаторах значительно превышают соответствующие нагрузки в отстойниках и осветлителях.

Фильтрация на кварцевом песке или других инертных материалах, одноступенчатая и двухступенчатая.

Фильтрация на кварцевом песке или других инертных материалах может осуществляться в напорном и безнапорном режимах, и представляет из себя процесс разделения жидкости и взвешенных веществ при прохождении через пористую среду, теоретически задерживающую все частицы взвешенных веществ и пропускающую жидкую фазу фильтрации. Основным технологическим параметром процесса фильтрации является грязеемкость фильтра между циклами регенерации. В технологической линии двойной фильтрации применяются две последовательные ступени. На первой ступени используется песок с повышенным эффективным размером частиц, и в нем происходит грубая фильтрация. На второй ступени - фильтрация с однослойной тонкой (песок) или двухслойной загрузкой.

Фильтрация на ультрафильтрационных мембранах, вакуумная и напорная.

Мембранная ультрафильтрация пропускает воду и растворенные в ней соли, задерживает взвешенные вещества, коллоиды, крупные растворенные формы (макромолекулы) и специфические загрязнения, такие как бактерии, вирусы. Размер пор ультрафильтрационных мембран составляет 0,01 - 0,05 мкм. Напорная ультрафильтрационная мембрана имеет более высокие скорости фильтрации в сравнении с вакуумной. В отличие от фильтрации на кварцевом песке или других инертных материалах, ультрафильтрационные мембраны не имеют ограничений по грязеемкости. Обеззараживающий фактор ультрафильтрационных мембран выше, чем у ультрафиолетового облучения.

Доочистка активированным углем.

Рационально использовать на завершающей стадии очистки воды для удаления запахов, привкусов и хлорорганических соединений при обеспечении нормативного качества воды по показателям железа, марганец, цветность, окисляемость на предшествующих стадиях очистки. Срок службы активированного угля имеет существенные ограничения при применении предварительного хлорирования.

Обеззараживание хлорсодержащими реагентами.

Необходимость и режимы обеззараживания воды при подаче в водопроводную сеть устанавливается органами Роспотребнадзора и обеспечивается с применением жидкого хлора или гипохлорита натрия. Применение жидкого хлора связано с высокими требованиями к безопасности его хранения и транспортировки. В этой связи предпочтение часто отдают альтернативной технологии обеззараживания с использованием гипохлорита натрия. В водопроводных сетях значительной протяженности интерес представляет применение технологии хлораммонизации. Корректировка активной реакции рН воды, подаваемой в сеть.

Процедура корректировки водородного показателя рН воды, подаваемой в сеть, заключается в корректировке кальций - углеродного равновесия, для защиты сооружений и сети от коррозии или от образования солевых отложений, а также для защиты здоровья потребителей. Основным реагентом корректировки рН воды является известь.

Приложение Г

Иллюстрация опытной установки на предприятии ООО Вода Смоленкса



Приложение Д

Расчет доз реагентов в ручном режиме

Определить необходимые дозы реагентов для очистки воды с основными показателями: максимальная мутность 450 г/м^3 ; минимальная мутность 30 г/м^3 ; цветность 60 град; содержание иона $\text{Ca}^{2+} - 1,05 \text{ г-экв/м}^3$; $\text{Mg}^{2+} - 0,8 \text{ г-экв/м}^3$; $\text{CO}_3^{2-} - 1,3 \text{ г-экв/м}^3$. В качестве коагулянта выбираем сульфат алюминия – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Предварительно дозу коагулянта определяем по формуле: $D_k = 4 \cdot \sqrt{Ц} = 4 \cdot \sqrt{60} = 30,98 \text{ г/м}^3$. В соответствии с максимальной мутностью $M = 450 \text{ г/м}^3$ по таблице 20 определяем дозу коагулянта $D_k = 45 - 50 \text{ г/м}^3$. Для дальнейших расчётов принимаем наибольшую дозу: $D_k = 45 \text{ г/м}^3$.

В качестве подщелачивающего реагента выбираем известь CaO . Дозу подщелачивающего реагента определяем по формуле:

$$D_{щ} = K_{щ} \cdot \left(\frac{D_k}{e_k} - Щ_0 + 1 \right),$$

$$D_{щ} = 28 \cdot ((45/57) - 1,3 + 1) = 13,70 \text{ г/м}^3,$$

где $K_{щ}$ – коэффициент, для извести (по CaO) $K_{щ} = 28$;

e_k – эквивалентная масса безводного коагулянта, для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 e_k = 57 \text{ г/г-экв}$;

$Щ_0 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 1,05 + 0,8 = 1,85 \text{ г-экв/м}^3$;

$Щ_0 = \text{CO}_3^{2-} = 1,3 \text{ г-экв/м}^3$; из двух значений для расчётов выбираем наименьшую щелочность $Щ_0 = 1,3 \text{ г-экв/м}^3$.

Щелочной реагент вводится перед введением коагулянта. Для интенсификации процесса коагуляции применяем флокулянт. В качестве флокулянта принимаем полиакриламид. В соответствии с таблицей 21 и исходя из показателей воды: $M = 450 \text{ г/м}^3$, $Ц = 60$ град, принимаем дозу ПАА (безводного) $0,5 \text{ г/м}^3$. Флокулянт после смесителя, с разрывом во времени после ввода коагулянта $2 - 3$ минуты. Для предварительного обеззараживания и улучшения хода коагуляции и обесцвечивания, а также улучшения санитарного состояния сооружений принимаем дозу хлора для первичного хлорирования $D_{\text{Cl}_2}^1 = 5 \text{ г/м}^3$. Реагент вводится за $1 - 3$ минуты до ввода коагулянта. Для обеззараживания (вторичное хлорирование) принимаем $D_{\text{Cl}_2}^2 = 2 \text{ г/м}^3$. Реагент вводится перед РЧВ (*резервуар чистой воды*). Содержание взвешенных веществ в воде после добавления реагентов определяем по формуле:

$$C_{\epsilon} = M + K_k \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + B_{щ},$$

При этом количество нерастворимых веществ, вводимых с известью, рассчитываем по формуле:

$$B_{щ} = \frac{D_{щ}}{K_{щ}} - D_{щ},$$

$B_{щ} = (13,7/0,7) - 13,7 = 5,87 \text{ г/м}^3$, где $K_{щ}$ – долевое содержание CaO в извести, $K_{щ} = 0,7$.

Тогда для максимальной мутности $M = 450 \text{ г/м}^3$:

$$C_{\epsilon} = 450 + 0,5 \cdot 45 + 0,25 \cdot 60 + 5,87 = 493,37 \text{ г/м}^3,$$

где K_k – коэффициент, учитывающий количество нерастворимых веществ, вносимых коагулянтом и образующихся при его гидролизе, принимаем для очищенного сернокислого алюминия $K_k = 0,5$;

для минимальной мутности $M = 30 \text{ г/м}^3$:

$$C_{\epsilon} = M + K_k \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + B_{щ},$$

$$C_{\epsilon} = 30 + 0,5 \cdot 45 + 0,25 \cdot 60 + 5,87 = 73,37 \text{ г/м}^3. [183]$$

Нами для оптимизации процесса оценки качеств воды с позиций дозирования коагулянта и экономических показателей процесса поставлен многофакторный эксперимент. На основании выполненных экспертных оценок математическая модель, характеризующая процесс дозирования коагулянта, должна иметь следующий вид:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1 x_2 + a_5 x_1 x_3 + a_6 x_2 x_3 + a_7 x_1^2 + a_8 x_2^2 + a_9 x_3^2; (B0)$$

Таким образом, при изучении процесса установлено, что на дальность полета влияют три основных фактора:

x_1 – мутность исходной воды (единицы мутности NTU);

x_2 – частота определений исследования мутности (количество исследований в сутки);

x_3 – расчетное дозирование реагента по показателю мутность

В качестве отклика модели исследования рассматривается экономия при дозировании коагулянта г/м^3 .

С учетом того факта, что расчет реагентов проводится предприятием ВКХ, исходя из опытно-промышленных испытаний по сезонам года в условиях изменяющегося качества воды, а минимальная частота определения качества воды водного источника - четыре определения в год, по сезонам, как правило, устанавливаются фиксированные уровни дозирования реагентов, привязанные к усредненным значениям показателей мутности и цветности. Увеличение частоты определения показателя мутности повышает надежность определения уровня дозирования реагентов и дает возможность моделировать процесс с реализацией в фактически саморегулируемом автоматическом режиме. Однако такая возможность присутствует далеко не всегда и нами построены зависимости, характеризующие определение уровней дозирования реагентов от параметров мутности. Производительность рассматриваемой станции – 10000 куб.м в сутки. Цена реагента – 14 руб/кг. Уровень расчетного дозирования – $0.014 \cdot 10000 \cdot 45 = 6300$ руб/сутки

Таблица В1. Доза коагулянта в зависимости от мутности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м3	Доза коагулянта, г/м3	Мутность воды, г/м3	Доза коагулянта, г/м3
Менее 100	25-35	600-800	50-60
100-200	30-40	800-1000	60-70
200-400	35-45	1000-1500	70-80
400-600	45-50		

В таблице В2 приведены условия функционирования факторов.

Таблица В3. Условия функционирования факторов

Кодовое обозначение факторов	x_1 , г/м3	x_2 , ед. в месяц	x_3 , г/м3
– Основной уровень ($x = 0$)	450	61	45
Интервал варьирования (Δx_i)	150	60	10
Нижний уровень ($x_i = -1$)	300	1	35
Верхний уровень ($x_i = +1$)	600	121	55

Областью возможных значений варьируемых переменных факторов является гиперкуб, т.е. в нормируемом (приведенном) масштабе изменение переменных выполняются условия:

$$-1 \leq x \leq 1 \quad (в1)$$

В этом выражении предельные (максимальные и минимальные) значения варьируемых факторов обозначены 1 и -1.

Переход к обычному масштабу может быть осуществлен по известным формулам (в2), (в3), (в4):

$$a_i x_i = \frac{a_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{a_i}{\varepsilon_i} X_{0i} \quad (в2)$$

$$a_{ij} x_i x_j = \frac{a_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_{0i} X_j + X_{0i} X_{0j}) \quad (в3)$$

$$a_{ii} x_i^2 = \frac{a_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2 X_i X_{0i} + X_{0i}^2), \quad (в4)$$

где X_i, X_j - именованная величина в размерности фактора;

X_{0i}, X_{0j} - натуральное значение фактора при нулевом уровне;

$\varepsilon_i, \varepsilon_j$ - натуральное значение интервала варьирования фактора.

Требуется экспериментальным путем найти описание зависимости дозирования коагулянта от перечисленных факторов. Для описания процесса надо использовать полную квадратичную модель. В виду того, что варьируемые переменные могут принимать только целочисленные значения и в план эксперимента включены центральные точки с координатами $x = 0$, определяемые по формуле (в2). Базируясь на этих соображениях, был спланирован и реализован эксперимент, план которого представлен в таблице В4. Необходимо отметить, что столбцы матрицы планирования, соответствующие членам, которые отражают взаимодействие факторов, равно как и квадратичные эффекты, образованные поэлементными произведениями столбцов ядра плана, т.е. столбцов, соответствующих линейным членам.

Таблица В4. Матрица планирования

Планирование				Расчет					
	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0

1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Модель изучаемого процесса запишем в виде

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1^2 + a_8x_2^2 + a_9x_3^2 \quad (B5)$$

Чтобы иметь возможность оценить значимость коэффициентов и адекватность модели эксперимент проводился с трехкратной повторностью. Результаты полученных опытов представлены в таблице B5.

Таблица B5 Выходные значения экспериментальных данных дозирования коагулянта

№ опыта	Переменные факторы			Опытные данные			Среднее значение
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$
1	-1	-1	-1	11,34	10,8164	11,2068	11,121
2	1	-1	-1	8,03	7,6827	7,4765	7,730
3	-1	1	-1	24,0675	23,9037	21,04	23,004
4	1	1	-1	17,8648	18,8676	17,4956	18,076
5	-1	-1	1	8,116	9,47	8,9869	8,858
6	1	-1	1	5,206	6,3472	5,9312	5,828
7	-1	1	1	17,4763	17,05	17,7	17,409
8	1	1	1	14,3752	14,6075	13,3536	14,112
9	1,22	0	0	12,1199	10,8604	11,5498	11,510
10	1,22	0	0	10,438	9,6604	9,9355	10,011
11	0	1,22	0	7,1212	7,1332	8,0066	7,420
12	0	1,22	0	20,754	19,4222	19,26	19,812
13	0	0	-1,22	14,9051	12,9436	13,2876	13,712
14	0	0	-1,22	10,9516	11,35	10,3612	10,888
15	0	0	0	12,2041	10,4786	11,706	11,463

Последний столбец приведенной таблицы содержит осредненные значения по трем повторениям.

Для обработки многофакторного эксперимента используем программу реализации математической обработки многофакторного эксперимента с применением компьютерной техники. На основании результатов исследований и в соответствии с принятой матрицей планирования получены следующие значения коэффициентов уравнения регрессии выбранной модели:

$$a_0 = 6\,474,1111$$

$$a_2 = -134,3333$$

$$a_4 = 0$$

$$a_6 = 61,3333$$

$$a_8 = 43,7778$$

$$a_1 = 1\,409,0000;$$

$$a_3 = 0$$

$$a_5 = 0$$

$$a_7 = -141,2222$$

$$a_9 = -46,7222$$

В таблице приведены результаты проверки полученной математической модели (B5):

$$Y = 6\,474,1 - 1\,409 \cdot x_1 - 134,3 \cdot x_2 + 61,3 \cdot x_2 \cdot x_3 - 141,2 \cdot x_1^2 + 43,78 \cdot x_2^2 - 46,72 \cdot x_3^2.$$

Проверка показала, что гипотеза об адекватности математической модели не отвергается, так как расчетное значение критерия Фишера меньше табличного (см. таб.).

Исходные данные															
		X1		X2		X3									
Основной уровень		450		61		45,000									
Интервал варьир.		150		60		10,000									
Нижний уровень		300		1		35,000									
Верхний уровень		600		121		55,000									
Уров.значим.(AL)		0,05													
К-во факторов (N)		3													
К-во опытов (Nc)		15													
К-во опр.коэф.(dc)		10													
К-во повт.опыт.(m)		3													
К-во степ.своб.(FI)		30													
Матрица планирования (F)															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
		X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1^2	X2^2	X3^2					
1	1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0					
2	1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0					
3	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0					
4	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0					
5	1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1					
6	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1					
7	1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1					
8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1					
9	1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1					
10	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1					
11	1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1					
12	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1					
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Xсонт	1	4,98859	0,54040	0,70939	2,69582	3,53886	0,38335	24,88605	0,29203	0,50324					
Транспонированная матрица (F')															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	X1	-														
2	X2	1	-1	1	1	0	0	0	0	-1	1	-1	1	0	0	0
3	X3	0	0	0	0	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0	0	0
4	X1*X2	1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	X1*X3	0	0	0	0	1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	X2*X3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	1	0	0	0
7	X1^2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	X2^2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
9	X3^2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Произведение F' * F

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	15	0	0	0	0	0	0	8	8	8
1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
7	8	0	0	0	0	0	0	8	4	4
8	8	0	0	0	0	0	0	4	8	4
9	8	0	0	0	0	0	0	4	4	8

Обратная матрица (C)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,3333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1667	0,1667	0,1667
1	0,0000	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000
7	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2708	0,0208	0,0208

		0,1667															
	8	-															
	8	0,1667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0208	0,2708	0,0208						
	9	-															
	9	0,1667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0208	0,0208	0,2708						
Проверка обращения (С)																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
1		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0						
2		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
3		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0						
4		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0						
5		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0						
6		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0						
7		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0						
8		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0						
9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1						
Вывод об однор.дисперсий:			Матрица-множитель (CF')														
Однороды			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3333	0,3333	0,3333
		1	-0,1250	0,1250	-0,1250	0,1250	-0,1250	0,1250	-0,1250	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		2	-0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000
		3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000
		4	0,2500	-0,2500	-0,2500	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	-0,2500	-0,2500	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Гипотеза об адекв.модели:		6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	-0,2500	0,2500	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000
Не отвергается		7	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,1667	0,1667	0,1667
		8	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	-0,1250	-0,1250	-0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1667	0,1667	0,1667
		9	-0,1250	-0,1250	-0,1250	-0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1667	0,1667	0,1667
Экспериментальные данные																	

	Y1	Y2	Y3	Ycp	S2Yj	YXопт	DY	DY^2
1	4 900,0	5 100,0	5 010,0	5 003,333	10 033,333	5102	-98,667	9 735,11
2	7 700,0	8 200,0	7 810,0	7 903,333	69 033,333	7920	-16,667	277,78
3	4 900,0	4 900,0	4 900,0	4 900,000	0,000	4833,333	66,667	4 444,44
4	7 700,0	7 700,0	7 700,0	7 700,000	0,000	7651,333	48,667	2 368,44
5	4 800,0	4 900,0	4 950,0	4 883,333	5 833,333	4877,167	6,167	38,03
6	7 780,0	7 650,0	7 700,0	7 710,000	4 300,000	7695,167	14,833	220,03
7	4 909,0	4 900,0	4 900,0	4 903,000	27,000	4877,167	25,833	667,36
8	7 700,0	7 640,0	7 605,0	7 648,333	2 308,333	7695,167	-46,833	2 193,36
9	6 330,0	7 000,0	6 980,0	6 770,000	145 300,000	6666,833	103,167	10 643,36
10	6 300,0	6 290,0	6 200,0	6 263,333	3 033,333	6275,5	-12,167	148,03
11	6 599,0	6 490,0	6 580,0	6 556,333	3 390,333	6544,167	12,167	148,03
12	6 270,0	6 310,0	6 305,0	6 295,000	475,000	6398,167	-103,167	10 643,36
13	6 410,0	6 390,0	6 520,0	6 440,000	4 900,000	6474,111	-34,111	1 163,57
14	6 380,0	6 700,0	6 400,0	6 493,333	32 133,333	6474,111	19,222	369,49
15	6 510,0	6 337,0	6 620,0	6 489,000	20 353,000	6474,111	14,889	221,68

Искомые коэффициен-
ты регрессии

					301
		Расчетн.	Значимые	Сумма построчных дисперсий	120,333
0		6 474,1111	6 474,1111	Расч.крит.Кохрена (Gэ)	0,4825
1	X1	1 409,0000	1 409,0000	Крит.Кохрена (AL;m-1,Nc) табл.	0,3346
					20
2	X2	-134,3333	-134,3333	Дисперсия воспроизвод.(S2y)	074,6889
3	X3	-28,0000	0,0000	Дисперсия среднего (S2y_ср)	6 691,5630
4	X1*X2	-25,0000	0,0000	Дисперсия коэф-тов регрессии	446,1042
5	X1*X3	-20,3333	0,0000	Крит.Стьюдента (AL;FI) табл.	2,0423
6	X2*X3	61,3333	61,3333	Доверительный интервал (Daj)	43,1352
7	X1^2	-141,2222	-141,2222	Дисперс.адекватности (S2ag)	8 656,4148
8	X2^2	43,7778	43,7778	Расч.крит.Фишера (F_кр)	0,4312
9	X3^2	-46,7222	-46,7222	Крит.Фиш.(AL;Nc-dc,FI) табл.	2,5336
	Оптимальные значения X			Урез	
	Хкодир	4,9886	0,5404	0,7094	9928,765
	Хнатур	1 198,2887	93,4238	52,0939	