

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Скибо Денис Владимирович

**Разработка и исследование методов временного и структурного
резервирования систем водоотведения**

2.1.4 – Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Чупин Роман Викторович

Иркутск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ.....	12
1.1 Характеристика существующих систем водоотведения, тенденции их развития и централизации	12
1.2 Оценка надёжности существующих систем водоотведения	19
1.3 Анализ применения аварийных резервуаров на сетях и	28
сооружениях централизованных систем водоотведения	28
1.4 Задачи и пути повышения надёжности систем водоотведения на основе устройства аварийно-регулирующих резервуаров, аккумулирующей способности сети и методов структурного резервирования	35
Выводы по главе 1	42
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВРЕМЕННОГО И СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ	44
2.1 Оценка экономической эффективности применения методов временного и структурного резервирования централизованных систем водоотведения.....	44
2.2 Оценка эффективности методов временного и структурного резервирования систем водоотведения в условиях вариативности подходов и особенности их реализации.....	56
2.3 Разработка методики вычисления объёмов аккумулирующей способности новых и эксплуатируемых самотечных коллекторов.....	59
Выводы по главе 2.....	76
ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ	77
3.1. Содержательная и математическая постановка задачи повышения надёжности централизованных систем водоотведения.....	77
3.2 Развитие методики декомпозиции и эквивалентирования системы водоотведения для оценки её надёжности функционирования	81
3.3 Применение методики оценки и повышения надёжности систем водоотведения при их развитии и реконструкции	85
Выводы по главе 3.....	93
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АВАРИЙНО-РЕГУЛИРУЮЩЕГО РЕЗЕРВУАРА	95
4.1 Разработка новой конструкции аварийно-регулирующего резервуара на основе системы гидросмыва осадка и методика расчёта балластной камеры	95

4.2 Конструктивное решение по внедрению аварийно-регулирующего резервуара в действующую канализационную насосную станцию	112
4.3 Разработка методики расчёта системы гидросмыва осадка аварийно-регулирующего резервуара	128
4.4 Автоматизация рабочих процессов аварийно-регулирующего резервуара и алгоритм расчёта полезного объёма горизонтальных накопителей	145
Выводы по главе 4.....	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	153
СПИСОК ПАТЕНТОВ	167
СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ	173

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Комплексные системы централизованного водоотведения (ЦСВ) относятся к наиболее важным сооружениям жизненно необходимой инфраструктуры городов и поселений. Надёжность и работоспособность данных сооружений во многом определяет благополучие и здоровье населения, а также экологическую безопасность селитебных территорий. В тоже время надёжность и эффективность работы ЦСВ напрямую зависит от бесперебойности работы транспортирующих сооружений, включая самотечные и напорные трубопроводы, канализационные насосные станции. Однако современное ЦСВ большинства городов и поселений России нельзя признать отвечающим современным требованиям, так как они имеют низкую надёжность по причине высокого износа трубопроводов (более 60%), массового использования напорных трубопроводах из низкоуглеродистой стали без защиты от коррозии, несоблюдения технологии производства работ по укладке и монтажу, невыполнения требуемых проектных гидравлических параметров скоростного режима и наполнения в трубопроводах и коллекторах и по ряду других причин. Как следствие, наблюдается значительная аварийность на канализационных сетях и сооружениях, нередко сопровождающаяся изливом неочищенных стоков на рельеф земли, что приводит к значительным экологическим ущербам.

В современных нормативах и правилах указано, что при проектировании канализации промышленных площадок и селитебных территорий, расположенных в районах повышенной сейсмичности, рекомендовано принятие дополнительных мер, исключающих излив стоков на в окружающую среду и загрязнение водных источников. В районах сейсмической активности нашей страны проживает порядка 40 млн. чел. Поэтому разработка мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды неочищенными сточными водами является социально важной и экономически целесообразной. К этим мероприятием относятся различные методы резервирования: строительство аварийно-регулирующих резервуаров (АРР) для канализационных насосных станций и в сети; использование в качестве аккумулирующей ёмкости свободное пространство самотечных коллекторов и

канализационных колодцев; строительство резервных напорных линий и самотечных участков трубопроводов и камер переключений; реализация схем развития с разгрузочными трубопроводами постоянного и периодического действия; в индивидуальных случаях внедрение закольцовывающих структур из напорных и безнапорных линий трубопроводов. Очевидно, требуется обосновать оптимальный выбор и эффективность применения каждого из перечисленных мероприятий и определять их общий синергетический эффект. Возникает научная задача исследования и повышения надёжности функционирования централизованных систем водоотведения с разработкой эффективных методов их резервирования, совершенствование конструкции АРР, предотвращающих сброс сточной воды, не прошедшей очистку, в окружающую среду.

Степень разработанности темы исследования.

Вопросам повышения надёжности ЦСВ уделялось и уделяется большое внимание. Значимый вклад в это направление внесли такие известные учёные, как С.В. Яковлев, О.Г. Примин, В.А. Орлов, М.И. Алексеев, В. И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков, П.В. Сафонов, М.Д. Пробирский, Е.С. Гальперин, Н.Н. Новицкий, Р.В., Чупин, Е.С. Гогина, В.С. Игнатчик, С.Ю. Игнатчик, Ю.А. Ермолин, Ф.В. Кармазинов, В.П. Саломеев, И.В. Николенко и др. Разработаны теоретические основы транспортирования сточных вод, исследована вероятностная природа возникновения и развития аварийных ситуаций, предложены методы резервирования трубопроводов и сооружений. Например, в работах профессора В. И. Калицуна в 80–90 годах прошлого столетия исследованы условия работы аварийно-регулирующего резервуара. В 1996 году силами МГП «Мосводоканал» и ГУП «МосводоканалНИИпроект» был реализован первый аварийно-регулирующий резервуар, основы создания которого были положены в 90-е гг. прошлого века в период возрастающего водопотребления в г. Москве и, следовательно, увеличения объёмов загрязнённых вод. Для пропуска увеличенного расхода на тот период требовалось внедрение новых сооружений: напорных трубопроводов, самотечных коллекторов и т.д. Создание АРР в тех условиях роста водопотребления позволило

минимизировать суточные колебания графика притока сточных вод и снизить материальные затраты на строительство новых сооружений.

Возведение таких сооружений в черте сформированной городской застройки не всегда осуществимо по причине больших габаритных размеров, а также из-за последующих несоизмеримых затрат на восстановление, благоустройство и вынос близлежащих инженерных сетей. Каждая застроенная территория имеет свои специфические особенности (рельеф местности, плотность застройки, грунтовые условия и др.), которые могут оказывать значительное влияние на выбор мероприятия по предотвращению попадания неочищенных сточных вод на рельеф земли. При этом важно отметить, что в условиях современных тенденций объём водопотребления снижается, а следовательно, снижается объём перекачиваемых стоков и регулирующая роль АРР снизилась.

Очевидно, с учётом этих факторов требуется определить границы и условия применения того или иного мероприятия, включая устройство АРР на самотечных коллекторах и при существующих и новых КНС.

Таким образом, возникает актуальность проведения исследований, направленных на обоснование методов оптимального резервирования ЦСВ как средства повышения экономической и экологической эффективности мероприятий, ориентированных на предотвращение попадания неочищенных сточных вод на поверхность и совершенствование конструкции АРР, легко возводимой и встраиваемой в существующие КНС и сооружаемые на сети водоотведения. Решение этой научной и практической проблемы является важной общегосударственной и социальной задачей сохранения природы и благоприятных условий обитания человека.

Объект исследования. Системы: самотечные трубопроводы - канализационные насосные станции - напорные трубопроводы и аварийно-регулирующие резервуары.

Предмет исследования. Технико-экономическая и экологическая целесообразность устройства АРР и разработка методических основ применения временного и структурного резервирования для обеспечения и повышения надёжности и безопасности ЦСВ.

Научно-техническая гипотеза диссертации.

Применение аварийно-регулирующих резервуаров при канализационных насосных станциях и на сети водоотведения в сочетании с аккумулирующей способностью самотечных коллекторов и структурного резервирования напорных и безнапорных трубопроводов повышает их надёжность, экологическую безопасность и предотвращает сброс неочищенных сточных вод на поверхность земли и в водоёмы.

Цель и задачи исследования. Повышение надёжности систем водоотведения на основе методов временного и структурного резервирования. Для достижения этой цели рассматривались и решались следующие задачи:

- анализ нормативно-технической базы применения аварийно-регулирующих резервуаров в системах водоотведения на новых и застроенных территориях;
- исследование и обоснование эффективности различных вариантов резервирования и предотвращения попадания неочищенных сточных вод на поверхность земли;
- исследование надёжности ЦСВ за счёт использования аккумулирующей способности самотечной сети водоотведения, устройства дополнительных коллекторов и разгрузочных трубопроводов, сооружения аварийно-регулирующих резервуаров;
- разработка методики надёжно-технологических расчётов аварийных объёмов сточных вод при выходе из строя канализационных насосных станций, напорных и безнапорных трубопроводов;
- разработка новой конструкции АРР и методики его применения для обеспечения устойчивой, безаварийной работы систем водоотведения при минимальных затратах в строительство и эксплуатацию, а также обеспечивающей возможность строительства в стеснённых и застроенных территориях;
- исследование использования новой конструкции аварийно-регулирующего резервуара на примере главной ГКНС №18а в городе Иркутск.

Научная новизна

1. Изложена и подтверждена научная концепция использования методов временного и структурного резервирования для обеспечения и повышения надёжности централизованных систем водоотведения;

2. Проведены технико-экономические расчёты и обоснована эффективность применения различных вариантов резервирования для обеспечения надёжности системы водоотведения и предотвращения попадания неочищенных сточных вод на поверхность земли;

3. Предложена новая методика определения аварийных объёмов сточных вод при выходе из строя (аварии) канализационных насосных станций, напорных трубопроводов и безнапорных коллекторов;

4. Доказана перспективность использования аккумулирующей способности безнапорных сетей водоотведения для повышения надёжности ЦСВ и предложена методика их вычисления, учитывающая вероятностную природу объёмов транспортируемых сточных вод;

5. Изложена и подтверждена эффективность устройства АРР в сочетании с резервированием коллекторов, сформулированы условия их применения в зависимости от длины трубопроводов, объёмов транспортируемых сточных вод и производительности КНС;

6. Разработана методика оценки и повышения надёжности системы водоотведения на основе мероприятий временного и структурного резервирования;

7. Разработаны новые принципы минимизации строительных и эксплуатационных затрат при проектировании и возведении аварийно-регулирующего резервуара;

8. Исследованы особенности повышения надёжности ЦСВ в сейсмических районах строительства.

Теоретическая значимость работы:

1. Моделирование функционирования самотечных трубопроводов и АРР позволяет:

- оценить транспортирующую способность системы водоотведения с учётом аккумулирующей ёмкости;

- обосновать мероприятия по минимизации изливов сточных вод на поверхность земли;

- обосновать объёмы АРР и направления их модернизации.

2. Доказана эффективность использования временного и структурного резервирование сети и сооружений системы водоотведения как средства обеспечения их надёжности и экологической безопасности.

3. Раскрыты противоречия в части уменьшения затрат на устройство и эксплуатацию АРР и расширения диапазона их применения при КНС и на участках сети.

4. Проведена модернизация и совершенствование существующих математических моделей оценки надёжности вариантов резервирования систем водоотведения.

Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Представлены методические рекомендации использования АРР, аккумулирующей способности сети и мероприятий резервирования, которые могут быть адаптированы к системам водоотведения крупных городов и использованы при их развитии и реконструкции.

2. Разработана методика оценки и повышения надёжности системы водоотведения, которая применена на главной ГКНС №18а в городе Иркутск.

3. Разработана и внедрена новая конструкция АРР, которая сооружается как закрытым способом без рытья котлованов, так и открытым с использованием минимальных площадей застройки и территории двойного назначения.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач и проверки адекватности математических моделей и методов использовались методология численного и компьютерного моделирования, методы оптимизации проектных решений, проводились численные эксперименты с использованием аппарата теории планирования экспериментов и математической статистики, применялись классические методы гидравлики и теории гидравлических цепей, теории надёжности.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты исследования:

1. Моделирование функционирования системы самотечных трубопроводов и аккумулирующих ёмкостей при локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

2. Обоснование диапазонов эффективности применения различных вариантов временного и структурного резервирования для повышения надёжности и качества функционирования централизованной системы водоотведения.

3. Методика расчёта аварийных объёмов сточных вод при выходе из строя канализационных насосных станциях, напорных трубопроводов и безнапорных коллекторов.

4. Методика оценки и повышения надёжности системы водоотведения на основе мероприятий временного и структурного резервирования.

5. Новая конструкция аварийно-регулирующего резервуара.

6. Новые принципы минимизации строительных и эксплуатационных затрат применения аварийно-регулирующего резервуара при расчёте жизненного цикла.

Степень достоверности полученных результатов. Подтверждается адекватностью построенных на основе базовых законов сохранения энергии математических моделей реально работающим системам водоотведения. Проводимые исследования опираются на достоверные данные стоимостных показателей, приведённых в актуализируемых нормативах укрупнённых цен, разработанные методики расчётов и полученных зависимостей подтверждается результатами внедрения в реальную практику.

Апробация результатов работы. Итоги исследований были представлены на следующих конференциях:

– Всероссийская научно-практическая конференция "Качество городской среды: строительство, архитектура и дизайн". Иркутск, 20-22 декабря 2017 г.

– Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве». Иркутск, ИРНТУ, 2018, 07 ноября 2018 г.

– XIV Международная научно-технической конференция. Яковлевские чтения. НИ МГСУ. Москва 14-15 марта 2019 г.

– XV Международная научно-техническая конференция. Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Новосибирск НГАСУ «Сибстрин». 19 – 21 апреля 2022 г.

Кроме того, результаты исследования рассмотрены на техническом совете в МУП «Водоканал». Иркутск 29 декабря 2021 г. (Протокол № 40 от 29.12.2021)

Личный вклад автора состоит в формировании цели и постановке задач диссертационного исследования; непосредственном участии в получении и обработке исходных данных и научных экспериментах; разработке методических основ оценки и повышения надёжности систем водоотведения и в разработке новой конструкции аварийно-регулирующего резервуара, а также в обосновании эффективности его применения при КНС и в сети водоотведения, подготовке основных публикаций по выполненной работе; разработке новой конструкции АРР.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.1.4 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» в части пункта 21. «Методы анализа, расчёта и оптимизации показателей устойчивости, надёжности и безопасности работы систем водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов».

Публикации.

Основные научные результаты по теме диссертации опубликованы в 20 работах, из них 4 статей в сборниках Scopus, 4 статьи из перечня ВАК, 2 статьи, входящие в международные реферативные базы данных (GeoRef, Chemical Abstracts Service, Speleological Abstracts), 3 патента на полезную модель, 2 патента на изобретение.

Структура и объём диссертации

Диссертация включает введение, четыре главы, общие выводы, список литературы из 121 наименования и 1 приложения. Объём диссертационной работы 179 страниц машинописного текста, в том числе 30 таблиц, 72 рисунков.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

1.1 Характеристика существующих систем водоотведения, тенденции их развития и централизации

Системы водоотведения (СВО) в населённых пунктах и на промышленных предприятиях представляют собой сложную систему инженерных объектов, включающих сеть самотечных трубопроводов (СТ), насосных станций (КНС), линий напорных трубопроводов (НТ), колодцев различного назначения, регулирующих и аварийных резервуаров (АРР), канализационных очистных сооружений (КОС) [1]. Проведённый анализ существующих систем водоотведения и большинства из перечисленных сооружений показал их значительный износ (более 60%) и низкую диспетчеризацию и автоматизацию технологического процесса, высокий уровень энергопотребления и существенную аварийность [1]. Отдельные участки самотечных напорных трубопроводов и насосных станций не соответствуют проектной пропускной способности: либо недогружены, либо перегружены. Кроме этого, не реализованы дополнительные требования к системам водоотведения, расположенных в особых природных и климатических условиях.

Основными причинами превышения пропускной способности системы водоотведения являются внеплановое появление новых абонентов из-за точечной жилой застройки, отставание темпов строительства инженерных систем от жилищного и промышленного строительства, несвоевременная реконструкция и расширение сетей и сооружений, а также воздействие природных факторов, к которым относятся дожди, превышающие расчётную интенсивность, и ряд других факторов.

Развитие современных городов РФ сопровождается поглощением близлежащих населённых пунктов, инженерная инфраструктура которых либо отсутствует, либо превышает возможности существующих систем водоотведения.

Федеральный проект «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилого фонда» национального проекта «Жилье и городская среда», реализуемый в рамках исполнения Указа Президента Российской Федерации № 204 от 07.05.2018 Государственной корпорацией – Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства, обеспечил к концу 2021 года переселение 1,31 млн. наших граждан в благоустроенные квартиры из ветхого жилья [2, 3]. При этом, выводимое из эксплуатации ветхое жильё зачастую не было оборудовано элементарными средствами благоустройства, что, в свою очередь, повлекло увеличение расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды. Существенная разница удельного водоотведения неблагоустроенных жилых помещений, заселённых с 50-60 годов прошлого столетия и современных благоустроенных многоквартирных домов, оснащённых ванными, централизованным горячим водоснабжением, привела к значительному увеличению расхода сточных вод при неизменной численности населения. Отдельно следует учитывать особенности объектов социальной инфраструктуры, а именно аквапарки, общественные бассейны, бани, прачечные и др., режим водоотведения от которых характеризуется залповыми сбросами и значительным объёмом. Сопутствующим фактором процесса социально-экономического развития также является строительство производственных предприятий. Так отраслевые предприятия пищевой и фармацевтической промышленности, не предусматривающие в своих технологиях возможность применения оборотного водоснабжения, становятся активными водопотребителями и создают дополнительную нагрузку на действующие сети водоотведения.

Воздействие природных факторов на СВО ярко проявляется в тёплое время года в виде осадков. Протекание этого природного явления сопровождается большой интенсивностью дождя, покрывая значительные площади. Вследствие этого в самотечные сети не организованно поступает поверхностный сток, а также посредством инфильтрации – грунтовые воды. Поэтому участки самотечной сети и КНС, введённые в эксплуатацию в прошлом веке, осуществляют транзит сточных вод от вновь подключённых абонентов, и в период ливневых дождей испытывают

колоссальные перегрузки. Негативное воздействие выражается подпорами в самотечной сети, а КНС вынуждены ограничивать поступление сточной воды в приёмный резервуар, сбрасывая избыточный объём через аварийные выпуски. Такие режимы работы сооружений водоотведения допускались ранее, что сегодня запрещено на законодательном уровне.

Важно обратить внимание на несоответствие ранее возведённых объектов СВО экологическим требованиям настоящего времени. Ввиду того, что основная часть СВО нашей страны построена 50 – 60 лет назад, отдельные её участки, в частности, КНС при имеющемся достаточном эксплуатационном ресурсе требуют определённого изменения в подходах к транспортированию сточных вод. Результат проведённых исследований показал, что насосные станции, введённые в эксплуатацию того периода, оснащались выпуском для сброса сточных вод на время устранения аварийных ситуаций на КНС или НТ в водные объекты [4].

Так в документе «Строительные нормы и правила» (СНиП II–Г. 6–62), утверждённого Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 24 августа 1962 г., в пункте 4.1 с – 25 регламентировано: «Оборудовать канализационные насосные станции аварийными выпусками для отвода сточных вод в водоёмы или в сеть ливневой канализации» [5]. Нормативным документом «Строительные нормы и правила» (СНиП II–32–74), утверждённым постановлением Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 30 октября 1974 г. № 220, в пункте 4.4. с – 18 сказано: «Сети канализации на случай аварии должны иметь опломбированные аварийные выпуски для отвода сточных вод в водоёмы» [6]. Далее пункт 4.14 с – 19 определяет: «Принимаемый диаметр канализационных выпусков должен обеспечивать сброс стоков, не превышающий 3 ч» [6]. «Отвод сбрасываемых стоков организовывать в ближайший водоток или ливневую канализацию, а в случае неприемлемости по санитарным условиям в специальную камеру с последующим вывозом автоцистерной» [6]. Также в пункте 5.1 с – 24 отмечено, что: «Перед насосными станциями при обосновании и соответствующим

согласовании допускается предусматривать опломбированные аварийные выпуски в водоём или в дождевую канализацию» [6].

Эти положения, в целом, дают объективное подтверждение проектных решений того времени, однако нормативный документ «Строительные нормы и правила» (СНиП 2.04.03-85) «Канализация Наружные сети и сооружения», введённый 01.01.1986, в своём содержании не представляет чёткого определения по вопросам аварийного выпуска сточных вод от КНС [7]. При этом вносится определение регламента по опорожнению НТ, так в пункте 4.12. сказано, что: «Опорожнение напорных трубопроводов следует производить специальную камеру с дальнейшим вывозом автоцистерной, исключая попадание стоков в водный объект» [7].

Далее ввиду сложной обстановки, связанной с изменением организационно – правовых отношений и длительным периодом формирования подзаконных правовых актов и правил, следующий нормативный документ, определяющий правила строительства канализационных сооружений, «Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения» (СП 32.13330.2012.) был утверждён приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/11 и введён в действие с 01 января 2013 г [8]. В этом документе определён ряд требований, запрещающий предусматривать сброс в водные объекты неочищенных до установленных нормативов сточных вод, однако, допускающий предусматривать аварийный выпуск от КНС в водные объекты по согласованию. Так в соответствии с подпунктом 9 пункта 4 «Общее положение» сказано следующее: «Запрещается сброс сточных вод в водные объекты, за исключением отводимых от жилой застройки и предприятий первой группы». В подпункте 1.1 пункта 6 изложено следующее: «Допускается сброс стоков в аварийные ёмкости (с последующей откачкой) или при соответствующем согласовании с соответствующими органами в коллекторы дождевой канализации, на которых имеются очистные сооружения, опломбированные затворы». Кроме этого, в определении подпункта 8.2.23 источника [8] сказано: «Для организации снижения расчётных расходов, а также для аккумуляирования расхода стоков во

время аварий допускается устройство регулирующих или аварийно-регулирующих резервуаров». В дополнение к вышеперечисленному, следует добавить, что в подпункте 8.2.24 сформулированы требования к аварийно-регулирующему резервуару: «Конструкцией должно быть предусмотрено сбор и удаление осадка, предотвращение загнивания стоков и очистка вентиляционных выбросов» [8].

Однако, кроме всего перечисленного следует обратить внимание на то, что требованиями к проектированию канализации производственных площадок, поселений и территорий жилой застройки, расположенных в зонах сейсмических воздействий, изложенными в СНиП II-A.12-62, СНиП II-Г.6-62, СНиП II.32-74, СНиП 2.04.03-85, СП 32.13330.2012, СП 32.13330.2018 предусмотрена организация мероприятий, исключающих затопление территории сточными водами и загрязнение подземных вод, а так же открытых водоёмов в случае повреждения канализационных трубопроводов и сооружений [5, 6, 8, 9, 10]. При этом, согласно карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации, представленных в СП 14.13330.2018 (Строительство в сейсмических районах), а также в соответствии СП 42.13330.2016 (Градостроительство Планировка и застройка городских и сельских поселений) количество жителей, проживающих в городских поселениях с сейсмической интенсивностью более 6 баллов по шкале MSK-64, составляет порядка 40 миллионов таблица 1 [11, 12].

Таблица 1

Сводные показатели населённых пунктов в сейсмических районах

Группы населенных пунктов	Количество населенных пунктов	Численность населения, чел.
Крупнейшие > 1000 тыс. чел.	7	8633544
Крупные 250 – 1000 тыс. чел.	29	12091372
Большие 100 – 250 тыс. чел.	49	6929571
Средние 50 – 100 тыс. чел.	79	5615345
Малые 10 – 50 тыс. чел.	291	6603022
Всего:	455	39872854

Из этого следует, что на территориях городских образований Российской Федерации с численностью населения более 27% вопрос недопущения загрязнения окружающей среды сточными водами требует новых решений.

Изменения и дополнения, положенные в свод правил СП 32.13330.2018 (Канализация. Наружные сети и сооружения.) от 26 июня 2019 года, целенаправленно ориентированы на повышение надёжности СВО и поддержания экологической безопасности посредством зарегулирования стоков в период пиковых нагрузок и отвода их на время аварии в резервуары [10]. Представленный в подпункте 19 пункта 4 «Общих положений» регламент гласит следующее: «Для бесперебойного действия системы водоотведения требуется предусматривать обеспечение следующих мероприятий: устройство аварийных (буферных) ёмкостей с последующей откачкой из них в нормальном режиме» [10]. Более того, раздел 8 «Насосные и воздухоудувные станции» в подпункте 2.6 отражает следующее: «Число напорных трубопроводов от насосных станций любой категории надёжности действия необходимо принимать на основании технико-экономических расчётов с учётом возможности устройства аварийного выпуска (перепуска), регулирующей ёмкости, использования аккумулирующей вместимости подводящей сети, допускаемого снижения водопотребления согласно СП 31.13330» [10, 13]. Изменение и дополнение редакции пункта 8 СП 32.13330.2012, внесённое в СП 32.13330.2018 конкретизировало области применения регулирующих и аварийно-регулирующих резервуаров [10].

Вместе с тем, в настоящее время большинство КНС, введённые в эксплуатацию до 2012 года, оснащены устройством аварийного выпуска в близлежащий водный объект. Из этого следует, что в период устранения аварии на участке гидравлического транспорта КНС – НТ и в случае превышения расчётного расхода, когда станция по своим рабочим параметрам неспособна обеспечить перекачку поступающего объёма воды, в целях предотвращения подтопления оборудования машинного зала отвод стоков посредством аварийного выпуска осуществлялся в водоём.

Основополагающие исследования в области защиты от попадания стоков, непрошедших очистку, на поверхность земли были проведены ещё в 80-е годы прошлого столетия на кафедре водоотведения МГСУ под руководством профессора В. И. Калицуна. Далее в 1996 году в г. Москва при совместном участии МГП «Мосводоканал» и ГУП «МосводоканалНИИпроект» был построен и введён в действие первый аварийно-регулирующий резервуар (АРР) [14]. Правительство Москвы опубликовало Постановление N 49 от 25 января 2000 г. «Об утверждении норм и правил проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01– 99» 99 (с изменениями на 21 декабря 2021 года), где в подпункте 5 пункта 10.2. “Канализация” сформулированы требования о включении в состав канализационных насосных станций аварийно-регулирующих резервуаров [15].

Следует отметить, что строительство АРР предусматривает значительные разработки грунта, рытье траншей и котлованов на значительных глубинах. При этом их устройство в зонах городской застройки при развитой сети инженерных коммуникаций и сформированном благоустройстве реализовать крайне сложно, а в некоторых случаях нерентабельно.

Проведённые исследования в реальных условиях на действующих объектах СВО показывают, что отвод сточных вод самотёком от КНС в АРР, а также его опорожнение в приёмный резервуар КНС без применения дополнительного насосного оборудования эффективнее, нежели, чем способом, описанным в источнике [14]. Возведение АРР закрытым способом с ограниченным объёмом открытых земляных работ обеспечивает значительную экономию средств на капитальные затраты. Однако для обеспечения нормальной и экономичной эксплуатации КНС проектирование АРР должно основываться на детальной проработке исходных данных. Наиболее острой проблемой является реконструкция уже сформированных СВО в границах городской черты с выполненным благоустройством.

В рамках решения задач по реконструкции действующих КНС дополнительные насосные агрегаты в составе АРР снижают его надёжность и повышают затраты на электроэнергию. В то же время заполнение АРР от НТ

ограничивает его применение по отношению к самотечным подводным коллекторам, а именно не решает проблемы аварийного сброса от КНС. Анализ, проведённый в части вышеперечисленных решений, показывает недостаточную эффективность в достигнутом результате организации аварийного выпуска от КНС.

Из этого можно подчеркнуть, что назрел вопрос дальнейшего развития эффективного, экологически безопасного транспорта сточных вод на КОС с учётом устройства АРР и других сооружений, предотвращающих попадание сточных вод на поверхность земли.

Достижение этой цели возможно путём объединения функциональных возможностей аварийного и регулирующего накопителя, а также организованного гидравлического транспорта осадка в единый эффективный комплекс.

1.2 Оценка надёжности существующих систем водоотведения

Система водоотведения в своей структуре содержит большое количество элементов, непрерывно взаимодействующих между собой, однако в процессе их эксплуатации случаются отказы, спровоцированные различными факторами [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]. Процесс транспортировки сточных вод, как правило, реализуется работой двух подсистем: сооружениями для транспортировки стоков в самотечном режиме и комплексов сооружений для их перекачки в напорном режиме. Надёжность работы данных сооружений во многом определяется экологическим состоянием окружающей среды и эффективностью работы всей системы водоотведения.

Наиболее частыми причинами аварийности на самотечных трубопроводах является их засорение, происходящее в большинстве случаев из-за несоблюдения режимов самоочищения. Из опыта эксплуатации систем водоотведения известно, что менее надёжными, с точки зрения их засоров, являются участки канализационной сети с малыми диаметрами трубопроводов. Наибольшее количество засорений на 1 км. трубопровода наблюдается при $d \leq 500$ мм [31], а затраты, связанные с прочисткой СТ, как правило, составляют 80% от всех эксплуатационных затрат и содержат большой объём ручного труда.

Исследованиями, проводимыми в условиях реальных объектов, неоднократно подтверждалось, что фактические скорости в трубопроводах сети водоотведения меньше, чем рассчитанные по традиционным формулам с учётом наименьших уклонов сети [31]. Проектирование канализационной сети по предельной зависимости даёт возможность минимизировать затраты на строительство [31]. Однако для организации эффективного функционирования СВО на проектной стадии целесообразно минимизировать стоимость затрат по устранению засоров в трубопроводах.

В тоже время имеется большое количество трубопроводов, которые являются перегруженными и функционируют в режиме размывающих скоростей, вызывая тем самым эрозию стенок трубопровода. Причиной является несоответствие параметров отдельных элементов СВО фактическим нагрузкам, которые воздействуют на них в определённый момент времени. Кроме того, оптимизационные расчёты по обоснованию гидравлических режимов в процессе эксплуатации фактически не производятся, так как эксплуатирующие службы ограничены в инвестициях в своевременную модернизацию СВО.

Неоднократно подтверждены исследованиями частые аварии и отказы, происходящие на конкретных элементах СВО, вызваны некачественными проектными решениями [31]. Разрабатывая проект СВО с каскадом многочисленных КНС, проектировщику довольно сложно дать оценку надёжности и эффективности взаимодействия элементов системы, а также оптимальности капитальных и эксплуатационных затрат. Перспективный срок проектирования СВО, как правило, определяется планом развития инженерной инфраструктуры и составляет 15 лет [31]. При этом ресурс элементов сетей с учётом соблюдения требований монтажа и надлежащей эксплуатации может составлять 50 – 100 лет [31]. Поэтому в условиях агломерации городов и развития СВО, возникает необходимость перекладки участков канализационной сети, которые на момент реконструкции обладают достаточным ресурсом и могли бы прослужить ещё 30 – 50 лет.

При выполнении реконструкции существующих и проектировании новых элементов СВО важно определять перспективы развития системы, основываясь на данных численности жителей и технологических потребностях в воде промышленных предприятий. В современных условиях только в жилом секторе за счёт увеличения количества единиц бытовой техники и её мощности наблюдается рост на 20% энергопотребления [31]. Из всего объёма продаваемой населению бытовой техники (отечественная и зарубежная) 30 – 40% потребляет воду [31]. Следовательно, увеличивается водопотребление, пропорционально возрастает и водоотведение. Из этого следует, что при развитии СВО города целесообразно выполнять следующие решения – это интенсификация работы действующих элементов и проектирование новых, а также реконструкция и расширение существующих.

Достаточно большую важность и сложность представляют собой вопросы развития и реконструкции существующих СВО в условиях сформированной инфраструктуры города. На сегодняшний день в границах городской застройки реконструкция существующих систем водоотведения, за редким исключением, реализовывается на основе многочисленных КНС. Это приводит к росту энергопотребления, увеличению расходов на эксплуатацию, что в свою очередь снижает надёжность системы водоотведения в целом.

Под надёжностью СВО, как правило, понимается бесперебойный и организованный процесс отвода сточных вод от обслуживаемых абонентов в соответствии с договорными условиями, а также соблюдением санитарно-гигиенических, технических и экологических требований.

Рассматривая надёжность функционирования СВО, следует обратить внимание на факторы, которые способны дестабилизировать её работу, – это выход из строя СТ, перерыв в работе насосного оборудования и выход из строя НТ. Аварийная ситуация на СТ выражается закупоркой или разрушением отдельного его участка, вследствие которой прекращается транспортировка стоков [32]. Учитывая степень обеспеченности подачи воды в централизованных системах водоснабжения и аккумулирующую способность самотечной канализационной

сети, подобные ситуации нередко приводят к выходу стоков «на рельеф» (неконтролируемый сброс) [33].

В случаях прекращения транспортировки стоков в напорном режиме, вызванной аварией на НТ или КНС, сточная жидкость может сбрасываться без очистки через специально устраиваемые аварийные выпуски [10]. Такие сбросы являются контролируруемыми. Однако, эти ситуации являются чрезвычайными и требуют максимально быстрой локализации, так как наносят материальный и экологический ущерб.

Следовательно, надёжность именно напорных трубопроводов и КНС как функционально значимых и наиболее уязвимых элементов системы является приоритетным направлением [34, 35, 36]. Подверженность данных элементов воздействию внешних и эксплуатационных факторов достаточно высока, так как обусловлена большим количеством энергетического и гидравлического оборудования. На практике наиболее частыми случаями аварийных ситуаций на напорных участках гидравлического транспорта отмечены повреждения трубопроводов и запорной арматуры. Основными причинами этих повреждений являются ветхость оборудования, нарушения правил эксплуатации и внешние факторы. Наиболее ощутимо на работе напорных трубопроводов отражается влияние сейсмической активности [37, 38, 39, 40, 41, 42]. В настоящее время наблюдается постоянный рост размеров территорий, где возможно проявление сейсмической активности вследствие изменения грунтовых условий городской застройки (обводнение, подтопления и т.д.) [43]. При этом из теории землетрясений известно, что в первую очередь разрушаются подземные коммуникации и стоки выходят на поверхность земли, нанося экологический ущерб территории [43].

Из основных методов повышения надёжности СВО, применяемых на сегодняшний день, можно выделить следующих два вида: в первом случае – это организация элементной избыточности, выражающаяся в том, что система определённым образом доукомплектовывается элементами, которые не являются функционально необходимыми, однако их роль в системе –повышение надёжности в целом; во втором случае – система проектируется из необходимых элементов,

обеспечивающих её функциональность, а необходимый уровень её надёжности обеспечивается надлежащим выполнением эксплуатационных мероприятий [33]. Повышение уровня надёжности посредством организации элементной избыточности – резервирование рисунок 1 относится к одним из наиболее эффективных способов для повышения надёжности. При этом различают холодный, горячий и облегчённый резервы [33].

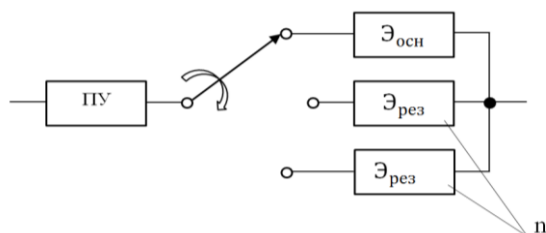


Рис.1 Схема n– кратного резервирования элемента [33].

Резервирование содержит переключательное устройство (ПУ), которое подключает в работу один из n – резервных элементов $\mathcal{E}_{рез}$, если основной $\mathcal{E}_{осн}$ элемент выходит из строя. При этом ПУ условно принимается как абсолютно надёжное [33].

Холодный резерв – в случае выхода из строя $\mathcal{E}_{осн}$ переключательное устройство ПУ рисунок 1 подключает в работу один из резервных элементов $\mathcal{E}_{рез}$. Функция надёжности для системы с $(n + 1)$ элементами, из которых лишь один в работе, а остальные вплоть до выхода его из строя, находятся в холодном резерве. Вероятность нахождения системы в этом состоянии описывается следующим уравнением [33]:

$$p(t) = e^{-\lambda_0 t} \cdot \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}. \quad (1)$$

Эта равенство соответствует при следующих условий: коммутационное устройство идеально надёжно, элементы системы идентичны, а их интенсивности отказов постоянны и равны λ_0 , элементы, находящиеся в резерве, работают как новые, отказы внутри системы статистически независимые [33]. Для наиболее часто используемого однократного резервирования ($n = 1$), формула (1) приобретает новый вид [33]:

$$p(t) = (1 + \lambda_0 t)e^{-\lambda_0 t}. \quad (2)$$

Горячий резерв – система имеет n -элементы, из которых $(n - 1)$ резервных элементов присоединены параллельно основному и работают в аналогичном режиме, что и основной [33]. Отличие от схемы холодного резерва состоит в том, что все элементы (основной и $n - 1$ резервных) находятся постоянно в рабочем состоянии, а необходимые функции в системе выполняет лишь один из них, подключаемый посредством коммутационного устройства [33]. При этом функции надёжности всех элементов, входящих в систему, отсчитываются от одного и того же момента времени [33].

Функциональность горячего резервирования иллюстрирована на рисунке 2, где показан случай с применением однократного резервирования ($n = 2$), когда параллельно главному элементу системы подключается один резервный:

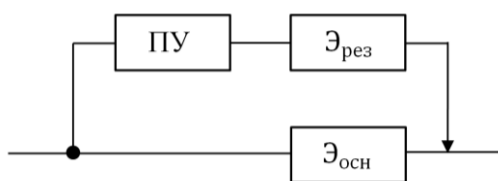


Рис. 2 Схема горячего резервирования [33].

Если основной элемент $\mathcal{E}_{осн}$ функционирует нормально, то резервный элемент $\mathcal{E}_{рез}$, работающий в таком же нагрузочном режиме, не подключен к цепи [33]. Как только $\mathcal{E}_{осн}$ выходит из строя, ПУ (полагаемый, как и ранее, абсолютно надёжным) в тот же момент времени подключает $\mathcal{E}_{рез}$, который «подхватывает» функцию основного [33].

Определим сначала функцию ненадёжности системы $q(t)$.

Система в момент времени t будет неработоспособна, если основной и резервный элементы в это время будут в нерабочем состоянии [33].

По правилу умножения вероятностей имеем [33]:

$$q(t) = q_{осн}(t) \cdot q_{рез}(t), \quad (3)$$

где: $q_{осн}(t)$ и $q_{рез}(t)$ – функции ненадёжности основного и резервного элементов [33].

При известной $q(t)$ функция надёжности системы $p(t)$ находится как [33]:

$$p(t) = 1 - q(t) = 1 - q_{осн}(t) q_{рез}(t) =$$

$$= 1 - [1 - P_{\text{осн}}(t)][1 - P_{\text{рез}}(t)], \quad (4)$$

где: $P_{\text{осн}}(t)$ и $P_{\text{рез}}(t)$ – функции надёжности основного и резервного элементов [33].

Формула (3) отражает надёжность системы с однократным резервированием. В общем случае при n -кратном резервировании (один основной и $(n - 1)$ резервных элементов) функция надёжности системы записывается так [33]:

$$p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)], \quad (5)$$

где: $p_i(t)$ – функция надёжности i -го элемента, включая основной [33].

Если потоки отказов всех элементов простейшие с интенсивностями λ_i , то, как известно, функция надёжности i -го элемента равна:

$$p_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_i dt\right) = e^{-\lambda_i t}, \quad (6)$$

функция надёжности резервированной системы приобретает вид:

$$p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}). \quad (7)$$

В случае, когда все λ_i одинаковы и равны λ_0 , функция надёжности системы равна [33]:

$$p(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^n. \quad (8)$$

Облегчённый резерв – реализуется в аналогичной последовательности рисунок 2. Резервный элемент включается в систему одновременно с основным, однако в отличие от случая с горячим резервом в более облегчённом режиме [33]. Его надёжность начинается с момента включения в работу основного элемента, но по закону, отражающему эти облегчённые условия работы [33]. При отказе основного элемента ПУ переключает $\mathcal{E}_{\text{рез}}$ в режим максимальной нагрузки, заменяя этим вышедший из строя $\mathcal{E}_{\text{осн}}$.

При однократном облегчённом резервировании, когда в схеме наряду с $\mathcal{E}_{\text{осн}}$, включается лишь один $\mathcal{E}_{\text{рез}}$, вероятность безотказной работы системы за время t при простейших потоках отказов подсчитывается по формуле [33]:

$$p(t) = e^{-\lambda_{\text{раб}} t} \left[1 + \frac{\lambda_{\text{раб}}}{\lambda_{\text{рез}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{рез}} t}) \right], \quad (9)$$

где: $\lambda_{\text{раб}}$ – интенсивность отказов элемента в рабочем (номинальном) режиме;
 $\lambda_{\text{рез}}$ – интенсивность его отказов в облегченном режиме (в режиме резерва) [33].

Безызбыточные способы повышения надёжности подразумевают организационно – технические мероприятия, которые будучи осуществляемые в отношении СВО способные в значительной степени увеличить её надёжность, хотя предварительный аналитический расчёт заранее произвести довольно сложно [33]. Эксплуатация СВО выполняется в чётком соответствии с правилами и разработанными на их основе инструкциями, которые, как правило, отражают всю особенность производства с учётом отдельных участков.

В основу этих разрабатываемых документов положена база научно-обоснованных методов эксплуатации, учитывающая специфику системы. Как правило, перечень нормативов содержит рекомендации по подготовке к работе, проведению профилактических мероприятий, текущему и капитальному ремонту, а также и иные мероприятия по обеспечению надёжности [33]. Технологические аспекты подобных мероприятий разрабатываются и регламентируются производителем в руководствах по эксплуатации конкретных устройств.

Рассматривая процесс водоотведения, следует обратить внимание на суточную неравномерность, обусловленную жизненным циклом человека. Кроме того, значительное влияние на суточную неравномерность оказывают технологические процессы промышленных предприятий. В совокупности или отдельно оба фактора формируют пиковые нагрузки в системе водоотведения.

При этом в часы минимального водопотребления наблюдается активное снижение расхода сточных вод (СВ). Наличие изменения расхода наиболее ощутимо отражается на эффективности работы насосных станций. Неравномерность притока СВ, как правило, сопровождается увеличением частоты включений насосных агрегатов, сокращая ресурс пускового электрооборудования. Максимальный расход от бассейна канализования, как правило, сконцентрирован в пониженных участках рельефа, где стоки собираются в самотечные коллектора и подаются на КНС. Именно на участках КНС и НТ наиболее часто возникает

потребность в управлении СВО, выражающаяся в необходимости снизить или приостановить на определённый период времени поступление стоков в приёмное отделение станции без последствий для окружающей среды. Наиболее часто эта необходимость возникает при выполнении экстренных мероприятий по устранению аварий на КНС или НТ. Также необходимость в ограничении притока к КНС возникает в период, когда производительность станции по тем или иным причинам не соответствует объёмам поступающего расхода. Во всех случаях возможность управления расходом имеет большое значение, так как последствия подтопления территорий приводят к колоссальным убыткам.

Сложность реализации процесса управления СВО заключается в жёстких требованиях по степени обеспеченности подачи воды потребителям, регламентированных в своде правил СП 31 п. 7.4 [13]. Так по первой категории с численностью населения более 50 тыс. чел. допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30% длительностью не более 3-х суток либо перерыв в подаче не более 10 мин. Вторая категория с количеством населения 5 – 50 тыс. чел. допускает аналогичное с первой категорией снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды длительностью не более 10 суток либо перерывом не более 6-ти ч. Третья категория при количестве жителей до 5 тыс. чел. допускает перерыв подачи на 24 ч. либо допустимое снижение на 15 суток. При этом элементы системы водоснабжения второй категории, повреждения которых могут нарушить подачу воды на пожаротушение, должны относиться к первой категории. Также согласно требованиям свода правил «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» СП 31.13330.2021 п. 16.2. для сейсмических районов и в соответствии с дополнительными требованиями к системам противопожарного водоснабжения в особых природных и климатических условиях свода правил «Системы противопожарной защиты» СП 8.13130.2020 «Наружное противопожарное водоснабжение» п. 12.2. надлежит предусматривать количество источников водоснабжения, исключающих возможность одновременного перерыва подачи воды [44].

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что управление СВО посредством ограничения подачи воды в хозяйственно-питьевом водопроводе практически не выполнимо. Это объясняется тем, что подавляющая часть хозяйственно-питьевого водопровода в нашей стране объединена с противопожарным. Поэтому на сегодняшний день решение вопросов управляемости СВО необходимо реализовывать путём зарегулирования стоков.

1.3 Анализ применения аварийных резервуаров на сетях и сооружениях централизованных систем водоотведения

Практическая реализация АРР в системе СВО является перспективным направлением не только для мегаполисов, но и для небольших городских поселений. Принцип работы регулируемых СВО сводится к тому, чтобы обеспечить равномерную загрузку КНС и КОС в течении суток. Зарегулирование СВО позволяет снижать неравномерность поступления стоков от производственных предприятий и объектов социально – культурного назначения, отличающиеся залповыми сбросами и значительными расходами. Усреднение суточного расхода высвобождает дополнительные резервы пропускной способности трубопроводов и сооружений, позволяет нормализовать самотечные режимы на перегруженных участках сети. При этом так называемый высвобожденный резерв даёт возможность догружать существующую сеть транзитными расходами, формирующимися при развитии населённых пунктов и производственных предприятий без перекладки трубопроводов.

Применение временного резервирования путём возведения резервуаров, сочетающих функции аварийных, в недавнем прошлом реализовано в нашей стране. Как упоминалось выше, первые АРР созданы в 1996 г. (смотри рисунок 3, 4) позволили снизить неравномерность на насосной станции и очистных сооружениях в г. Москва [14]:

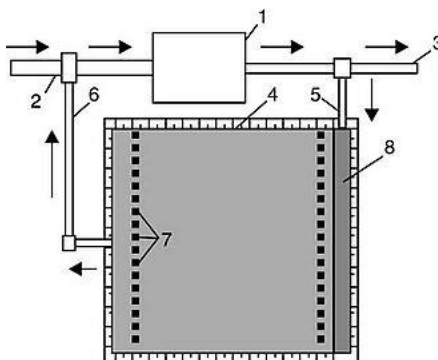


Рис. 3 Схема расположения АРР относительно КНС: 1 – насосная станция перекачки сточных вод (НС); 2 – подводящий канал к НС; 3 – напорный водовод от НС; 4 – регулирующая ёмкость АРР; 5 – труба, соединяющая напорный водовод от НС с АРР; 6 – труба, соединяющая АРР с подводящим каналом НС; 7 – фильтры – поглотители для газо-воздушной смеси; 8 – галерея задвижек АРР [14].

Согласно принципиальной схеме расположения АРР (рисунок 3) относительно КНС приём СВ в резервуар осуществляется в часы пик от напорных трубопроводов через эжекторы, а опорожнение – в самотечный подводящий коллектор [14].

Количество эжекторов определяется в зависимости от того, какая гидравлическая нагрузка может быть обеспечена для смыва и транспортирования осадка сточных вод, выпавшего в лотковой части АРР за время его наполнения и опорожнения рисунок 4 [14]. Расчётный расход стоков от эжектора необходимо принимать на 20% меньше из – за поступления в него воздуха [14].

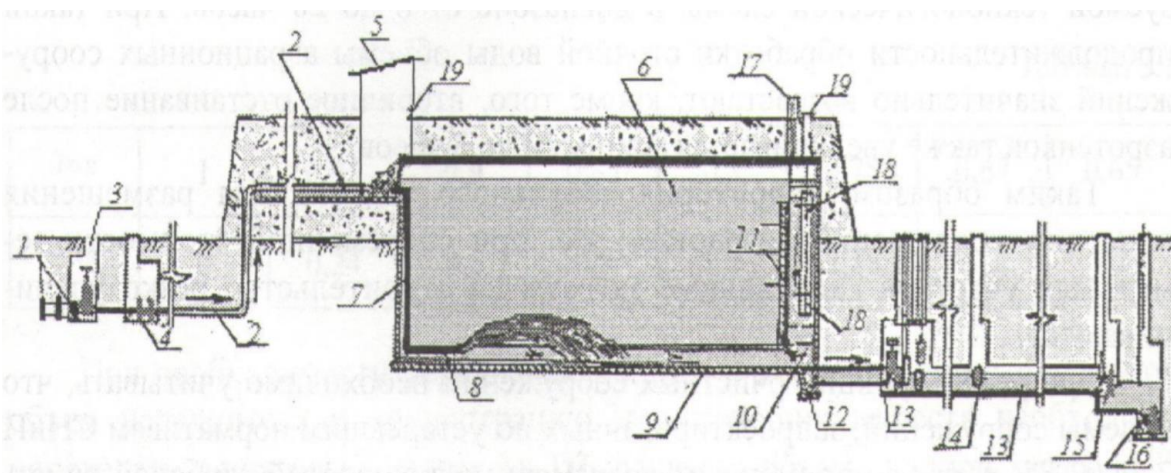


Рис. 4 Принципиальная высотная схема расположения АРР по отношению к подводящему каналу КНС: 1 – напорные водоводы от КНС; 2 – трубопровод

подающий в галерею задвижек; 3 – колодец с задвижками; 4 – колодец с расходомерами; 5 – галерея задвижек с регулирующими устройствами; 6 – аварийно-регулирующий резервуар (АРР); 7 – подающая в АРР труба; 8 – эжектор с коническим насадком на подводящий к АРР трубе; 9 – лотковая часть днища АРР; 10 – водосборный канал; 11 – поперечная перегородка с водопропускным проёмом; 12 – приямок опорожнения АРР с запорно-регулирующими устройствами; 13 – труба опорожнения АРР с запорно-регулирующими устройствами; 14 – канал опорожнения АРР с колодцами на присоединении от смежных секций АРР; 15 – водоизмерительный пост на канале опорожнения АРР; 16 – колодец; 17 – фильтр – поглотитель; 18 – переливная труба АРР; 19 – лаз в АРР [14].

Диаметры труб и канала опорожнения АРР рассчитываются на расход: $q_{оп} = 0,4 \cdot q_{max.сут}$, м³/с, при наполнении $h/d=1$ и допустимой скорости протекания до 3,5 м/с [14]. Диаметр подающего трубопровода в галерею задвижек должен обеспечивать пропуск расхода [14].

$$\Delta q_{гал} = q_{max.сут} \cdot (K_{н.час} - 1), м^3/с. \quad (10)$$

Допускается скорость в трубопроводах, подающих сточные воды в АРР системы, при подаче максимального расхода – 4,0 м/с [14].

В результате внедрения АРР на территории г. Москвы было достигнуто не только зарегулирование притока СВ, но и обеспечен требуемый уровень надёжности [14]. При этом использование регулирующих ёмкостей достаточного объёма в составе СВО позволяет уменьшить значение $K_{н.час}$ до 1 [14]. Также отмечена эффективность использования АРР в составе реконструируемых водоотводящих сетей, очистных сооружений и насосных станций [14].

Использование АРР в замкнутых бассейнах водоотведения позволяет повысить эффективность СВО за счёт снижения капитальных затрат на КНС и магистральные линии НТ при строительстве. Обоснованные усреднённым расходом данные дают возможность применять на КНС насосы меньшей производительности и использовать трубопроводы с меньшими диаметрами, а, следовательно, и запорно-регулирующая арматура для НТ потребуется более

меньших диаметров, кроме этого, увеличивается ресурс пусковой автоматики за счёт сокращения количества включений – выключений НА, что безусловно минимизирует капитальные и эксплуатационные затраты.

Рассматривая АРР в составе СВО населённого пункта, следует отметить важность социальной и экологически безопасности при её эксплуатации. Отведение сточных вод, как упоминалось выше, является сложным технологическим процессом, в ходе которого задействовано значительное количество сооружений и оборудования, работа которых не исключает отказы, зачастую сопровождаемые контролируемым или неконтролируемым сбросом стоков в окружающую среду.

Из практики эксплуатации СВО известно, что отказы её элементов в основном связаны с нарушением герметичности участков НТ, причиной которых в большинстве случаев является естественный износ, несвоевременное обновление труб, а также несоблюдение технологий производства работ при строительстве. Длительное время в нашей стране возведение инженерной инфраструктуры основывалось на принципах минимизации затрат на капитальное строительство. Применение дешёвых марок стали и зачастую без защиты от внешней и внутренней коррозии на сегодняшний день являются основной причиной их недолговечности и значительной аварийности.

Внезапный отказ работы элементов СВО имеет случайный характер и для оценки возможного возникновения таких случайных событий используется статистический метод, основанный на накоплении и обработки информации об отказах системы. Статистические данные позволяют определить численную вероятность возникновения случайных событий, при этом в качестве математической модели вероятности возникновения отказов n_i участков трубопроводов за время t целесообразно принимать закон распределения Пуассона и вычислять по следующей формуле [14]:

$$P_i(t) = \frac{(w(t) \cdot t)^{n_i}}{n_i!} e^{-w(t) \cdot t}, \quad (11)$$

где: $w(t)$ – параметр закона Пуассона, равный среднему количеству отказов на участке трубопровода в единицу времени; e – основание натурального логарифма.

При экспоненциальном распределении времени между отказами участка трубопровода длиной l оценка величины наработки на отказ T может быть получена из выражения [14]:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt = \frac{1}{w(t) \cdot l}. \quad (12)$$

Среднее время устранения аварии на НТ t_B основывается на статистических данных о фактическом времени, затраченном на ремонт участков НТ, и является обязательным показателем их надёжности, который определяет эффективность работу эксплуатационных предприятий, а также обосновывает возможные объёмы как контролируемого, так и неконтролируемого сброса сточных вод [14].

$$t_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n_i}, \quad (13)$$

где: t_{Bi} – период восстановления i -го участка НТ; n – число отказов.

Среднее значение периода аварийного простоя участка НТ γ представляет собой произведение среднего времени восстановления участка t_{Bi} на среднее число $n(t)$ его отказов за этот период времени [14].

$$\gamma = n(t) \cdot t_{Bi}. \quad (14)$$

Принимая во внимание опыт московских коллег, для проведения оценки интенсивности отказов стальных напорных трубопроводов в зависимости от диаметра труб D аналитическое выражение иметь следующий вид [14]:

$$w = 8,86 \cdot D^{-0,9} \text{ (1/Г·км)}. \quad (15)$$

В результате оценки надёжности можно определить участки трубопроводов наиболее подверженные риску нарушения герметичности и разработать график их технического обслуживания, сформировать планы инвестиционных программ по очередности финансирования в рамках обновления трубопроводных систем.

На уровне инвестиционных программ можно проработать условия возведения АРР, определить его местоположение в составе СВО, а также конструктивное исполнение, автоматизация работы и расчётный объём.

Основными проблемами использования регулирующих и аварийных резервуаров как в действующих, так и проектируемых СВО является

функциональная эффективность, возможность их интеграции в генплан городской застройки и стоимость капитальных затрат при строительстве.

Учитывая аккумулялирующую способность резервуара, целесообразно кроме регулирующих возможностей оснащать данное сооружение функцией приёма стоков при аварийных ситуациях не только на НТ, но и КНС. Расположение АРР не должно быть удалённым от КНС и обладать достаточным объёмом для зарегулирования стоков в рабочем режиме, а также в случае приёма СВ при авариях на КНС или НТ. Функции зарегулирование и аварийный режим АРР предусматривает, кроме процесса заполнения полезного объёма стоками, его опорожнение, а также их хранение на определённое время. Особенностью сточных вод является содержание в них значительного количества взвешенных веществ, которые при несоблюдении самоочищающихся скоростей транспортировки выпадают в осадок, накапливаются и уплотняются на горизонтальных поверхностях. Этот фактор является основной ограничивающей причиной для использования АРР на сетях хозяйственно-бытовой канализации типовых цилиндрических ёмкостей. Поэтому, как описано в работе [14], решение этой задачи было найдено в прямоугольной (в плане) форме АРР с функцией смыва осадка в лотковой части днища посредством подачи стоков из НТ через эжектор с коническими насадками. Таким образом, обусловленная гидравлической нагрузкой прямоугольная форма резервуара, а также материал для его строительства существенно ограничивают возможности его применения в городских условиях. Учитывая масштабность и конструкцию сооружения, как правило, выполняемого из железобетона, его довольно сложно разместить в сформированной городской черте без утраты значительной части элементов благоустройства и инженерной инфраструктуры. Затраты на вынос элементов различных коммуникаций, а также вынужденная реконструкция жилой среды населённого пункта, зачастую ставят под сомнение эффективность применения АРР в составе СВО города.

Известный и описанный выше тип сооружения АРР выполняет приём аварийного стока только в случаях аварии на НТ либо аварий, произошедших на сооружениях после НТ. При этом данный тип сооружений ни коем образом не

повышает надёжность самой КНС ввиду того, что наполнение резервуара осуществляется от НТ, а опорожнение происходит самотёком в подводящий самотечный коллектор перед КНС, тем самым не предусматривает остановку станции.

Рассматривать данный тип сооружений как эффективное средство повышения надёжности самой КНС не следует ввиду невозможности отведения стоков самотёком в резервуар перед станцией. Из чего следует, что в период возможной аварии на КНС условие по недопущению аварийного сброса СВ в водный объект выполняться не будет. Размещение резервуара ниже горизонтальных отметок подводящего самотечного коллектора перед КНС с целью аккумуляирования стоков перед станцией на период её отказа потребует дополнительных насосов для его опорожнения. Более того, диктующими условиями возведения КНС на самотечных канализационных трубопроводах являются критические глубины, где дальнейшая прокладка открытым способом, ввиду колоссальных объёмов земляных работ с экономической точки зрения и безопасности производства работ нецелесообразна. С учётом этих факторов возведение резервуаров потребовало бы выборку грунта под котлован глубиной порядка 8 м, а также возникнет необходимость его обратной засыпки с последующим уплотнением. В связи с чем от конструкции резервуара потребовался бы соответствующий запас прочности для того, чтобы противостоять внешним нагрузкам, образующимся при выполнении обратной засыпки грунтом. Поэтому реализация резервуаров на отметках ниже уровня подводящего самотечного коллектора в представленном конструктивном исполнении малоэффективна. Из чего следует, что возведение известных АРР с целью зарегулирования СВ, а также повышения надёжности КНС и НТ путём аккумуляирования аварийного стока на сегодня не представляется возможным. Отсутствие сочетания в рассматриваемом объекте СВО необходимых функциональных возможностей, а также трудно адаптируемое в городскую среду конструктивное исполнение и значительные материальные средства на капитальные затраты существенно ограничивают его использования как в рамках

реконструкции действующих систем, так и при новом строительстве на стадии проектирования.

Однако на сегодняшний день нормативными документами, изложенными в СП 32.13330.2018 (Канализация. Наружные сети и сооружения), достаточно чётко сформулированы требования, предъявляемые к АРР, а именно конструкцией регулирующих и аварийно-регулирующих резервуаров должно быть обеспечено [10]: недопущение загнивания сточных вод и скопления осадка; очистка вентиляционных выбросов; удаление осадка, подача зарегулированных стоков на очистные сооружения.

Из сказанного ясно, что функции зарегулирования суточной неравномерности и приём аварийного сброса от КНС целесообразно реализовывать в едином комплексе, сочетающем в себе устройство повышения надёжности как для КНС и НТ, а также для повышения эффективности СВО в целом. В этой связи необходима разработка новых конструктивных решений, направленных на реализацию условий временного резервирования путём оптимизации функциональных потребностей и рациональности материальных затрат.

1.4 Задачи и пути повышения надёжности систем водоотведения на основе устройства аварийно-регулирующих резервуаров, аккумулирующей способности сети и методов структурного резервирования

Одной из важнейших задач при проектировании, строительстве и эксплуатации является достижение и сохранение состояния, в котором СВО функционирует в заданных параметрах. Рассматривая безаварийную работу СВО, следует отметить наиболее важные её участки, к которым, вне всякого сомнения, относятся КНС и НТ. Поступающие в самотечном режиме на КНС стоки имеют сосредоточенный характер и практически неуправляемы. Эти факторы в случае внезапного отказа КНС или НТ в значительной степени оказывают существенное влияние на масштабы загрязнений окружающей среды [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59]. Известные на сегодняшний день методы повышения надёжности основаны на элементной избыточности, достигая требуемого уровня надёжности путём увеличенной численности однотипных по функциональности

элементов в одном случае и путём организационно-технических мероприятий в другом.

Показатель надёжности системы в теории может быть достаточно высоким, кроме абсолютного, и вопрос заключается только в том, чтобы ограничить этот показатель более приемлемым с экономической точки зрения значением [18].

При всем многообразии различных подходов к повышению надёжности технических систем, эффективного метода достичь абсолютной надёжности надёжность НТ и КНС пока не найдено. Численное увеличение отдельных элементов, как показала практика, не даёт требуемой эффективности. Дублирование НТ практически вдвое увеличивает стоимость напорного участка, однако при выходе из строя КНС участок напорных трубопроводов безрезультатно простаивает. Увеличение численности насосных агрегатов потребует изменения габаритных размеров корпуса самой станции, а, следовательно, возрастёт объём земляных работ, кроме этого, вдвое увеличится блок пусковой автоматики и объём эксплуатационных мероприятий, при этом численное превосходство элементов безрезультатно при сбоях электроэнергии.

Инвестиции на обеспечение КНС автономными источниками электроснабжения сложно обосновать в условиях перспективного развития бассейна водоотведения, так как фактическое энергопотребление основной группы НА может значительно измениться при увеличении численности или потребности абонентов, более того формирование оперативного резерва в этих условиях также нецелесообразно. Кроме этого, возникнет необходимость дополнительных расходов в бюджете для формирования и содержания профильных эксплуатационных подразделений и технических средств.

Повышение надёжности СВО с применением резервуаров, как показала практика, весьма неоднозначно с позиции эффективности. Применение известных типов цилиндрических резервуаров рисунок 5 в качестве элементов временного резервирования функционально неоправданно. Причина тому – заиливания донной части в меж цикловых интервалах времени, что приведёт к значительному удорожанию эксплуатационных затрат, связанных с очисткой осадка.

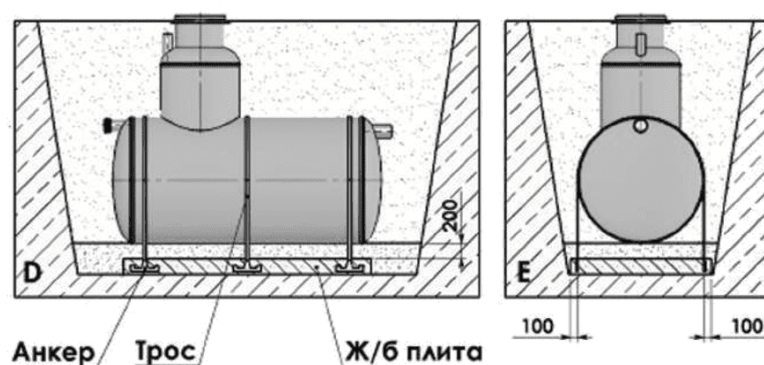


Рис. 5 Подземный накопитель цилиндрической формы из полимерного материала ФлоТенк ёмкостью 150 м³ предназначен для накопления и хранения различного рода жидкостей (хозяйственно – бытовые, производственные сточные воды и т.д.) в подземном положении [60].

Также реализация цилиндрических ёмкостей в качестве АРР малоэффективна в городской черте в виду колоссальных объёмов земляных работ и восстановления благоустройства, кроме этого, местоположение резервуара существенно ограничивает функциональное использование территории, возведение в непосредственной близости или под автомобильными дорогами подобного типа сооружений недопустимо с точки зрения безопасности. Немаловажным аргументом является среда эксплуатации резервуара, возведение в сложных гидрологических условиях потребует балластирования ёмкости путём введения элементов пригруза и элементов крепления, которые потребуют дополнительной защиты в виде гидроизоляции от агрессивной среды грунтовых вод. Так же данный тип резервуара не удовлетворит потребности по функциональному назначению, так как необходимы дополнительные насосы для откачивания воды либо в случаях самотечного опорожнения, наполнение возможно от НТ, в этом случае резервуар не повышает надёжности КНС.

Описанные ранее резервуары прямоугольной формы в п. 1.3 рисунок 6 решают небольшой перечень задач – аккумулярование СВ в период аварийного отключения НТ и усреднение суточной неравномерности на объектах, расположенных после перекачивающих станций, при этом не повышается надёжность КНС.

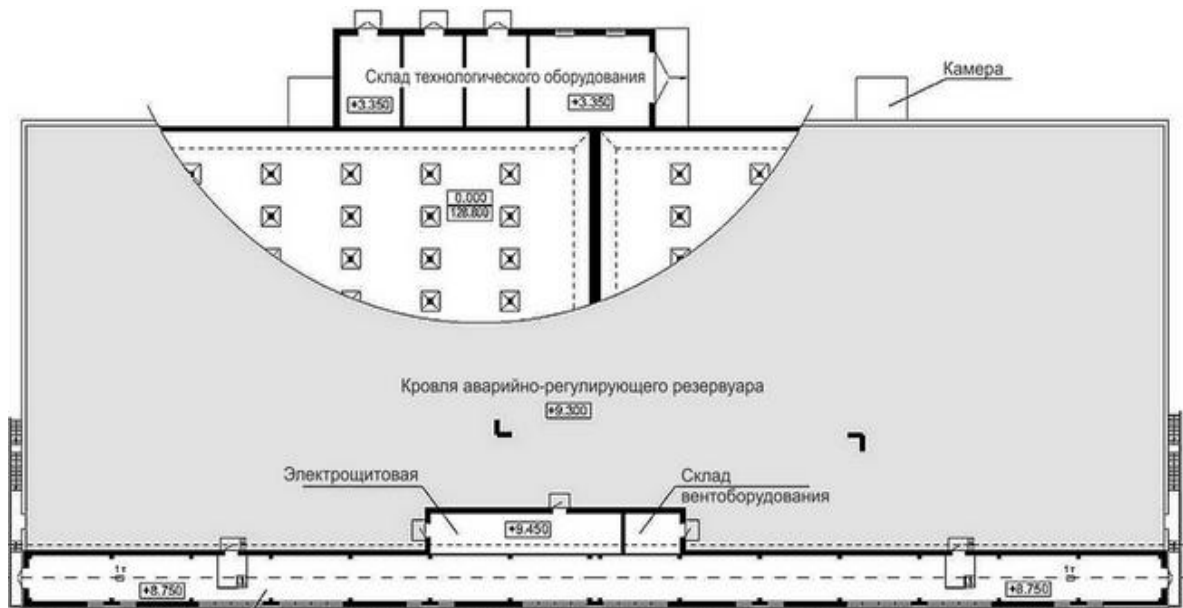


Рис. 6 План аварийно-регулирующего резервуара [14].

Поэтому данный тип аварийно-регулирующих резервуаров весьма ограничен в применении.

Зарубежный опыт устройства АРР можно рассмотреть на примере противопаводкового коллектора (Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel) в просторечии «G-Cans», возведённого в пригороде г. Токио (Япония) рисунок 7, 8 оказывает уникальность технического решения, в основе которого лежит закрытый способ прокладки тоннелей. Данное гидротехническое сооружение призвано зарегулировать избыточный объём воды от близлежащих рек Нака, Курамутсу и Отостуфурутон в паводковый период с последующим опорожнением в русло реки Эдогава.

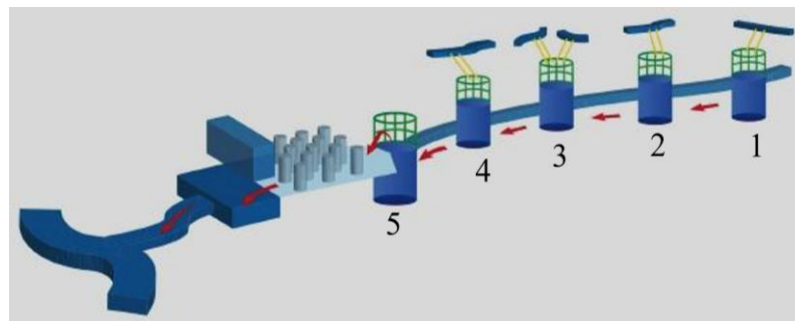


Рис. 7 Токийский противопаводковый коллектор [61].

Возведение этого колоссального сооружения заняло 13 лет и было завершено в 2006 году [44]. В состав этого сооружения было запроектировано 5 подземных вертикально расположенных цилиндрических ёмкостей диаметром 32 м (см.

рисунок 7), при этом, заглубление их составляет порядка 72 м. Наполнение свободной ёмкости осуществляется по специальным каналам из вышеуказанных рек. Сообщаются вертикальные ёмкости между собой посредством туннелей диаметром 10,6 м и длиной порядка 6,3 км, по принципу сообщающихся сосудов [61]. В состав сооружения входит подземная галерея размером 25,4x177x78 м, а монолитное перекрытие опирается на 59 колонн рисунок 8 [61].



Рис. 8 Большой зал Токийского противопаводкового коллектора [61].

В конце зала стационарно установлено четыре гидронасоса, приводом для которых является газовые турбины суммарной производительностью 200 м³/сек [61]. Бесспорная уникальность этого сооружения для зарегулирования поверхностных вод очевидна, однако опорожнение данного вида сооружений осуществляется традиционно – посредством насосов.

Возведённый механизированной проходкой с активным пригрузом противопаводковый туннель SMART в Куалу – Лумпур (Малайзия) рисунок 9 является самым протяжённым туннелем в Юго-Восточной Азии, уступая автомобильному туннелю Сюэшань в Тайбэе (Тайвань), ориентирован на решения двух важных задач: защита Куалу-Лумпур и окрестностей от затопления в период паводковых вод и разгрузка внутренних автомобильных магистралей [62].

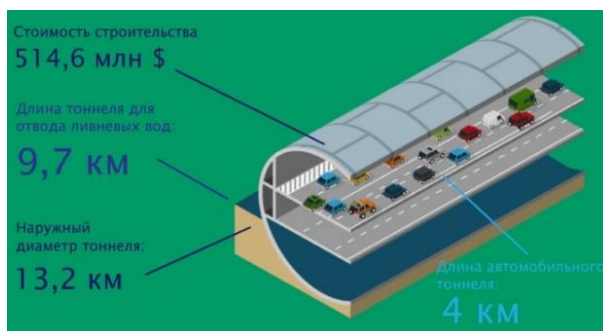


Рис. 9 Общий вид противопаводкового туннеля SMART [62].

Протяжённость туннеля для отвода паводковых вод составила – 9,7 км, автомобильного участка – 4 км, внешний диаметр – 13,2 м

Эксплуатация SMART Tunnel имеет 3 режима [62]:

1. Эксплуатация сооружения при нормальных погодных условиях (приток в тоннеле не наблюдается);
2. Поступление паводковых вод в нижнюю часть туннеля под автомагистраль, автотранспортное сообщение продолжается;
3. Автотранспортное сообщение прекращено, происходит заполнение верхнего уровня.

По завершению режима зарегулирования туннель очищается, автодорога начинает функционировать в течение 48 часов.

Развитие крупных городов тесным образом сопряжено с увеличением нагрузки на канализационные сети, поэтому возникает вопрос в увеличении пропускной способности существующих трубопроводов и сооружений. Кроме этого, параллельно ставится вопрос о повышении надёжности существующих и вновь возводимых элементов. Как упоминалось выше, наиболее важными элементами СВО являются КНС и НТ, аварии на которых наиболее остро отражаются на экологическом благополучии территории. Как уже отмечалось, наибольшую опасность загрязнения природных источников питьевой воды несут именно канализационные стоки и в рамках предотвращения этого ряд современных правил и требований претерпели значительные изменения, направленные на улучшения экологической обстановки.

Для реализации проектов развития городов и реконструкции СВО необходимы новые и комплексные решения, позволяющие с максимальной эффективностью достичь требуемого результата. Как показали результаты исследований [18], временное резервирование открывает дополнительные возможности в существующих СВО, а также повышает надёжность архиважных её элементов. На основе этих принципов можно сформировать порядок новых критериев, предъявляемых к технологическому оборудованию. Совершенно очевидно, что средством для сбора и хранения СВ может быть только абсолютно герметичный резервуар, способный принимать, аккумулировать необходимое количество жидкости с последующей её выдачей. Процесс наполнения и опорожнения резервуара должен быть эффективным, выполняться самотёком без использования насосов. При отключении электроснабжения поступающие стоки должны безопасно без сброса в окружающую среду отводиться от КНС в герметичную ёмкость, накапливаться в ней расчётное время, а после выполнения восстановительных мероприятий в самотечном режиме опорожняться. Эффективное управление СВО может быть достигнуто в том случае, если наполнение резервуара на период аварии или в период зарегулирования избыточного расхода выполняется самотёком из подводящего к КНС коллектора, а опорожнение – в самотечном режиме в насосную станцию.

Таким образом, первой составляющей, которая определяет возможность осуществления данного решения, является функциональная взаимосвязь резервуара с КНС. Объединение этих сооружений в единый комплекс и разработка оптимальных алгоритмов их функционирования, обеспечат достижение высоких показателей надёжности КНС и НТ, а также гарантируют безопасный отвод СВ на период ликвидации аварии.

Следующим аргументом, определяющим целесообразность реализации данного проекта, является закрытый способ возведения, предусматривающий минимальные объёмы выработки грунта в открытых котлованах с минимальными ограничениями в условиях городской застройки и автомобильных дорог. Кроме этого, технологией возведения резервуара должно быть предусмотрено

минимизация массовых выносов подземных и наземных элементов инженерной инфраструктуры города при производстве строительных работ.

Завершая перечень аспектов, следует заострить внимание на эксплуатационную эффективность самого резервуара, при работе которого неизбежен осадок, образываемый при хранении СВ. Решение этой задачи в равной степени необходимо для нормального функционирования природоохранного комплекса. Кроме этого, совместная работа технологического оборудования двух сооружений требует отдельного подхода к организации АСУ и общего контроля.

Очевиден комплексный подход к повышению надёжности СВО, основанный на сочетании временного резервирования, использования аккумулирующей способности самотечных коллекторов, структурного резервирования трубопроводных участков сети и сооружений (параллельная прокладка участков сети, кольцевание и др.).

Из сказанного можно выделить ряд признаков, проработка которых позволит сформировать концепцию для реализации метода временного и структурного резервирования СВО с применением АРР при КНС и в сети, аккумулирующей способности самотечных трубопроводов, нагруженного и холодного резервирования участков сети. Решение этой задачи будет заключаться в поиске таких решений и выбора мероприятий временного и структурного резервирования, которые бы минимизировали стоимость их жизненного цикла и обеспечили бы требуемые количественные и вероятностные показатели надёжности СВО в целом.

Выводы по главе 1

1. Проведённый анализ существующих систем водоотведения указал на их неудовлетворительное техническое состояние, низкую надёжность функционирования и управляемость, неэффективность режимов эксплуатации и значительную затратность их содержания.

2. Изменилась нормативная база проектирования и эксплуатации СВО в части недопустимости сброса неочищенных сточных вод на поверхность земли при возникновении и ликвидации аварийных ситуаций.

3. Опыт применения аварийно-регулирующих и аккумулирующих резервуаров в сети СВО показал на эффективность этих устройств и вскрыл некоторые недостатки, требующие доработки и разработки новых конструкций АРР.

4. Требуется разработка новой концепции для реализации методов временного и структурного резервирования СВО с применением АРР при КНС и в сети, использование аккумулирующей способности самотечных коллекторов, нагруженного и холодного резервирования участков сети.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВРЕМЕННОГО И СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

2.1 Оценка экономической эффективности применения методов временного и структурного резервирования централизованных систем водоотведения

Эффективное функционирование систем водоотведения напрямую зависит от бесперебойного взаимодействия канализационных сооружений, в число которых входят канализационные насосные станции и напорные трубопроводы [63, 64, 65, 66, 67].

В актуализированном издании СП 32.13330.2018 изложены рекомендации: согласно пункта 4.15 – для поддержания надёжности системы водоотведения необходимо предусматривать резервирование её элементов, поддерживать работоспособное состояние посредством эффективных мер эксплуатации; пункт 8.2.6 гласит, что количество канализационных напорных трубопроводов следует принимать обоснованно технико-экономическим расчётам с учётом свободной ёмкости сети, а также регулирующей ёмкости.

В дополнительных требованиях, п. 12.1.2, сказано о том, что на стадии проектирования систем водоотведения селитебных территорий и промышленных предприятий, расположенных в сейсмических районах, следует принимать меры недопущения разлива стоков на поверхность земли и в водоёмы при аварии на канализационных сооружениях.

Сейсмические районы Российской Федерации населяют порядка 40 млн. человек [46], поэтому, при реализации централизованного водоотведения возникает потребность в разработке технических решений, исключающих попадание неочищенных стоков в окружающую среду, а также необходимо проводить оценку экономических и экологических мероприятий [68].

В том случае, если возникла авария на одном трубопроводе, резервный должен подхватывать его функцию и транспортировать расчётный расход [68].

Однако следует обратить внимание на то, что присутствует и альтернативный вариант исполнения, а именно оснащение КНС одним напорным трубопроводом и аварийно-регулирующим резервуаром (АРР), при этом объём его будет проектироваться исходя из расчётного времени, необходимого для ликвидации аварийной ситуации на напорном трубопроводе или насосной станции [68]. Кроме этого, целесообразно рассматривать использование аккумулирующей способности самотечных коллекторов системы водоотведения [68]. Очевидно, если напорные трубопроводы от станции имеют небольшую длину, то по сравнению с АРР будет оправданно. [68]. В случае определённой протяжённости двух трубопроводов, устройство АРР и одного трубопровода по затратам жизненного цикла может оказаться приоритетным [68].

Исходя из вышеизложенного ставится вопрос об определении границ эффективного применения АРР для насосной станции и разработке конструктивных решений самого резервуара, который можно было адаптировать в условиях городской застройки [68].

Исследованиями выявлены области применения АРР, где величинами, определяющими зависимость, являются длина трубопровода и расход насосной станции. Произведена оценка стоимости затрат жизненного цикла (СЖЦ) вариантов комплектации насосных станций [68]:

КНС плюс один напорный трубопровод и АРР;

КНС плюс один напорный трубопровод;

КНС в сочетании с двумя напорными трубопроводами.

При выполнении анализа экономической эффективности возможных вариантов ключевым критерием выступает стоимость затрат жизненного цикла. Данный критерий суммирует перечень всех капитальных и эксплуатационных затрат, включая новейшие технологические разработки и автоматизацию управления. В соответствии с ГОСТ Р 58785-2019 (формула 5) критерий СЖЦ содержит следующие [68]:

$$\text{СЖЦ} = \sum_{t=t_1}^T \frac{C_t^{3+c} + C_t^{\text{пп}} + C_t^0 + C_t^{\text{М}}}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_2}^T \frac{C_t^{\text{э}} + C_t^{\text{от}} + C_t^{\text{п}} + C_t^{\text{нз}} + C_t^{\text{зущ}}}{(1+r)^t} + C_d, \quad (16)$$

где: к первому слагаемому относится – капитальные затраты в систему водоотведения, инвестируемые в проект, начиная с времени t_1 до завершения срока жизненного цикла T ; следующее слагаемое есть ежегодные расходы на эксплуатацию с момента ввода в эксплуатацию каждого этапа осуществляемого проекта t_2 до завершения срока жизненного цикла T ; $(1 + r)^t$ – коэффициент дисконтирования, где r – показатель ставки дисконтирования; C_t^{3+c} – единовременные капитальные расходы на покупку земельного участка за период t (расходы на получения соответствующих разрешений и затраты на присоединение к инженерным коммуникациям); $C_t^{пр}$ – капитальные расходы на проектные, научно-исследовательские работы за время t ; C_t^o – капиталовложения в осуществление строительства и реконструкции объекта за время t ; $C_t^м$ – затраты, связанные с монтажными и пусконаладочными работами (СМР и ПНР) за t – период; $C_t^э$ – общая стоимость расходов на электроэнергию за период t ; $C_t^{от}$ – расходы, понесённые на обслуживание и выплату фонда оплаты труда; $C_t^р$ – затраты, связанные с работами по ремонту, а также сервисному и техническому обслуживанию; $C_t^{нз}$ – расходы на непредвиденные обстоятельства; $C_t^{зущ}$ – затраты по охране окружающей среды; C_d – затраты, понесённые на вывод объекта из эксплуатации.

В данной работе для определения наиболее эффективного варианта регулирования аварийного стока в качестве расчётной модели была рассмотрена функционирующая главная канализационная насосная станция (ГКНС №18а) в г. Иркутске [68]. ГКНС №18а в оснащении имеет два напорных трубопровода диаметром 1000 мм длиной 3,13 км каждый. На сегодняшний день срок службы напорных трубопроводов, выполненных из стали, подошёл к концу. В связи с этим требуется замена устаревших трубопроводов на новые, выполненные из полиэтилена. Также возможен вариант строительства АРР при КНС с одним напорным трубопроводом [68].

Рассмотрим вышеперечисленные варианты и произведём их оценку СЖЦ на основе укрупнённых стоимостных показателей, изложенных в актуализированных НЦС-81-02-14-2023 и НЦС-81-02-19-2023 [68].

Проведём оценку СЖЦ вариантов, в основу которых положим укрупнённые стоимостные показатели НЦС-81-02-14-2023 и НЦС-81-02-19-2023 [68].

Расходы за год на эксплуатацию $C_t^{\text{экс}}$, тыс. руб/год, приняты согласно норматива «Рекомендаций по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства» (приказ Минстроя России от 15 июня 2020 г. № 316/пр), а также согласно приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 23 марта 2020 г. № 154/пр «Об утверждении Типовых отраслевых норм численности работников водопроводно-канализационного хозяйства» [68].

Капитальные затраты в вариант, предусматривающий устройство АРР при КНС, будут формироваться из расходов на возведение АРР и напорного трубопровода из полиэтилена в одну нитку. Примем срок жизненного цикла для АРР и КНС равным 100 лет, срок службы трубопроводов, выполненных из полиэтилена, – 50 лет. В итоге получим:

$$K_{\text{арр}} = 3308641,16 + 130796,93 \cdot V, \quad (17)$$

где: V – расчётный полезный объём АРР, м^3 , который в соответствии с СП 32.13330.2018 определяется из времени необходимого для восстановления аварии на напорном трубопроводе, равным не менее 6 часов. Для КНС, имеющей производительность равной 17 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. необходимый объём АРР будет составлять 4250 м^3 . Следовательно, $K_{\text{арр}} = 559195,59$ тыс. руб.

Эксплуатационные затраты на АРР вычисляются согласно [68] по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{арр}} = 0,164 \cdot K_i + (0,06 \cdot x_i + 210,2) \cdot 3P_{\text{ср}} = 0,164 \cdot 24405,16 + \left(0,06 \cdot \left(\frac{17000}{\frac{27}{3,6}} \right) + 210,2 \right) \cdot 65 = 1843,81 \text{ тыс. руб. в год}, \end{aligned} \quad (18)$$

где: K_i определяется по формуле:

$$K_i = K_{\text{КНС}} + 1,07 \cdot (286,6 \cdot x^{0,515} \cdot T^{0,15} \cdot z^{0,286} - 294,7 \cdot x^{0,257} \cdot T^{0,08} \cdot z^{0,14} + 5123,9) \cdot 9,091 \cdot 10^{-2}, \quad (19)$$

$$K_i = 257143,1 + 1,07 \cdot \left(286,6 \cdot \left(\frac{17000}{3,6} \right)^{0,515} \cdot 1^{0,15} \cdot 5,01^{0,286} - 294,7 \cdot \left(\frac{17000}{3,6} \right)^{0,257} \cdot 1^{0,08} \cdot 5,01^{0,14} + 5123,9 \right) \cdot 9,091 \cdot 10^{-2} = 24405,16 \text{ тыс. руб.}$$

где: x – расход сточной жидкости, л/с.

$$K_{\text{КНС}} = 1211,4 \cdot x_i + 18789, \quad (20)$$

$$K_{\text{КНС}} = 1211,4 \cdot \left(\frac{17000}{3,6} \right) + 18789 = 257143,17 \text{ тыс. руб.}$$

Оценка капитальных и эксплуатационных затрат на напорные трубопроводы выполнена на основе НЦС-81-02-14-2023 по формулам [68]:

$$K_{\text{сжц,тр}} = (16032,9 \cdot x^{0,515} - 11140,2 \cdot x^{0,257} + 10012) \cdot L, \quad (21)$$

$$K_{\text{сжц,тр}} = \left(16032,9 \cdot \left(\frac{17000}{3600} \right)^{0,515} - 11140,2 \cdot \left(\frac{17000}{3600} \right)^{0,257} + 10012 \right) \cdot 3,132 = 30120,1,$$

где: x – расход сточной жидкости, м³/с; L – длина трубопровода, (3,132км).

Капиталовложения в строительство трубопроводов диаметром 1000 мм и протяжённостью 3,132 км в соответствии с таблицей 14-07-004 НЦС-81-02-14-2023 составляют 37994,29 тыс. руб. на 3,132 км и равны 118998,12 тыс. руб.

Эксплуатационные затраты на напорный трубопровод, тыс. руб. вычисляются из зависимости стоимости жизненного цикла по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = 0,921 \cdot K_{\text{сжц,тр}} = 27740,61. \quad (22)$$

Результаты вычисления стоимости затрат от протяжённости трубопровода представлен в таблице 2.

Таблица 2

Стоимости затрат

Л тр., км.	1	2	3	3,132	4	5
Кап. затраты	37994,29	75988,58	113982,9	118998,1	151977,2	189971,5
СЖЦ за 50 лет	480844,5	961689	1442534	1506005	1923378	2404223
Экспл. 50 лет	442850,21	885700,4	1328551	1387007	1771401	2214251

Вариант КНС с двумя нитками напорных трубопроводов, существующий в данное время, $(118998,12 \cdot 1,94)$, по капиталовложениям составляет 230856,35 тыс. руб. Годовые эксплуатационные затраты для двух трубопроводов $(27740,61 \cdot 2)$ составляют 55481,22 тыс. руб. Эксплуатационные затраты АРР плюс 1 трубопровод $(18432,81 + 27740,61)$ за один год составят 46173,42 тыс. руб.

Таким образом, по капиталовложениям вариант АРР+1 трубопровод $(118998,12 + 559195,59)$ составят – 678193,71 тыс. руб., а вариант с двумя трубопроводами 230856,35 тыс. руб. Следовательно, вариант с двумя трубопроводами будет более выгоден, нежели вариант – АРР плюс 1 трубопровод. Однако, если представить эти варианты с позиции затрат СЖЦ, то в результате получается, что за 100 – летний период эксплуатации по варианту с АРР будет необходима замена изношенных труб на новые (поскольку их ресурс составляет 50 лет). Эксплуатационные затраты за 100 лет $((18432,81 + 27740,61) \cdot 100)$ составят 4617342 тыс. руб. Следовательно, СЖЦ $(559195,59 + 4617342)$ будет равна **5176537,59** тыс. руб.

Рассматривая два варианта исполнения: КНС и два напорных трубопровода $(118998,12 \cdot 1,94)$, то при единовременных капитальных затратах в сумме 230856,35 тыс. руб. по истечению 50 лет будут необходимы дополнительные капиталовложения в размере 230856,35 тыс. руб. Расходы на эксплуатацию за 100 летний период составят 5548122 тыс. руб. Из изложенного можно сделать вывод, что СЖЦ $(461712,7 + 5548122)$ будет составлять **6009834,7** тыс. руб. В процентном соотношении разница между вариантами будет следующей:

$$100 - \left(5176537,59 \cdot \frac{100}{6009834,7} \right) = 13,9\%.$$

Таким образом, очевидно, что, даже не учитывая коэффициент дисконтирования, за 100 лет непрерывной эксплуатации приоритетным, с экономической точки зрения, будет являться вариант с устройством АРР и одним напорным трубопроводом.

Для определения более приоритетного варианта с позиции СЖЦ проведём исследование с учётом суточной производительности насосной станции и длины

напорного трубопровода [68]. Для этого варьируя значениями суточного расхода КНС в пределах 5-50 м³/сут и протяженности напорных трубопроводов от 0 до 4 км, произведем расчёт согласно формулам (21)-(26) стоимость затрат жизненного цикла и отобразим их на графиках (рисунок 10-16) [68].

На рисунке 10 для КНС производительностью в 5000 м³/сут графически отображены варианты зависимости стоимости затрат жизненного цикла напорных трубопроводов, выполненных в одну нитку с устройством АРР, а также в две нитки, от протяжённости данных трубопроводов [68].

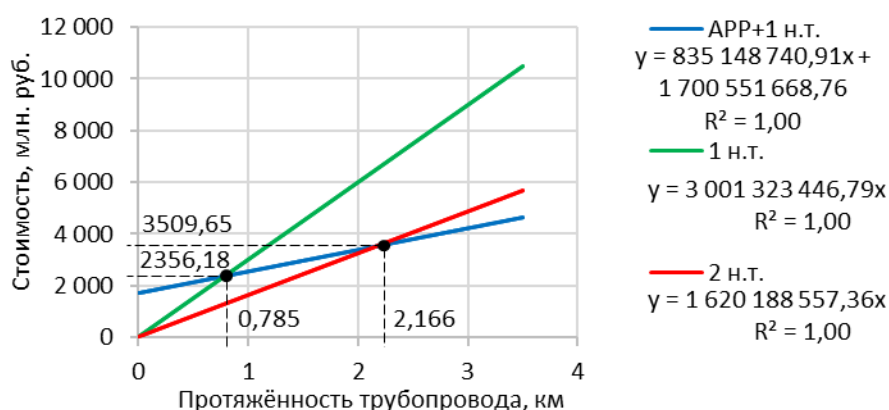


Рис. 10 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 5 тыс. м³ [68].

Из построенного графика зависимостей рисунок 10 можно определить, что при протяжённости напорного трубопровода менее 2,166 км с экономической точки зрения более выгоден для КНС вариант с двумя напорными трубопроводами. Однако при увеличении протяжённости напорного участка предпочтительнее вариант с одним трубопроводом и АРР [68]. Если привести к сравнению вариант, состоящий из КНС и одного напорного трубопровода, и вариант станции, оснащённой АРР, то согласно графику зависимости рисунок 10, очевидно, что первый вариант будет экономически целесообразен только при длине трубопровода 785 м [68]. Анализируя сочетание КНС и одного напорного трубопровода с вариантом, содержащим АРР, то второй случай будет экономически привлекателен при длине трубопровода более 0,785 км [68].

К вышеизложенному следует добавить, что при построении линии тренда для случая с одним трубопроводом (в действующих системах подобные условия имеют место быть) учитываются затраты на выполнение восстановительных мероприятий и расходы на возмещение вреда, причинённого почвам вследствие разлива неочищенных сточных вод [68].

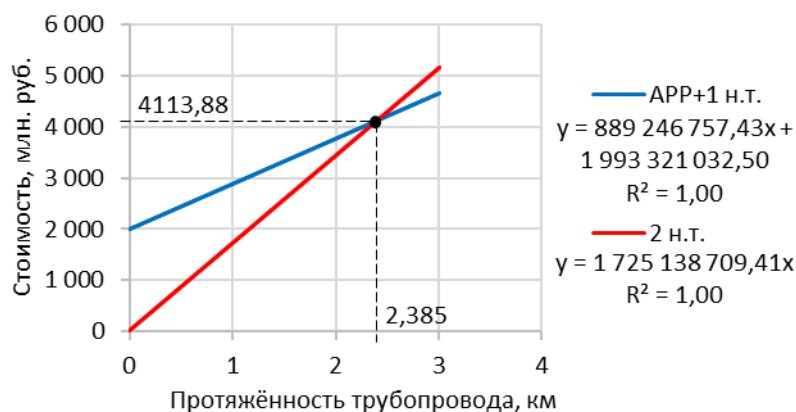


Рис. 11 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 10 тыс. м³ [68].

Сопоставление варианта, содержащего КНС и один трубопровод, к варианту с устройством APP показало крайне малые значения при увеличении расхода. Соответственно, данный вариант не представляет экономического интереса и в дальнейшем отражаться на графиках не будет.

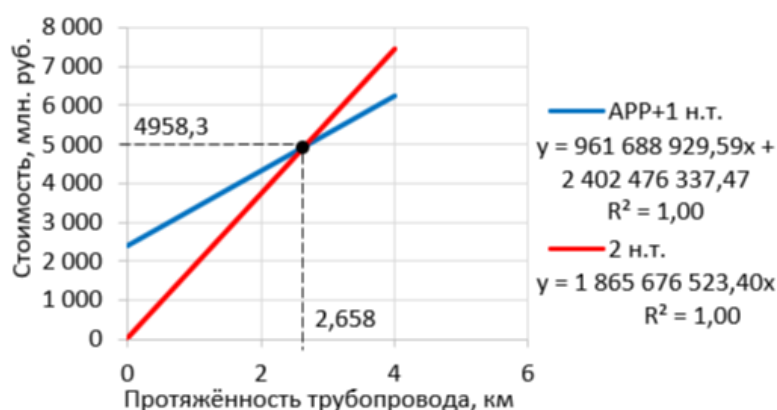


Рис. 12 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 17 тыс. м³ [68].

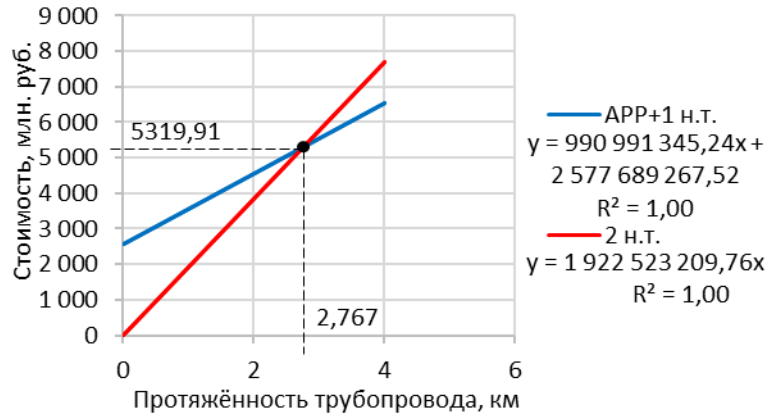


Рис. 13 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 20 тыс. м³ [68].

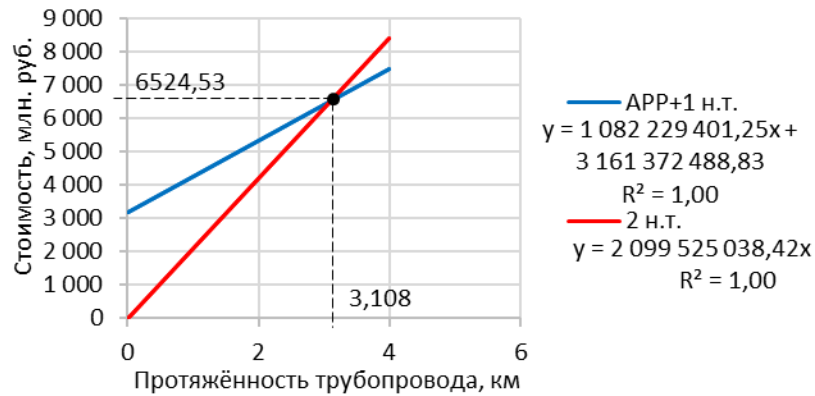


Рис. 14 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 30 тыс. м³ [68].

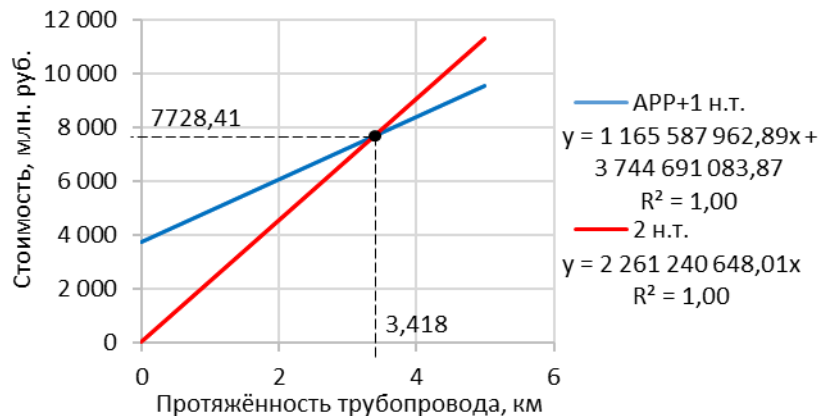


Рис. 15 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 40 тыс. м³ [68].

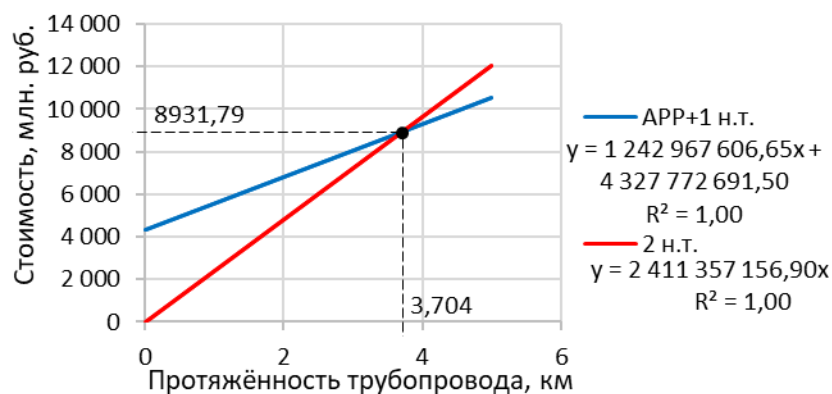


Рис. 16 Зависимость стоимости жизненного цикла КНС от протяжённости напорного трубопровода за 100-летний период с суточным расходом 50 тыс. м³ [68].

Из полученных зависимостей рисунок 11 очевидно, что при суточном расходе насосной станции 10 тыс. м³ и протяжённости напорного участка более 2,385 км экономически целесообразно строить КНС в сочетании с двумя напорными трубопроводами, а в том случае, если протяжённость превышает указанные значения, выгоден вариант содержащий APP и один напорный трубопровод. На рисунках 10-16 отображены зависимости СЖЦ от протяжённости напорных линий для КНС с суточным расходом в диапазоне от 5 до 50 тыс. м³. [68].

Следовательно, графики зависимостей рисунок 10-16, достаточно информативно отображают области возможного использования APP в системах водоотведения [68].

В результате вычисленных точек пересечения графиков APP с одним трубопроводом и двумя трубопроводами достаточно легко построить функцию определяющую эффективность APP в составе канализационных насосных станций, в зависимости от протяжённости напорных трубопроводов и производительности КНС рисунок 17 [68].

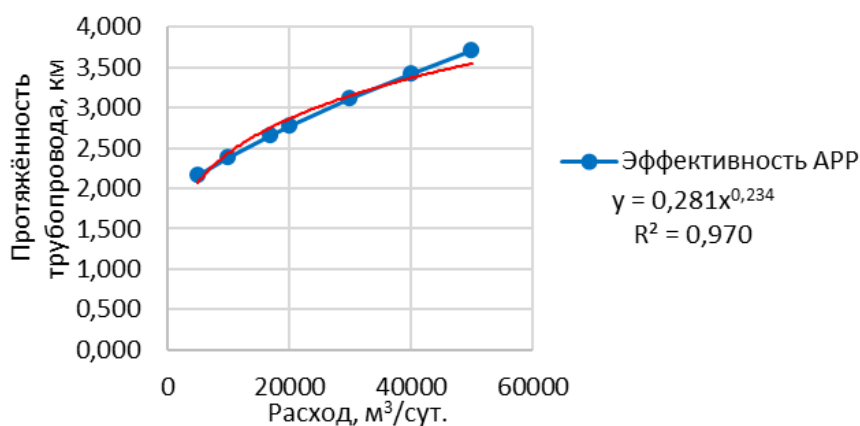


Рис. 17 Зависимость эффективности устройства АРР от протяженности напорного трубопровода и производительности КНС [68].

Эта зависимость представлена на рисунке 8 и хорошо аппроксимируется следующей формулой [68]:

$$L_{\text{тр}} \geq 0,281 \cdot x_{\text{КНС}}^{0,234}, \quad (23)$$

где: $L_{\text{тр}}$ – протяженность напорного трубопровода, км; $x_{\text{КНС}}$ – расход КНС, м³/сут.

Практическое применение неравенства (23) актуально в тех случаях, когда требуется определить для новой или действующей насосной станции целесообразность устройства варианта, состоящего из АРР и одного напорного трубопровода. В тех случаях, когда неравенство (23) не выполнимо, следует насосную станцию оснащать двумя напорными трубопроводами [68].

Система водоотведения города Иркутска содержит 33 КНС, основные характеристики этих станций представлены в таблице 3.

Характеристика КНС города Иркутска [68].

№ п/п	КНС	Расход, м ³ /сут	D _y , мм	Количество существующих напорных трубопроводов, шт.	L _{тр.факт} , км	L _{тр.раст} , км	Оснащение согласно условию (28)
1	ГКНС	17028	700	1	1,8	2,747	2 н. т.
2	КНС-2	2501	500	2	2,455	1,753	APP + 1 н. т.
3	КНС-3	2558	700	1	1,907	1,763	APP + 1 н. т.
4	КНС-4	9000	800	2	1,429	2,366	2 н. т.
5	КНС-5	1915	300	2	0,429	1,647	2 н. т.
6	КНС-5А	2815	400	2	0,195	1,803	2 н. т.
7	КНС-7	13695	500	2	1,524	2,610	2 н. т.
8	КНС-7А	403	200	2	0,761	1,144	2 н. т.
9	КНС-9	759	200	2	0,06	1,326	2 н. т.
10	КНС-11	35	300	2	0,362	0,646	2 н. т.
11	КНС-11А	300	400	2	0,768	1,067	2 н. т.
12	КНС-12	1615	500	2	1099	1,583	2 н. т.
13	КНС-14	932	600	2	4,93	1,392	APP + 1 н. т.
14	КНС-15	11764	800	2	1,349	2,519	2 н. т.
15	КНС-18	46	300	2	0,362	0,688	2 н. т.
16	КНС-18А	17000	1000	2	3,132	2,746	APP + 1 н. т.
17	КНС-19	8652	500	1	1,538	2,344	2 н. т.
18	КНС-19А	5935	500	2	3,293	2,146	APP + 1 н. т.
19	КНС-20	21000	1000	2	3,777	2,885	APP + 1 н. т.
20	КНС-20А	40181	1000	2	5,328	3,358	APP + 1 н. т.
21	КНС-21	7350	800	2	1,905	2,256	2 н. т.
22	КНС-22	5547	400	2	1,17	2,113	2 н. т.
23	КНС-23	21112	700	2	2,191	2,888	2 н. т.
24	КНС-23км	64	150	1	0,85	0,744	APP + 1 н. т.
25	КНС-24	52306	1000	2	16,223	3,571	APP + 1 н. т.
26	КНС-27	200	200	2	0,931	0,971	2 н. т.
27	КНС-30	1477	400	2	2,216	1,550	APP + 1 н. т.
28	КНС-30А	70	200	1	0,086	0,759	2 н. т.
29	КНС-31	45	150	1	0,146	0,685	2 н. т.
30	КНС-1258	100	200	1	0,056	0,825	2 н. т.
31	КНС-Вьюжная	62	150	1	0,208	0,738	2 н. т.
32	КНС Березовый	1850	300	2	0,65	1,634	2 н. т.
33	КНС-Луговое	1800	300	2	0,7	1,623	2 н. т.

Применяя неравенство (23) для каждой станции, можно выделить две группы, в которых будет обосновано то или иное решение: APP плюс 1 напорный трубопровод или 2 напорных трубопровода.

После обработки данных, представленных в таблице 4, очевидно, что 10 КНС целесообразно оснастить АРР. Полученная информация полезна при разработке схемы развития систем водоснабжения и водоотведения города Иркутска, так как обработанные данные подтверждают экономическую эффективность того или иного варианта с позиции стоимости жизненного цикла.

Из графиков, отображённых на рисунках 10-16, можно сделать вывод о том, что если капитальные затраты в АРР и затраты на его эксплуатацию будут снижены, то границы их использования будут пропорционально расширены. Подобные исследования могут быть актуальными и для других регионов, имеющих отличительные характеристики такие как сейсмичность, глубина залегания трубопроводов, цена электроэнергии и пр.

2.2 Оценка эффективности методов временного и структурного резервирования систем водоотведения в условиях вариативности подходов и особенности их реализации

Как было изложено в п 2.1, на стадии разработки проектных решений, целесообразно проводить анализ технико-экономических сравнений вариантов стоимости жизненного цикла. Поэтому с учётом новой конструкции АРР, стоимостных показателей, а также стоимости жизненного цикла проведены аналогичные исследования для различных способов возведения. Так на примере насосной станции, с условным расходом 17 тыс. м³/сут. и одним напорным трубопроводом рассмотрен вариант полимерного АРР, выполненного закрытым способом с применением балластировки внешнего корпуса рисунок 18.

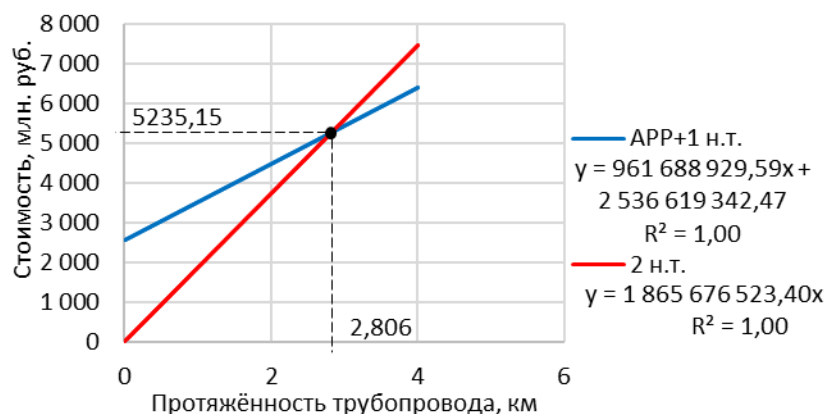


Рис. 18 Зависимость стоимости жизненного цикла полимерного APP, выполненного закрытым способом с применением балластировки, для КНС с одним напорным трубопроводом с суточным расходом 17 тыс. м³ за 100-летний период.

Из полученных значений очевидно, что при длине напорного трубопровода более 2806 м с учётом стоимости жизненного цикла выгоднее вариант с одним напорным трубопроводом. Применяя значения расхода КНС от 5 тыс. до 50 тыс. м³/сут. и протяженность трубопровода рисунок 19 получена зависимость, согласно которой, легко определить область применения APP в данном исполнении.

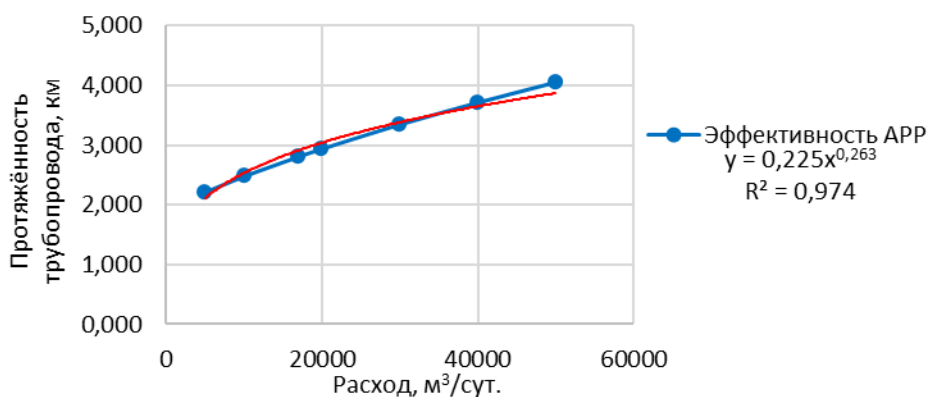


Рис. 19 Зависимость эффективности APP, выполненного закрытым способом с применением балластировки, от протяжённости напорного трубопровода и производительности КНС.

Представленная зависимость рисунок 19 достаточно хорошо аппроксимируется формулой:

$$L_{\text{тр}} \geq 0,225 \cdot x_{\text{КНС}}^{0,263} \quad (24)$$

Аналогичные исследования были проведены для следующих вариантов возведения АРР:

- полимерный АРР с устройством балласта для КНС с расходом 17 тыс. м³ и одним напорным трубопроводом, способ строительства - открытый рисунок 20, 21;

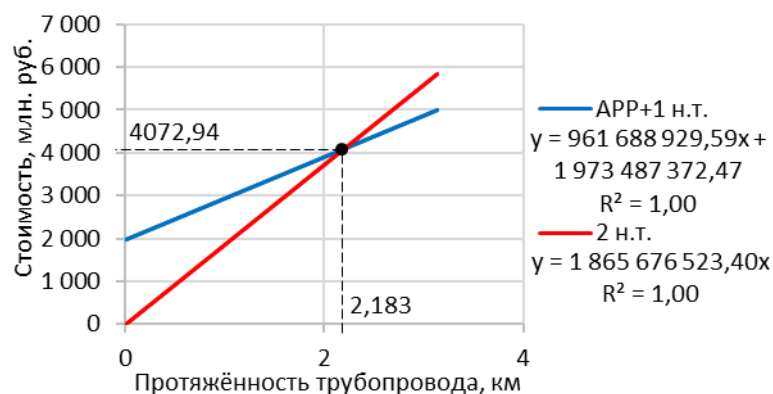


Рис. 20 Зависимость стоимости жизненного цикла полимерного АРР, выполненного открытым способом с применением балластировки, для напорного трубопровода от КНС с суточным расходом 17 тыс. м³ за 100-летний период.

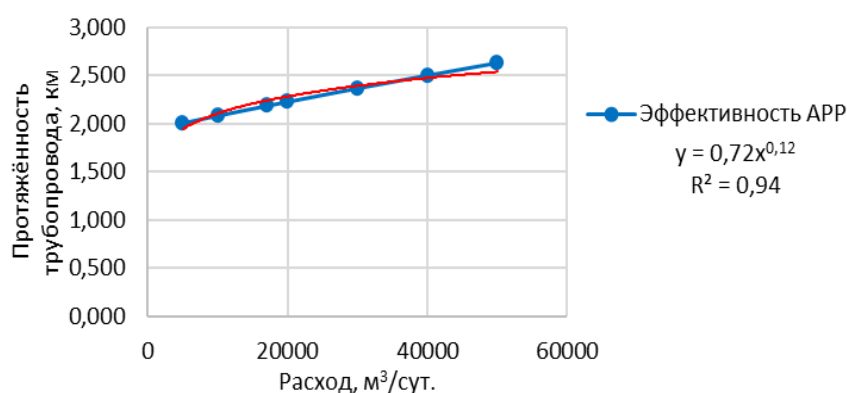


Рис. 21 Зависимость эффективности устройства АРР, выполненного открытым способом с применением балластировки, от протяжённости напорного трубопровода и производительности КНС.

$$L_{\text{тр}} \geq 0,72 \cdot x_{\text{КНС}}^{0,12} \quad (25)$$

- типовой АРР, выполненный по из железобетона для КНС с расходом 17 тыс. м³ и одним напорным трубопроводом, способ строительства - открытый рисунок 22, 23.

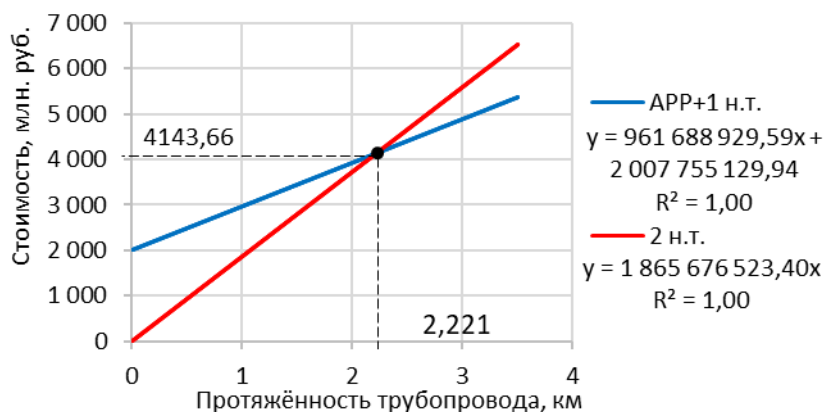


Рис. 22 Зависимость стоимости жизненного цикла железобетонного АРР, выполненного открытым способом, для напорного трубопровода от КНС с суточным расходом 17 тыс. м³ за 100-летний период.

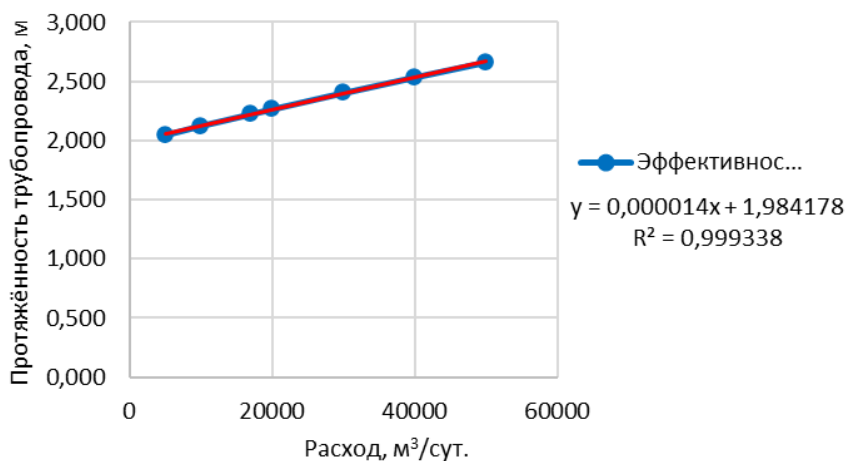


Рис. 23 Зависимость эффективности устройства АРР от протяжённости напорного трубопровода и производительности КНС.

$$L_{\text{тр}} \geq 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1,98. \quad (26)$$

Таким образом, графики, отображённые на рисунке 18-23, формируют область для применения АРР в зависимости от расхода КНС и протяжённости напорных трубопроводов.

2.3 Разработка методики вычисления объёмов аккумулирующей способности новых и эксплуатируемых самотечных коллекторов

В самотечные трубопроводы стоки поступают от абонентов и далее в пониженных участках местности на канализационные насосные станции, где перекачиваются на очистные сооружения или в другие бассейны водоотведения. В отличие от водопроводной системы, которая представляет собой кольцевую

структуру трубопроводов, системы отведения стоков имеет древовидную структуру, как наиболее подходящую для транспортировки стоков самотёком. Следует отметить, что такая структура не всегда способна обеспечить надёжность водоотведения, при аварии на любом участке древовидной сети присутствует угроза загрязнения окружающей среды. Аварийные ситуации на участках самотечной сети зачастую приводят к изливу стоков на поверхность, основные причины остановки самотечного режима следующие:

- засорение и закупорка трубопроводов;
- повреждение трубопроводов вследствие абразивного воздействия на стенки и образование сколов и переломов;
- образования сквозных свищей, разрывов стенки в напорных трубопроводах по причине гидравлических ударов, ветхости, а также в следствии механических повреждений и др.;
- отказы в работы насосных станций по различным причинам.

Безаварийная работа систем водоотведения и возможность их динамично развиваться во многом зависят от возможностей без ущерба воспринимать суточные колебания расхода. При этом, ввиду отсутствия практической возможности остановки водоснабжения в городах, организовать процесс управляемости сточными водами весьма затруднительно. Одним из способов решения этих проблем является так называемое временное резервирование, когда для выполнения заданной функции применяется резервное время, необходимое для восстановления технических характеристик системы. Создание резервного интервала времени для системы водоотведения возможно посредством размещения стоков вне транспортной магистрали на этот интервал без ущерба для окружающей среды. Реализация данного способа повышения надёжности возможна посредством регулирования расхода сточных вод в незагруженном пространстве самотечных коллекторов, а также в предварительно организованных свободных ёмкостях.

Согласно действующим нормативам гидравлический расчёт самотечных трубопроводов канализации выполняется на наполнение не более 0,7, поэтому в трубопроводах от зеркала воды до «шелыги» всегда будет свободная ёмкость.

Порядок расчёта свободной ёмкости основан на определении площади сегмента $\omega_{\text{сег}}$, м^2 , определяется по формуле [69]:

$$\omega_{\text{сег}} = \frac{1}{2}[r \cdot l - a \cdot (r - h)], \quad (27)$$

где: r – радиус трубопровода, м;

l – длина дуги, м, рисунок 24, определяемая по формуле:

$$l = 0,01745 \cdot r \cdot \alpha,$$

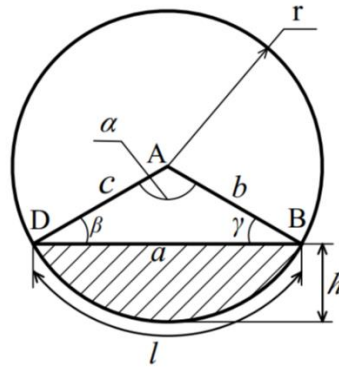


Рис. 24 Расчётная схема для вычисления свободной ёмкости самотечного коллектора.

где: α – угол° треугольника ABD рисунок 1, определяемый из теоремы косинусов по формуле [70]:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\cos \alpha - \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\sin \beta \cdot \sin \gamma}\right), \quad (28)$$

a – хорда сегмента, м, вычисляемая согласно [48] по формуле:

$$a = 2\sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)}, \quad (29)$$

h – высота сегмента, м, рисунок 1.

Если по каким-либо причинам произошла закупорка самотечного трубопровода или на время устранения аварии он был выведен из эксплуатации, то трубопроводы, расположенные перед аварийным участком и канализационные колодцы будут заполнять свободное пространство по принципу сосуда до того, как стоки начнут изливаться на поверхность. В первую очередь излив будет происходить из колодцев, имеющих наиболее низкие горизонтальные отметки. Именно эти колодцы с наименьшими отметками горловины будут определять свободную ёмкость сети. Общепринято не допускать повышение отметки уровня

стоков в канализационном колодце выше 0,2 м до крышки люка. Целесообразно на стадии проектирования самотечных сетей предусматривать их свободную ёмкость как аккумулирующую возможность на период устранения в них засоров или профилактических работ. Важно при разработке проекта канализационных насосных станций выполнять расчёт свободной ёмкости всего бассейна водоотведения на период возможной её остановки.

Как правило, данные часовых расходов по КНС контролируются специализированными организациями, в ведении которой они находятся. Поэтому используя данные суточной неравномерности можно составить наиболее вероятный график поступления сточных вод [71].

Согласно источника [13] время ликвидации аварии на трубопроводах зависит от диаметра труб и глубины заложения, также влияние оказывает индивидуальные особенности трассы, наличия транспортных магистралей и средств ликвидации от 6 до 24 ч, например, 6 ч. Определим время нештатной ситуации, при которой возникнет необходимость в наибольшей ёмкости для зарегулирования.

Алгоритм для определения времени аварии будет следующим [71].

1. Пусть аварийная ситуация возникла в 0 часов, тогда необходимая ёмкость будет составлять суммарное количество часовых расходов, поступающих в приёмное отделение станции от 0 до 6 часов утра.

2. Анализируя временные периоды возникновения аварии от 1, 2, ..., 24 ч, можно определить потребную аккумулирующую ёмкость, однако, выполнения расчётов принять максимальную.

3. Следующим этапом для этого шестичасового периода, формирующего максимальную ёмкость для зарегулирования, требуется выполнить гидравлические расчёты участков самотечных трубопроводов рассматриваемого бассейна водоотведения и вычислить для каждого трубопровода наполнение, после чего по продольному профилю сети определить их аккумулирующую возможность.

В том случае, если аккумулирующая способность окажется больше, чем требуемая ёмкость, то можно считать, что самотечная сеть трубопроводов располагает аккумулирующей способностью и на период ликвидации аварии

обеспечит зарегулирование аварийных стоков без ущерба для окружающей среды. Если требуемая ёмкость будет меньше, т.е. не способна обеспечить хранение аварийного объёма в период устранения аварии, то потребуется увеличение диаметров коллекторов или как альтернатива - установка на горловины канализационных колодцев самоблокирующих устройств (типа обратного клапана) [71]. Эти устройства создадут в трубопроводах напорный режим и создадут дополнительную аккумулирующую ёмкость [71].

2.4 Применение разработанных методов временного и структурного резервирования для повышения надёжности работы централизованной системы водоотведения на примере ГКНС №18а в г. Иркутске

Данная канализационная насосная станция принимает в самотечном режиме канализационные стоки в количестве 17 тыс. м³/сут., от бассейна канализования микрорайона Ново-Ленино и перекачивает их на левобережные очистные сооружения р. Ангара рисунок 25. Станция укомплектована 2-мя напорными трубопроводами, диаметром условного прохода 1000 мм, длиной 3,13 км. Численность населения порядка 100 тыс. жителей.

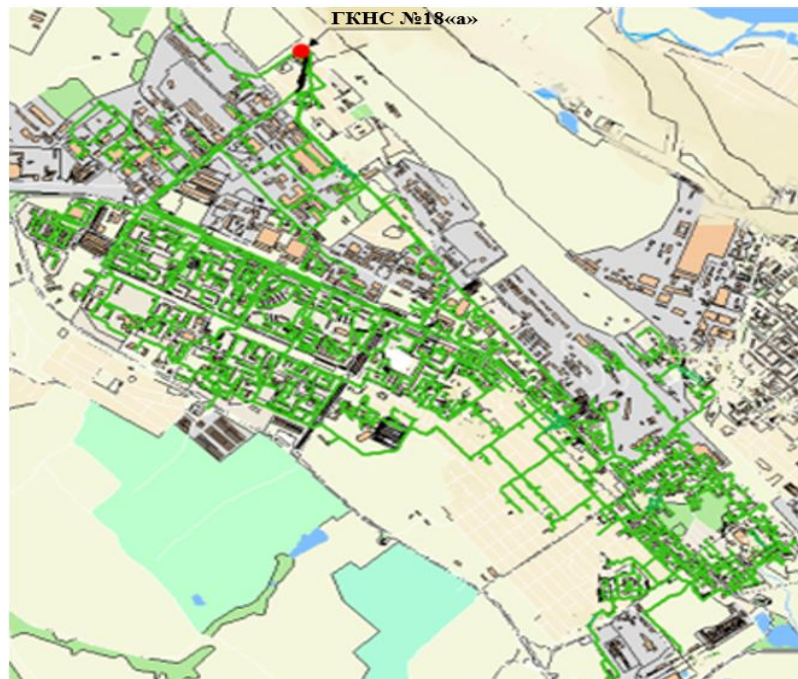


Рис. 25 Схема безнапорной системы водоотведения на ГКНС №18а [71].

В границах бассейна реализована полная раздельная система водоотведения. В результате обработки 3-х летних статистических данных по расходам станции, графически построена наиболее вероятный характеристика, суточной неравномерности рисунок 26, а числовые значения представлены в таблице 5 (столбец 3).

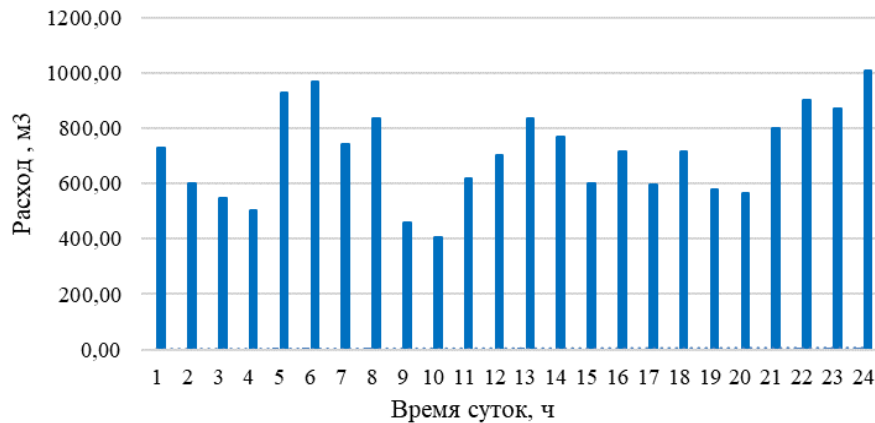


Рис. 26 График внутри суточной неравномерности притока сточных вод на ГКНС №18а в г. Иркутске [71].

Для определения времени случайного события – аварии начиная с 0 часов, найдём суммарный расход, поступающий на станцию за период локализации аварии, т.е. за 6 ч с 0-6, затем с часа ночи, т.е. с 1-7 ч и т.д. таблица 4.

Значения неравномерности притока сточных вод
на ГКНС №18а по часам суток [71]

Часы суток	Суточная неравномерность, %	Расход, Q, м ³ / час	Объем стоков при 6-ти часовой аварии V ₆ , м ³
1	2	3	4
0–01	4,285	728,391	4278,662
01–02	3,536	601,050	4293,943
02–03	3,226	548,416	4526,553
03–04	2,966	504,271	4438,263
04–05	5,463	928,741	4338,762
05–06	5,693	967,793	4026,980
06 – 07	4,375	743,672	3763,124
07 – 08	4,904	833,660	3854,810
08 – 09	2,707	460,126	3790,290
09 – 10	2,381	404,770	3929,517
10 – 11	3,629	616,959	4240,913
11 – 12	4,141	703,937	4219,893
12 – 13	4,914	835,358	4233,671
13 – 14	4,524	769,140	3977,281
14 – 15	3,526	599,352	3772,772
15 – 16	4,213	716,166	3973,122
16 – 17	3,506	595,940	4156,838
17 – 18	4,222	717,715	4432,783
18 – 19	3,406	578,967	4724,544
19 – 20	3,321	564,632	4873,969
20 – 21	4,704	799,702	4910,387
21 – 22	5,293	899,882	4659,100
22 – 23	5,129	871,885	4263,490
23 – 24	5,938	1009,477	4320,347
Всего	100	17000	-

Результаты произведённых вычислений представлены в таблице 4 (столбец 4). Как видно из табличных данных максимальный аварийный расход будет сосредоточен в промежутке времени с 21 ч, т.е., с 21 ч до 2 ч ночи рисунок 27.



Рис. 27 График максимальных значений расходов сточных вод за 6-ти часовой период ликвидации аварии [71].

Таким образом, за 6-ти часовой период устранения аварийной ситуации расход стоков, поступающий от абонентов, будет составлять 4910,4 м³. Среднечасовой расход $Q_{рас}$ л/с, будет равен 227,33 л/с:

$$Q_{рас} = \frac{V_{6 max}}{t_{ав}} = \frac{4910,387}{3,6} = 227,33 \text{ л/с.} \quad (30)$$

Для недопущения разлива на поверхность земли, расход необходимо зарегулировать в свободную ёмкость безнапорной сети, расположенной выше по течению от приёмной камеры ГКНС №18а рисунок 28. На рисунке 28 представлена расчётная схема фрагмента канализационной сети, где по каждому колодцу указаны отметки поверхности земли и лотка трубопровода.

Для сохранения экологической безопасности, а именно недопущения загрязнения окружающей среды, нужно зарегулировать стоки в свободную ёмкость безнапорной сети. Свободная ёмкость имеется в трубопроводах выше по течению от ГКНС №18а рисунок 28. На рисунке 28 отображён фрагмент канализационной сети с горизонтальными отметками.

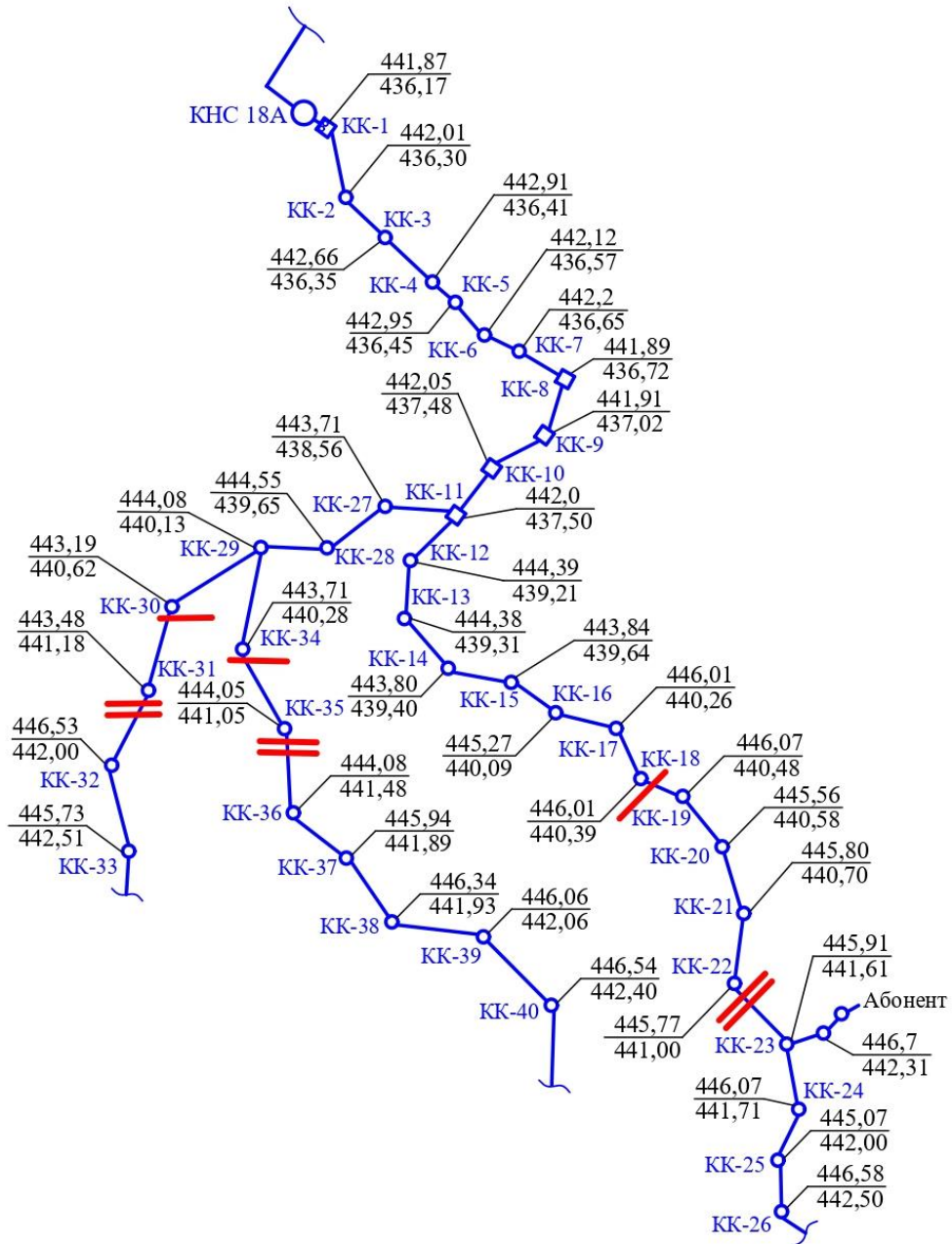


Рис. 28 Схема самотечных трубопроводов системы водоотведения [71].

Для определения аккумулирующего объёма сети, расчёт выполним на усреднённый расход, равный 227,33 л/с. В таблице 5, 6 представлены результаты расчёта аккумулирующей ёмкости сети водоотведения.

Расчёт аккумулирующей способности самотечных трубопроводов

№ участка	Расход, л/с	Диаметр участка, м	Длина участка, м	Уклон, ‰	Глубина наполнения h, м	Площадь сечения потока м ²	Свободная ёмкость участка м ³
1-2	227,3 (100%)	1,5	21,17	0,006	0,22	0,161	34,002
2-3		1,5	46,78	0,001	0,35	0,313	68,025
3-4		1,5	20,56	0,003	0,26	0,205	32,118
4-5		1,5	4,17	0,010	0,20	0,140	6,785
5-6		1,5	17,88	0,007	0,22	0,161	28,718
6-7		1,5	25,86	0,003	0,26	0,205	40,397
7-8		1,5	108,63	0,001	0,35	0,313	157,964
8-9		1,5	9	0,033	0,15	0,092	15,076
9-10		1,5	95,33	0,005	0,23	0,172	152,065
10-11		1,5	8,15	0,002	0,29	0,240	12,446
11-12	113,7 (50%)	1,25	104,99	0,016	0,13	0,068	121,703
12-13		1,25	6,07	0,016	0,13	0,068	7,036
13-14		1,25	69,38	0,001	0,26	0,185	72,307
14-15		1,25	49	0,005	0,18	0,109	54,791
15-16		1,25	87,42	0,005	0,18	0,109	97,752
16-17		1,25	55,62	0,003	0,20	0,127	61,192
17-18		1,25	28,23	0,0046	0,18	0,106	31,651
18-19		1,25	78,5	0,0011	0,26	0,185	81,811
19-20		1,25	98,5	0,0010	0,26	0,185	102,655
20-21		1,25	97,4	0,0012	0,25	0,175	102,483
21-22	1,25	69,6	0,0043	0,18	0,106	78,034	
11-27	90,93 (40%)	1,00	84,56	0,013	0,13	0,060	61,340
27-28		1,00	88,57	0,012	0,13	0,060	64,249
28-29		1,00	87,13	0,006	0,16	0,081	61,374
29-30		1,00	26,95	0,018	0,12	0,053	19,738
30-31		1,00	21,33	0,026	0,11	0,047	15,750
29-34	22,73	0,80	75,56	0,002	0,11	0,042	34,807
34-35	(10%)	0,80	88,57	0,009	0,08	0,026	42,217
Всего по трубопроводам							1658,487
Объём колодцев и камер							137,01
Итого							1795,497

Расчёт аккумулирующей способности канализационных колодцев

Трубопровод 1,5 м												
№ кк	1к	2	3	4	5	6	7	8к	9к	10к	11к	
1	$S_{р.ч}$	9,36	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	9	9	9	9
	h_{max}	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67
	$h_{лот}$	436,17	436,3	436,35	436,41	436,45	436,57	436,65	436,72	437,02	437,48	437,5
	$h_{нап}$	5,5	5,37	5,32	5,26	5,22	5,1	5,02	4,95	4,65	4,19	4,17
	$h_{гор}$	2,2	2,07	2,02	1,96	1,92	1,8	1,72	1,65	1,35	0,89	0,87
	$v_{гор}$	0,85	0,80	0,78	0,75	0,74	0,69	0,66	0,63	0,52	0,34	0,33
	$h_{р.ч}$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	$v_{р.ч}$	16,36	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	16,20	16,20	16,20	16,20
	$v_{кк}$	17,69	6,45	6,43	6,41	6,39	6,35	6,32	16,83	16,72	16,54	16,53

Трубопровод 1,25 м								
№ кк	12	13	14	15	16	17	18	
2	$S_{р.ч}$	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
	h_{max}	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67	441,67
	$h_{лот}$	439,21	439,31	439,4	439,64	440,09	440,26	440,39
	$h_{нап}$	2,46	2,36	2,27	2,03	1,58	1,41	1,28
	$h_{гор}$	-	-	-	-	-	-	-
	$v_{гор}$	-	-	-	-	-	-	-
	$h_{р.ч}$	1,21	1,11	1,02	0,78	0,33	0,16	0,03
	$v_{р.ч}$	1,21	1,11	1,02	0,78	0,33	0,16	0,03
	$v_{кк}$	3,80	3,49	3,20	2,45	1,04	0,50	0,09

Трубопровод 1,0 м					
№ кк	27	28	29	30	
3	$S_{р.ч}$	3,14	3,14	3,14	3,14
	h_{max}	441,67	441,67	441,67	441,67
	$h_{лот}$	438,56	439,65	440,13	440,62
	$h_{нап}$	3,11	2,02	1,54	1,05
	$h_{гор}$	0,31	-	-	-
	$v_{гор}$	0,12	-	-	-
	$h_{р.ч}$	1,8	1,02	0,54	0,05
	$v_{р.ч}$	5,65	3,20	1,70	0,16
	$v_{кк}$	5,77	3,20	1,70	0,16

Трубопровод 0,8 м				
№ кк	34	35	36	
4	$S_{р.ч}$	3,14	3,14	3,14
	h_{max}	441,67	441,67	441,67
	$h_{лот}$	440,28	441,05	441,48
	$h_{нап}$	1,39	-	-
	$h_{гор}$	-	-	-
	$v_{гор}$	-	-	-
	$h_{р.ч}$	1,39		
	$v_{р.ч}$	1,85	-	-
	$v_{кк}$	1,85	-	-

Продолжение таблицы 6

$S_{р.ч}$ – площадь рабочей части колодца, м²

h_{max} – максимальная отметка уровня воды, м

$h_{лот}$ – отметка лотка в колодце, м

$h_{нап}$ – глубина наполнения в колодце, м

$h_{гор}$	– глубина наполнения в горловине, м
$V_{гор}$	– свободный объём в горловине м ³
$h_{р.ч}$	– глубина наполнения в рабочей части колодца, м
$V_{р.ч}$	– свободный объём в рабочей части колодца м ³
$V_{кк}$	– свободный объём в колодце м ³

Свободная ёмкость самотечных коллекторов располагается в границах диктующих точек: точка № 1 – есть наименьшая горизонтальная отметка верха канализационного люка; точка № 2 – определяет границы возможного подпора в канализационных колодцах, как правило, это точка подключения абонента рисунок 28, 29, 30, 31, 32.

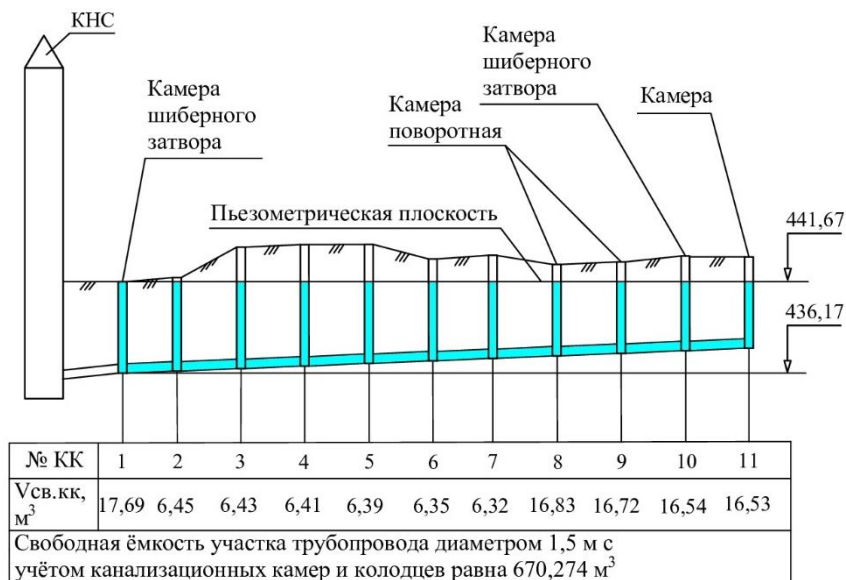


Рис. 29 Формирование аккумулирующей ёмкости сети (1 – 11 колодцы) [71].

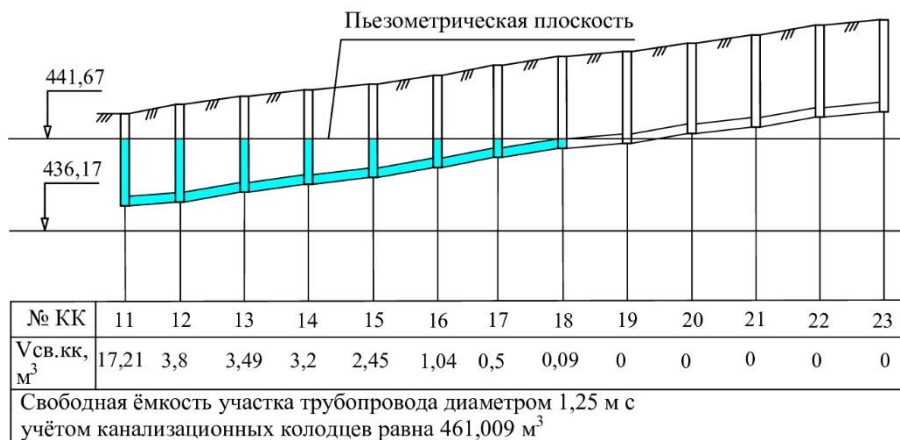


Рис. 30 Формирование аккумулирующей ёмкости сети (11 – 18 колодцы) [71].

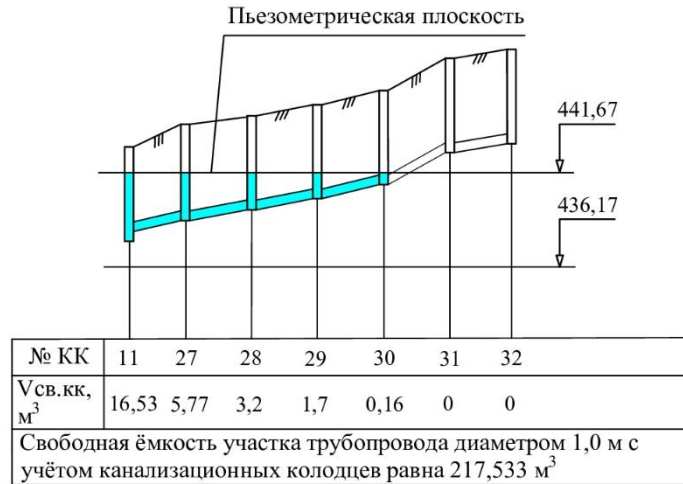


Рис. 31 Формирование аккумулирующей ёмкости сети (11-30 колодцы) [71].

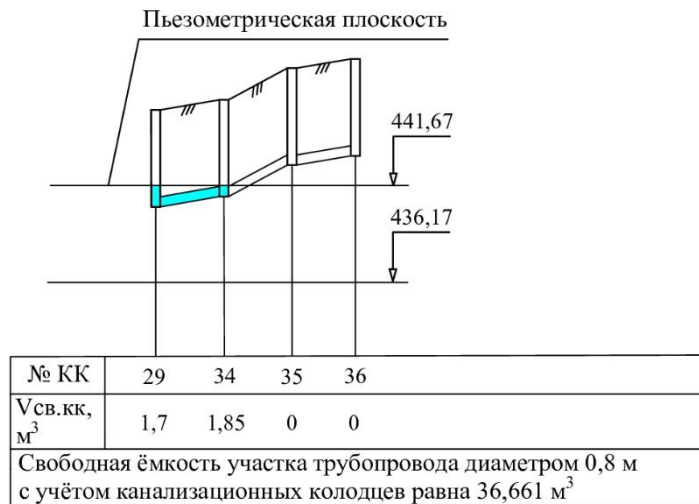


Рис. 32 Формирование аккумулирующей ёмкости сети (29-34 колодцы) [71].

Расчёты выполняются следующим образом. После отключения КНС сточные воды начнут заполнять свободное пространство в самотечных участках сети до момента их выхода на поверхность из колодца, крышка которого находится в самой пониженной части рельефа (в данном случае это колодец 1 рис. 28, 29).

На рисунке 29-32 отображена пьезометрическая плоскость зарегулированного стока, отображающая аккумулирующую способность участков сети. Аккумулирующий объём ограничен колодцами 18, 30 и 34 рисунок 28, и будет равен $670,274 + 461,009 + 217,533 + 36,661 = 1385,476 \text{ м}^3$. Как было сказано ранее, при устранении аварии на КНС требуется зарегулировать $4910,4 \text{ м}^3$. Учитывая обработанные данные, можно сказать о том, что аккумулирующий объём существующей сети равен $1385,476 \text{ м}^3$. Следовательно, этого объёма хватит всего

на 1,62 ч, что является недостаточным для выполнения восстановительных мероприятий на трубопроводах.

В случаях, когда свободной ёмкости самотечных участков канализационной сети недостаточно, для более эффективного результата целесообразно временное резервирование рассматривать совместно со структурным. Организация этого подхода для рассматриваемого объекта возможна за счёт изменения пьезометрической плоскости. Увеличение пьезометрической плоскости в самотечных коллекторах позволяет задействовать свободную ёмкость дополнительных участков трубопровода и канализационных колодцев. Выполнение этого мероприятия возможно путём введения в область зарегулирования дополнительного элемента – блокирующего устройства канализационного колодца рисунок 33 [71].

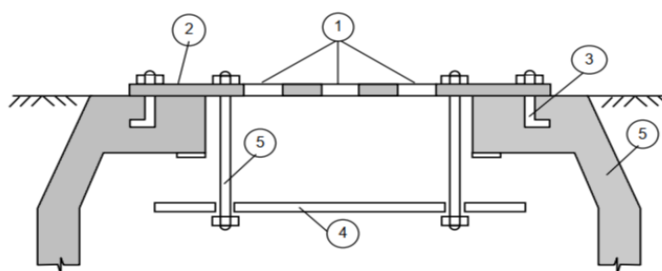


Рис. 33 Схема блокирующего устройства: 1 – отверстия для поступления воздуха, стоков; 2 – крышка колодца; 3 – анкерное крепление; 4 – подвижный клапан; 5 – направляющие подвижного клапана [71].

Как изложено в публикации [71], если в верхней части канализационного колодца смонтировать самоблокирующее устройство по типу, изображённому на рисунке 33, то при его заполнении стоками клапан заблокирует люк колодца и предотвратит выход сточных вод наружу [71]. Таким образом, если подобные устройства смонтировать в смотровых колодцах КК 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11 рисунок 29, то они заблокируют выходы стоков на поверхность, и тем самым увеличат аккумулирующую способность сети рисунок 34, 35, 36, 37 [71].

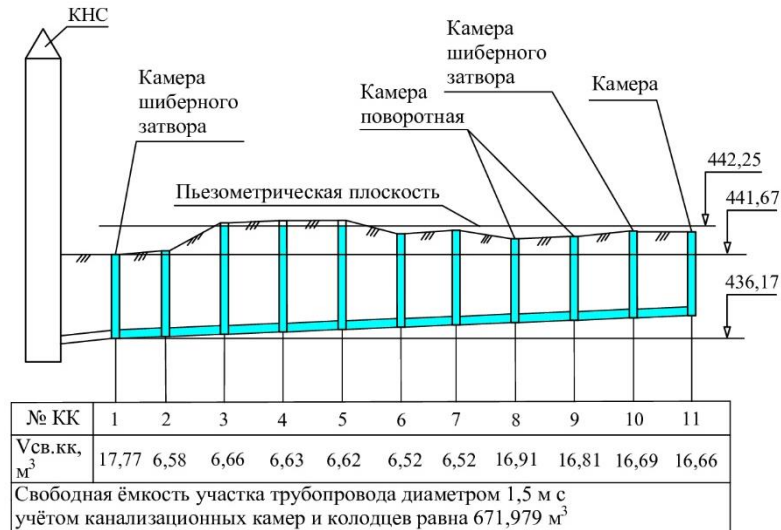


Рис. 34 Работа блокирующих устройств в 1-11 колодцах [71].

Без применения подобных устройств максимальная свободная ёмкость сети может быть не более 1385,476 м³ рисунок 28 (ограничена одинарной красной линией), но если будут смонтированы блокирующие устройства в 8 колодцах пьезометрическая плоскость поднимется на 0,58 м и будет соответствовать 442,25 м. Новая граница зарегулированных трубопроводов, отмеченная двойной красной линией на рисунке 28, таблица 7, расширится, свободная ёмкость сети возрастёт до 1835,771 м³ (см. расчёты в табл. 2)

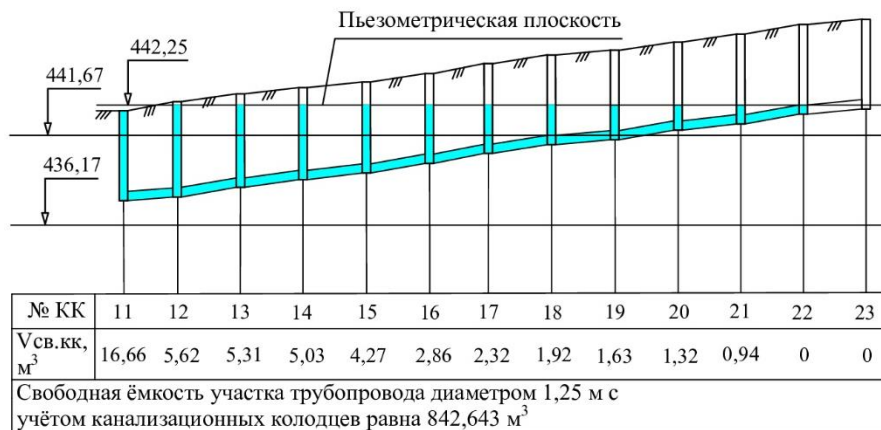


Рис. 35 Заполнение сети 11-23 колодцев [71].

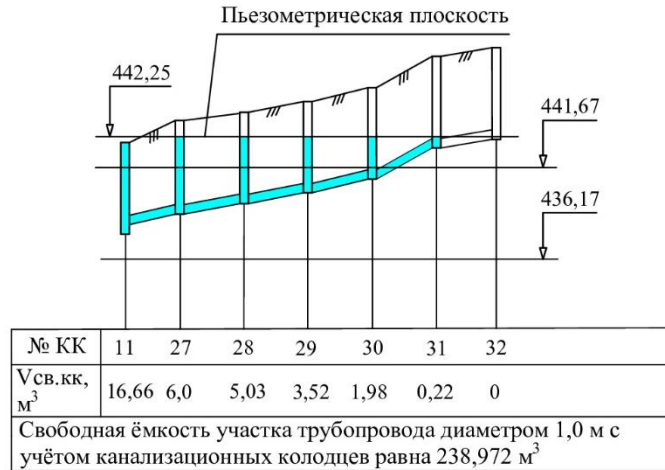


Рис. 36 Заполнение сети 11-31 колодцев [71].

При этом следует учитывать наличие абонентов, подключённых к самотечной сети [71].



Рис. 37 Заполнение сети 29-35 колодцев [71].

Таблица 7

Расчёт аккумулирующей способности канализационных колодцев с учётом изменения пьезометрической плоскости

		Трубопровод 1,5 м										
№ КК	1к	2	3	4	5	6	7	8к	9к	10к	11к	
$S_{\text{р.ч}}$	9,36	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	9	9	9	9	
h_{max}	441,87	442,01	442,25	442,25	442,25	442,12	442,2	441,89	441,91	442,05	442	
$h_{\text{лот}}$	436,17	436,3	436,35	436,41	436,45	436,57	436,65	436,72	437,02	437,48	437,5	
$h_{\text{нап}}$	5,7	5,71	5,9	5,84	5,8	5,55	5,55	5,17	4,89	4,57	6	
$h_{\text{гор}}$	2,4	2,41	2,6	2,54	2,5	2,25	2,25	1,87	1,59	1,27	1,2	
$v_{\text{гор}}$	0,92	0,93	1,00	0,98	0,96	0,87	0,87	0,72	0,61	0,49	0,46	
$h_{\text{р.ч}}$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	
$v_{\text{р.ч}}$	16,36	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	16,20	16,20	16,20	16,20	
$v_{\text{н.кк}}$	17,77	6,58	6,66	6,63	6,62	6,521	6,521	16,92	16,81	16,69	16,66	

		Трубопровод 1,25 м										
№ кк		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	S _{р.ч}	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
	h _{max}	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25
	h _{лот}	439,21	439,31	439,4	439,64	440,09	440,26	440,39	440,48	440,58	440,7	441
	h _{нап}	3,04	2,94	2,85	2,61	2,16	1,99	1,86	1,77	1,67	1,55	1,25
	h _{гор}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	v _{гор}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	h _{р.ч}	1,79	1,69	1,6	1,36	0,91	0,74	0,61	0,52	0,42	0,3	0
	v _{р.ч}	5,62	5,31	5,03	4,27	2,86	2,32	1,92	1,63	1,32	0,94	0,00
	v _{кк}	5,62	5,31	5,03	4,27	2,86	2,32	1,92	1,63	1,32	0,94	0

		Трубопровод 1,0 м				
№ кк		27	28	29	30	31
3	S _{р.ч}	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
	h _{max}	442,25	442,25	442,25	442,25	442,25
	h _{лот}	438,56	439,65	440,13	440,62	440,62
	h _{нап}	3,69	2,6	2,12	1,63	1,07
	h _{гор}	0,89	-	-	-	-
	v _{гор}	0,34	-	-	-	-
	h _{р.ч}	1,8	1,6	1,12	0,63	0,07
	v _{р.ч}	5,65	5,03	3,52	1,98	0,22
	v _{кк}	6,00	5,03	3,52	1,98	0,22

		Трубопровод 0,8 м		
№ кк		34	35	36
4	S _{р.ч}	3,14	3,14	3,14
	h _{лот}	440,28	441,05	441,48
	h _{нап}	1,97	1,2	0,77
	h _{гор}	-	-	-
	v _{гор}	-	-	-
	h _{р.ч}	1,17	0,4	-
	v _{р.ч}	3,68	1,26	-
	v _{кк}	3,68	1,26	-

Граница свободной ёмкости во втором случае будет проходить по колодцам № 22, 31, 35 рисунок 28, решая таким образом задачу аварийного зарегулирования на период времени 2,24 ч. В процентном выражении объём зарегулированных стоков в свободной ёмкости сети будет иметь следующий вид:

$$\text{- без блокирующих устройств } 1385,476 \cdot \frac{100}{4910,387} = 28,22\%;$$

$$\text{- с блокирующими устройствами } 1835,771 \cdot \frac{100}{4910,387} = 37,39\%.$$

Из вышеизложенного очевидно, что временное резервирование на основе структурных решений позволяет повысить эффективность данного метода. Следует отметить, что результаты данного метода во многом зависят от индивидуального рельефа местности степени загруженности и диаметров трубопроводов.

Выводы по главе 2

1. Выполнена оценка экономической эффективности вариантов структурного резервирования на основе стоимости жизненного цикла КНС в зависимости от протяжённости напорного трубопровода и суточного расхода станции.

2. Дана оценка эффективности методов временного и структурного резервирования систем водоотведения и особенности их реализации, определены области использования АРР в составе КНС.

3. На основе принципов временного резервирования и требований к наполнению самотечных канализационных трубопроводов разработана методика для определения объёма свободной ёмкости в самотечных коллекторах.

4. Использование методов временного и структурного резервирования на примере действующей ГКНС №18а в г. Иркутске позволило определить аварийный объём стоков и увеличить аккумулирующую способность подводящей самотечной сети.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

3.1. Содержательная и математическая постановка задачи повышения надёжности централизованных систем водоотведения

Система водоотведения имеет древовидную структуру, она проста в обслуживании и экономична. Однако, эта структура не лишена недостатков, а именно: практически не управляема, недостаточно надёжна, а следовательно невысокая эффективность. Так при ликвидации повреждений или иных мероприятий по обслуживанию, требующее временного отключение участка трубопровода, приводит к изливу стоков на поверхность, причиняя этим экологический ущерб. Особенно это ощутимо в момент внезапных отказов, когда оперативные службы не успевают среагировать.

Общепринято считать одним из показателей надёжного функционирования систем водоотведения расход сточных вод, загрязняемый окружающую среду, где временной период может быть год или жизненный цикл системы. И чем меньше этот количественный показатель, тем система водоотведения будет надёжней.

Сброс сточных вод на рельеф местности запрещён рядом нормативных документов и требует немедленного сбора в случае аварии и утилизации. Вычисление размера вреда, нанесённого почвам, производится согласно Приказа Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причинённого почвам как объекту охраны окружающей среды». Объём вреда, рассчитываемый в рублях, зависит от степени химического загрязнения почвы, которая вычисляется как соотношение фактического содержания конкретного химического вещества в почве к нормативу качества для почв. Этот показатель зависит от надёжности работы всех элементов системы водоотведения, каждый из которых имеет свои во многом вероятностные показатели (наработку на отказ, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, вероятность нахождения в ремонте и его продолжительности). В научных работах [72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84] на основе теории

случайных процессов и Марковских цепей разработаны ряд методических указаний по определению надёжности действующих и стареющих систем канализации. С практической точки зрения наиболее интересными являются работы М.И. Алексеева [33, 55], в которых предложено надёжность функционирования систем водоотведения оценивать относительным показателем – отношением количества сточных вод, не дошедших до очистных сооружений, к общему планируемому за год количеству транспортируемых сточных вод на очистные сооружения. Кроме того, данный относительный показатель регламентирован в источнике [85]:

$$\varphi = \frac{\Delta Q_{\text{сбр}}}{Q}, \text{ где: } Q = \left(\sum_{j=1}^m Q_j \cdot t \right); \Delta Q_{\text{сбр}} = \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\lambda_{\text{экв}} + \mu} \cdot \sum_{j=1}^m Q_j \cdot t, \quad (31)$$

$\Delta Q_{\text{сбр}}$ – объём стоков, загрязняющих почву и в водоёмы за год, м³/год; Q – прогнозируемый расход стоков подаваемый на очистные сооружения м³/год; Q_j – расчётный расход стока (м³/с), принимаемого в систему от абонента j , $j=1, \dots, m$; m – численность абонентов; t – время эксплуатации системы водоотведения за год, в сек; $\lambda_{\text{экв}}$ – эквивалентная (обобщённая) интенсивность отказов системы водоотведения, 1/год; μ – интенсивность восстановления.

Для определения значений эквивалентной интенсивности отказа системы водоотведения предложена методика декомпозиции и эквивалентирования [59], позволяющая произвести свёртку сети в один участок с интенсивностью отказов $\lambda_{\text{экв}}$, двигаясь в направлении от висячих вершин дерева к его корню. Ещё более простой способ количественной оценки надёжности функционирования систем водоотведения, предлагается в работе Игнатчика С.В. [61]. Автором получены следующие формулы для вычисления объёма неочищенных стоков, образующихся в результате аварий (м³/год):

$$\Delta Q_{\text{сбр}} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i \gamma_i t}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma)}, \quad (32)$$

где: χ_i – расчётный (или фактический) расход стоков (м³с) на участке сети i , $i = 1, \dots, n$; n – количество расчётных участков системы водоотведения;

$$\gamma_i = \frac{\lambda_i^{\text{уч}}}{\mu_i^{\text{уч}}}; \lambda_i^{\text{уч}} = (17 \cdot \lambda_i^k + \lambda_i) \cdot l_i; \mu_i^{\text{уч}} = \frac{8760}{T_i^p},$$

где: l_i – длина участка сети i , в км. λ_i^k – интенсивность заявок на ремонт и обслуживание колодцев (1/год); 17 – среднее количество колодцев на 1 км, λ_i – интенсивность отказов трубопроводов (1/год); t – время эксплуатации системы водоотведения за год в сек.

Как показали практические расчёты, знаменатель в формуле (37) близок к 1, поэтому объёмы неочищенных стоков можно определять по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{сбр}} = \sum_{i=1}^n \chi_i \cdot \gamma_i \cdot t. \quad (33)$$

Если диаметр трубопровода измерять в (м), то численные значения интенсивности отказов λ , выраженные в [1/км год], как это показано в [49], можно представить следующими эмпирическими соотношениями таблица 8:

Таблица 8

Показатели значений интенсивности отказов λ

Элемент системы водоотведения	Численный показатель интенсивности отказов λ
Асбестоцементные трубопроводы	$0,048 \cdot d_i^{-0,8}$
Чугунные трубопроводы	$0,056 \cdot d_i^{-0,9}$
Керамические трубопроводы	$0,04 \cdot d_i^{-0,8}$
Железобетонные трубопроводы	$0,006 \cdot d_i^{-0,9}$
Пластмассовые трубопроводы	$0,024 \cdot d_i^{-0,8}$
Бетонные колодцы	0,028

Трудоёмкость ремонтных работ на сети, в чел. ч, определяется по формуле, которая взята из работы [49]:

$$T_i^p = 485 \cdot d_i - 504 \cdot d_i^2 - 27. \quad (34)$$

Представленные зависимости таблица 9 и условие (34) справедливы для диапазона диаметров трубопроводов ($0,1 \leq d_i \leq 0,48$ м).

При известных расходах сточной жидкости по участкам системы водоотведения и диаметры трубопроводов согласно значениям, представленных в таблице 9, а также условий (33), несложно рассчитать годовые объёмы аварийных стоков. Фактический расход сточной жидкости на самотечных каналах определить очень сложно, хотя он формируется на основе графиков поступления сточных вод от абонентов. Если графики сточных вод формировать на основе графиков

водопотребления, то для оценки надёжности систем водоотведения будет более эффективным первый метод (31) и он более подробно будет рассмотрен в следующем параграфе.

Следует учесть, что условия, представленные в таблице 9 и (34), определяют зависимость интенсивности отказов от диаметра трубопроводов, однако не охватывают многообразие грунтовых особенностей, климатических зон, особенностей сейсмических воздействий. В связи с этим, необходимо для каждого населённого пункта и города накапливать статистику и получать конкретные зависимости. В настоящее время подобное практикуется во многих Водоканалах. При этом не во всех городах в достаточном объёме обрабатывается статистика данные об отказах на сетях водоотведения.

Трубопроводы, проложенные параллельно сейсмическим волнам и на значительных глубинах в грунте, согласно [86] наиболее подвергаются повреждениям. Из наблюдений можно сделать вывод о том, что большое влияние на сохранность трубопроводных систем оказывает материал, из которого они изготовлены, так наиболее сейсмостойкие – из полиэтилена, менее стойкие – из чугуна.

В статистических данных, опубликованных в работе Мороз М.В. [86, 87], по авариям на трубопроводах канализации в городах Иркутск, Ангарск, Шелехов были систематизированы интенсивности отказов в отношении их к ориентации сейсмического воздействия и магнитуды. В результате получена следующая зависимость:

$$\lambda = 3 \cdot S^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{D^{-\frac{2}{3}}}{1 + \frac{\alpha}{30}}, \quad (35)$$

где: S – средняя сейсмическая балльность (шкала MSK-64) региона; α – угол направления сейсмической активности. D_i – диаметр трубопровода, м. При этом воздействие менее 4-х баллов на трубопроводы не проявляется.

3.2 Развитие методики декомпозиции и эквивалентирования системы водоотведения для оценки её надёжности функционирования

Задачу повышения надёжности централизованных систем водоотведения на содержательном уровне можно сформулировать следующим образом. Требуется спроектировать новую или реконструировать существующую систему, которая бы за её жизненный цикл способна выполнять требуемые функции водоотведения при заданных условиях технического обслуживания с минимальными единовременными и эксплуатационными затратами и с нормативными значениями объёмов выхода стоков на поверхность земли. При этом требуется на основе экономических и экологических факторов обосновать технические решения по временному и структурному резервированию. Критерий минимума сточных вод, попадающих на поверхность земли, можно выразить согласно приказу Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238 через ущербы и задачу повышения надёжности систем водоотведения, можно формулировать как минимизацию ущерба за весь жизненный цикл системы. Такие подходы рассмотрены и исследованы в работах Р.В. Чупина [88, 89, 90, 91, 92, 93]. При возникновении аварийных ситуаций на канализационных насосных станциях для сброса сточной воды устраиваются специальные оборудованные аварийные выпуски. Такие сбросы являются контролируемыми, но, если авария происходит в других точках сети, где нет аварийных выпусков, авария считается неконтролируемой и именно такие аварии наносят окружающей среде наибольший экологический и материальный ущерб. Такие ситуации считаются чрезвычайными, и они должны максимально быстро локализоваться и ликвидироваться.

В настоящей работе предлагается новый подход, основанный на сопоставлении различных вариантов временного и структурного резервирования по критерию (38). При этом варианты формируются на основе функций эффективности применения различных способов резервирования, полученных в предыдущей главе.

Наиболее эффективным способом является алгоритм, предложенный М.И. Алексеевым [33], который позволяет на основе эквивалентной (общей)

интенсивности отказов сети определить объёмы сточных вод, попадающих на поверхность земли за исследуемый интервал времени (год). Авторы назвали свой подход как метод декомпозиции и эквивалентирования.

Для вычисления эквивалентной интенсивности авторами был предложен оригинальный алгоритм свёртки сети в один участок по схеме движения от висячих вершин дерева в направлении к его корню. При этом последовательно рассматриваются Y-образные элементы сети, которые затем заменяются одним участком сети с общими значениями расхода, интенсивности отказа и восстановления. На рисунке 38 проиллюстрированы этапы работы алгоритма свёртки сети в один участок.

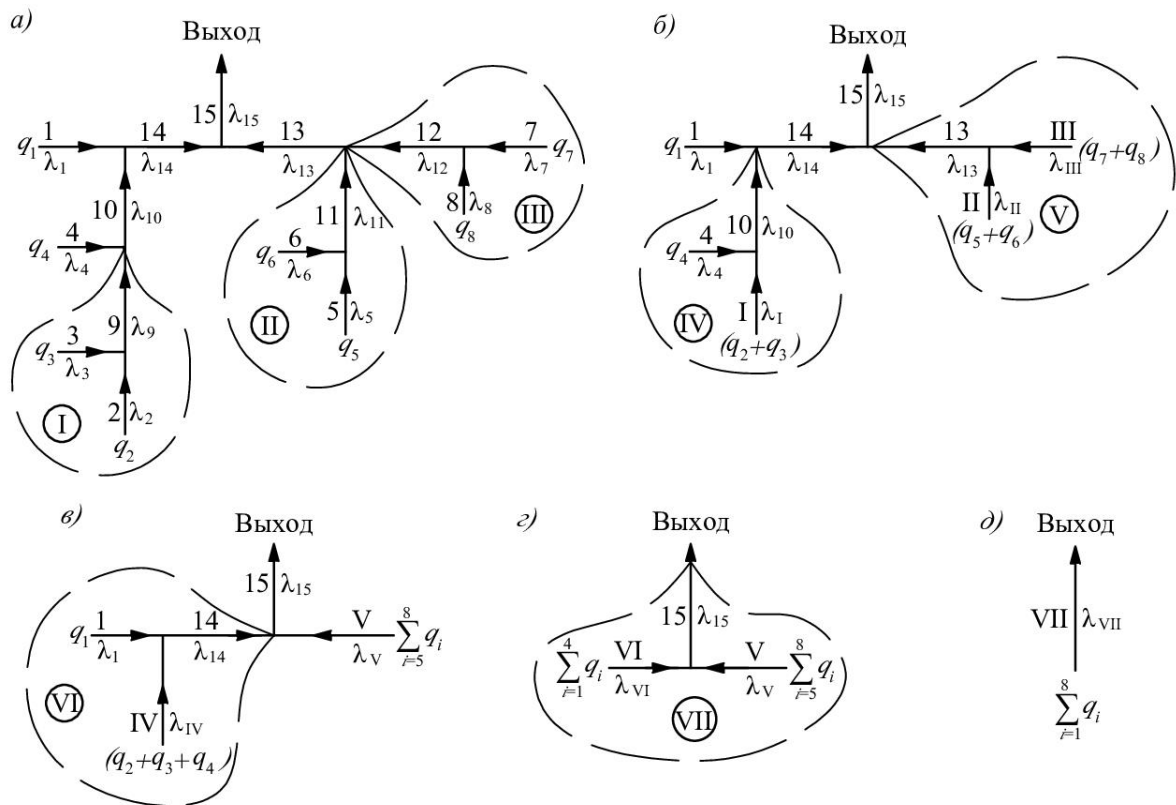


Рис. 38 Последовательность работы алгоритма сети водоотведения.

На рисунке 39 представлен Y-образный элемент сети водоотведения как некий фиктивный канал 1-2-3 с неизвестной интенсивностью отказов $\lambda_{\text{эКВ}}$, на вход которого поступает расход сточной воды, равный $(q_1 + q_2)$.

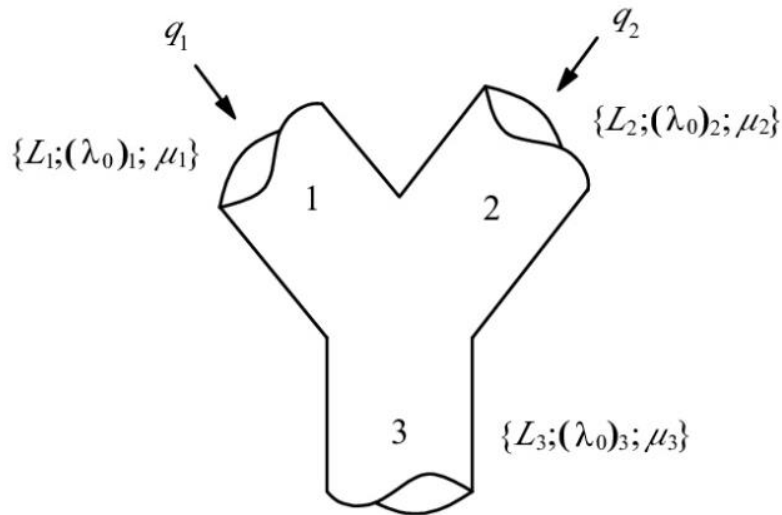


Рис. 39 Y-образный элемент канализационной сети.

Тогда объём неочищенного сброса из такого канала ΔQ_{123} за время T составит:

$$\Delta Q_{123} = \frac{\lambda_{\text{ЭКВ}}}{\lambda_{\text{ЭКВ}} + \mu} (q_1 + q_2) \cdot T. \quad (36)$$

Для определения $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ предлагается следующая формула:

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_3) \cdot q_1 + (\lambda_2 + \lambda_3) \cdot q_2}{q_1 + q_2}. \quad (37)$$

Таким образом, Y-образный фрагмент сети, показанный на рисунке 39, формально может быть заменён одним эквивалентным фиктивным каналом с интенсивностью отказов $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ и расходом сточной воды на его входе $(q_1 + q_2)$, что показано на рисунке 40.

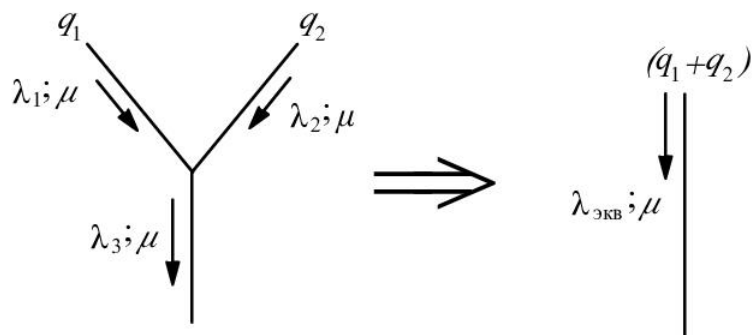


Рис. 40 Процедура эквивалентирования сети.

Таким образом, не сложно любую систему водоотведения представить в виде последовательности из Y-образных фрагментов сети и затем произвести их свёртку в один элемент, используя при этом формулы (42) и (43). Что касается структурного

резервирования сети, т.е. параллельную прокладку коллекторов и трубопроводов, то их также можно заменить одним элементом с эквивалентной интенсивностью отказов (как для параллельного соединения участков с одинаковой интенсивностью отказов):

$$\lambda_{1+1} = \frac{-\ln((1+\lambda_1 \cdot t) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t})}{t}. \quad (38)$$

Если на сети устанавливается аккумулирующая ёмкость (АРР – временное резервирование сети), то её можно также рассматривать как параллельный участок с интенсивностью отказов λ_{app} .

$$\lambda_{1+\text{App}} = \frac{-\ln((1-(1-e^{-\lambda_1 \cdot t})(1-e^{-\lambda_{\text{app}} \cdot t}))}{t}. \quad (39)$$

Интенсивность отказов аварийно-регулирующих ёмкостей не исследована и численно нигде не обозначена, поскольку отсутствует статистический материал по отказам ввиду практического отсутствия таких сооружений. Но АРР можно сопоставить с коллекторами как линейными объектами, которые большую часть времени находятся в опорожненном состоянии. Можно рассмотреть их поэлементно, чьи интенсивности отказов известны (например, диспергирующих установок, насосов, клапанов и др.). Следует отметить, если в любой гидравлической сети известно направление потоков, и они не формируют циклическое движение, то в ней всегда будут узлы входа потоков и узлы выхода потоков. Наличие таких узлов позволяет произвести свёртку сети, начиная от узлов сброса потоков к направлению к узлам выхода потоков.

На рисунке 41 дана иллюстрация к алгоритму свёртки кольцевой сети водоотведения начиная от узла входа потока 1 в направлении к узлу выхода потока 9.

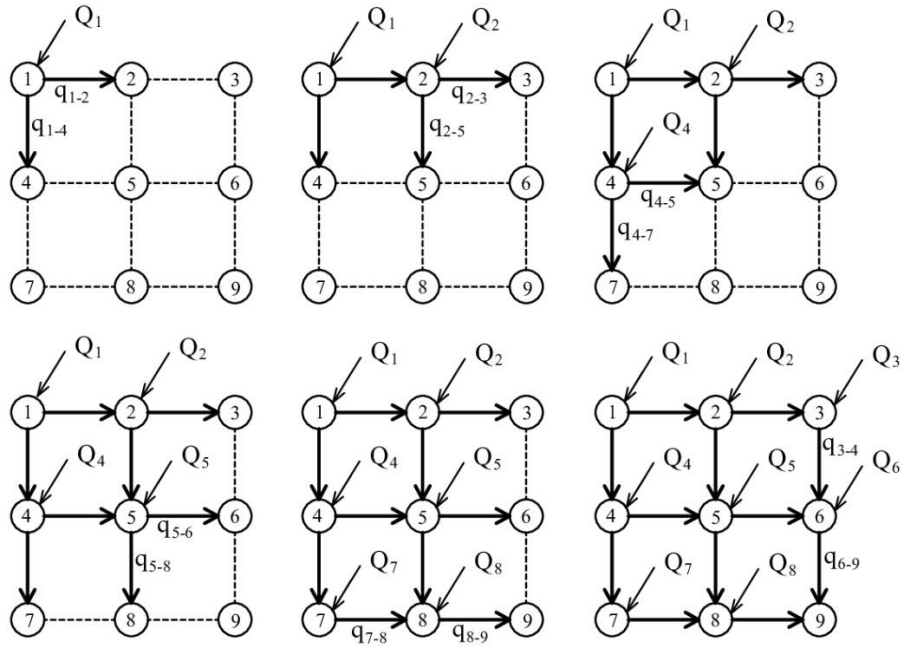
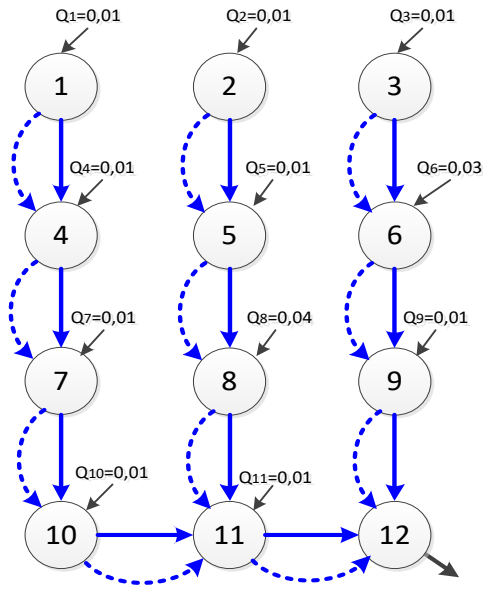


Рис. 41 Вычисление распределения потоков в безнапорных кольцевых системах водоотведения.

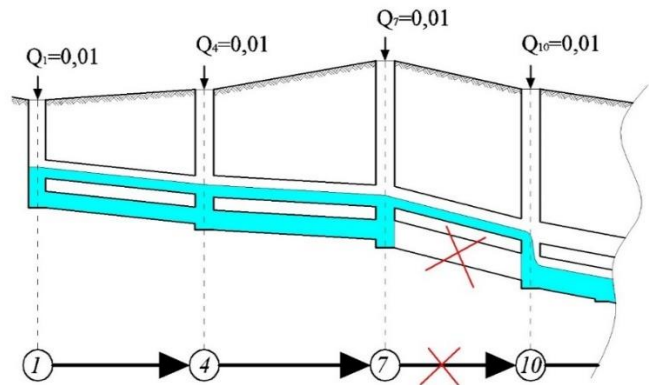
При этом будут формироваться и рассматриваться Y-образные элементы сети, для которых вычисляться значения эквивалентная интенсивность отказов. В схеме рисунок 41 кольцующие участки будут представлять элементы холодного резервирования. Например, при выходе из строя коллектора 1-4 стоки будут направляться по участку 1-2.

3.3 Применение методики оценки и повышения надёжности систем водоотведения при их развитии и реконструкции

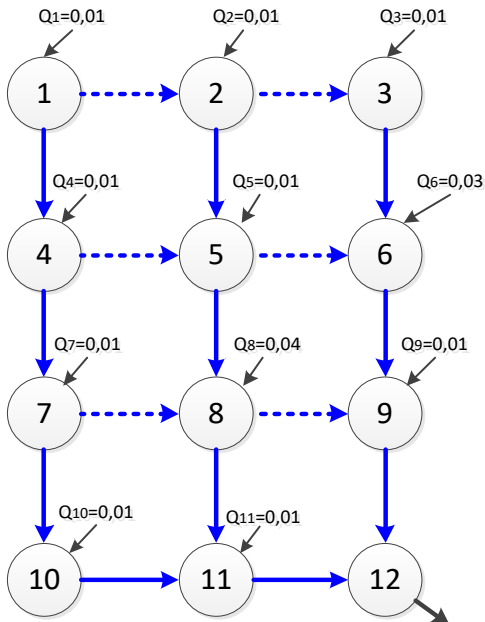
Как уже отмечалось, альтернативными к устройству АРР является способы структурного резервирования с организацией параллельных разгрузочных трубопроводов (рисунок 42, а, б), элементов закольцовки сетей и трубопроводов для транспортировки стоков в другие районы водоотведения (рисунок 42, в, г).



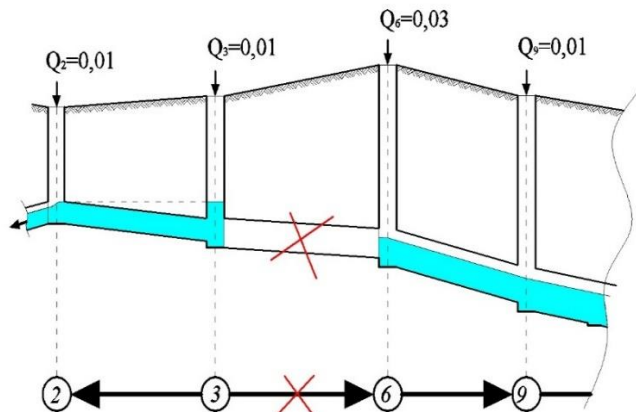
а)



б)



в)



г)

Рис. 42 Схемы резервирования системы водоотведения.

Например, в случае возникновения аварии на самотечном коллекторе 7-10 (рисунок 42, б), произойдёт повышение уровня жидкости, и она будет протекать по верхним трубопроводам. Рассматривая кольцевые структуры, следует обратить внимания, что при аварийной ситуации на коллекторе 3-6 (рисунок 42, г), аналогично увеличится уровень сточных вод и сточные воды, будут протекать по коллектору 2-3 в противоположном направлении.

С позиции стоимости жизненного цикла не сложно обосновать какой из видов резервирования будет экономически выгодным: устройство АРР, либо параллельная прокладка самотечных коллекторов. Для этого можно воспользоваться условием (23), полученными в главе 2:

$$L_{\text{тр}} \geq 0,281 \cdot x_i^{0,234},$$

где: L – протяжённость напорного трубопровода, км; x_i – расход на участке системы водоотведения, м³/сут.

Как было изложено ранее, применять условие (23) в случаях: если для вновь построенного или уже действующего участка сети неравенство (23) выполняется, то с экономической точки зрения будет выгодно возведение АРР в начальном узле расчётного участка. В случае, если неравенство (23) не выполняется, то надлежит строить параллельный коллектор согласно схеме рисунка 42 б.

На рисунке 43 представлена расчётная схема системы водоотведения мкр. Ново-Ленино, которая состоит из 31 расчётного узла и 32 самотечных коллекторов. Схема имеет разветвлённую сеть безнапорных трубопроводов, не имеющих ни временное, ни структурное резервирования.

Используя методику агрегирования и эквивалентирования, сеть водоотведения формируется в виде графа, включающего 18 Y-образных элементов сети. Согласно методике, начиная от висячих вершин в направлении к корню дерева, каждый Y-образный элемент замещается одной дугой с эквивалентной интенсивностью отказов, вычисляемой согласно (42-45). Результаты расчётов сведены в таблицу 9. В итоге для схемы рисунок 43 получены следующие значения:

$$\lambda_{\text{эКВ}} = 0,2577; T^p = 6 \text{ час}; \mu = 1460; Q = \frac{6205000 \text{ м}^3}{\text{год}};$$

$$\Delta Q_{\text{сбр}} = \frac{1095,23 \text{ м}^3}{\text{год}}; \varphi = \frac{\Delta Q_{\text{сбр}}}{Q} = 0,000177.$$

На схеме рисунка 43 для каждого Y-образного элемента по мере их агрегирования в синих прямоугольниках представлены объёмы сточных вод, которые попадают на поверхность земли неочищенными за год. Наибольшая их величина соответствует коллектору 19 – ГКНС №18а.

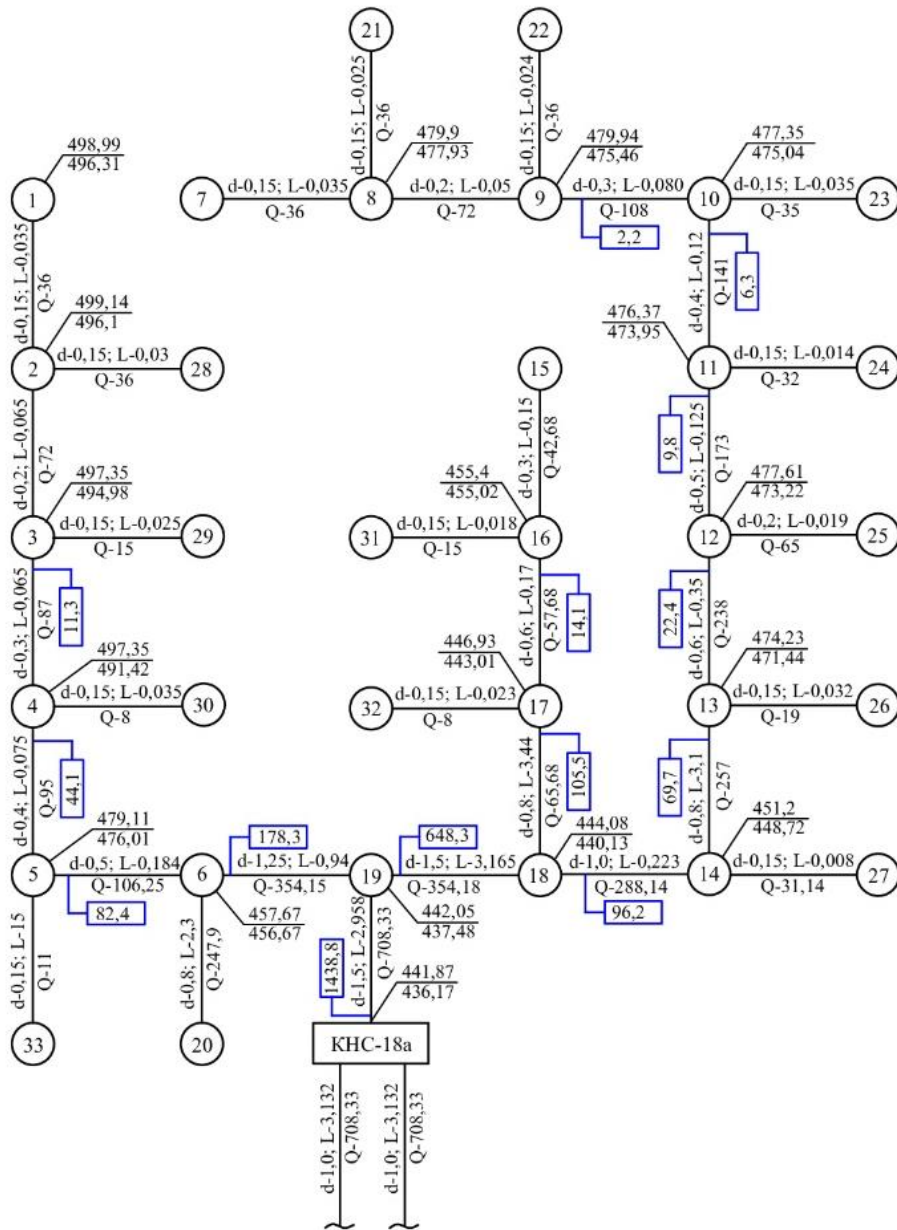


Рис. 43 Расчётная схема системы водоотведения мкр. Ново-Ленино, состоящая из Y-образных не резервированных элементов сети.

На рисунке 44 представлена расчётная схема системы водоотведения мкр. Ново-Ленино резервированная. Резервирование произведено на основании условия (23). В итоге получено 5 АРР и 29 коллекторов холодного резервирования по схеме рисунка 42, б.

В результате работы методики декомпозиции и эквивалентирования получены следующие результаты:

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = 0,0161; \Delta Q_{\text{сбр}} = \frac{68,247 \text{ м}^3}{\text{год}}; Q = \frac{6205000 \text{ м}^3}{\text{год}}; \varphi = \frac{\Delta Q_{\text{сбр}}}{Q} = 0,000011.$$

Таким образом, за счёт временного и структурного резервирования надёжность системы водоотведения мкр. Ново-Ленино увеличилась в 16 раз.

Таблица 9

Результаты расчётов для схемы рисунка 43

№ уч-ка	Q м ³ /час	Диаметр участка, м	Длина участка, км	Материал труб	Интенсивн	Т, час	ΔQ _{сбр} м ³ /год
					ость отказов, в год на 1 км, λ		
1-2	36	0,15	0,035	А/Ц	0,219	6,00	1,66
28-2	36	0,15	0,030	А/Ц	0,219	6,00	1,42
29-3	15	0,15	0,025	А/Ц	0,219	6,00	0,49
30-4	8	0,15	0,035	А/Ц	0,219	6,00	0,37
7-8	36	0,15	0,035	А/Ц	0,219	6,00	1,66
33-5	11	0,15	0,015	А/Ц	0,219	6,00	0,22
22-9	36	0,15	0,026	А/Ц	0,219	6,00	1,21
21-8	36	0,15	0,025	А/Ц	0,219	6,00	1,18
23-10	35	0,15	0,035	А/Ц	0,219	6,00	1,61
24-11	32	0,15	0,014	А/Ц	0,219	6,00	0,59
26-13	19	0,15	0,032	А/Ц	0,219	6,00	0,80
27-14	31,14	0,15	0,008	А/Ц	0,219	6,00	0,33
31-16	15	0,15	0,018	А/Ц	0,219	6,00	0,35
32-17	8	0,15	0,023	А/Ц	0,219	6,00	0,24
2-3	72	0,20	0,065	А/Ц	0,174	6,00	4,88
8-9	72	0,20	0,050	А/Ц	0,174	6,00	3,76
25-12	65	0,20	0,019	А/Ц	0,174	6,00	1,29
3-4	87	0,30	0,065	А/Ц	0,126	6,00	4,27
9-10	108	0,30	0,080	А/Ц	0,126	6,00	6,52
15-16	42,68	0,30	0,015	А/Ц	0,126	6,00	0,48
4-5	95	0,40	0,075	А/Ц	0,100	6,00	4,27
10-11	141	0,40	0,120	А/Ц	0,100	6,00	10,14
5-6	106,2	0,50	0,184	Ж/Б	0,0104	6,00	1,23
11-12	173	0,50	0,125	Ж/Б	0,0104	6,00	1,36
20-6	247,9	0,50	2,300	Сталь	0,1045	6,00	357,50
16-17	57,68	0,60	0,170	Ж/Б	0,00903	6,00	0,53
13-14	257	0,80	0,500	Ж/Б	0,00717	6,00	5,53
17-18	65,68	0,80	0,440	Ж/Б	0,00717	6,00	1,24
14-18	288,1	1,00	0,223	Ж/Б	0,00600	6,00	2,31
6-19	354,2	1,25	0,940	П/Э	0,0201	6,00	40,11
18-19	354,1	1,50	0,065	П/Э	0,01735	6,00	2,40
19-КНС	708,3	1,50	0,358	П/Э	0,01735	6,00	26,40

Схема, представленная на рисунке 44, полностью резервирована на основе АРР и параллельных дублирующих участков сети. Возможны и другие варианты, например, устройство АРР при ГКНС №18а, устройства АРР на самотечной сети водоотведения, применение только структурного резервирования и др. В работе такие варианты исследованы и наиболее характерные из них представлены в таблице 10.

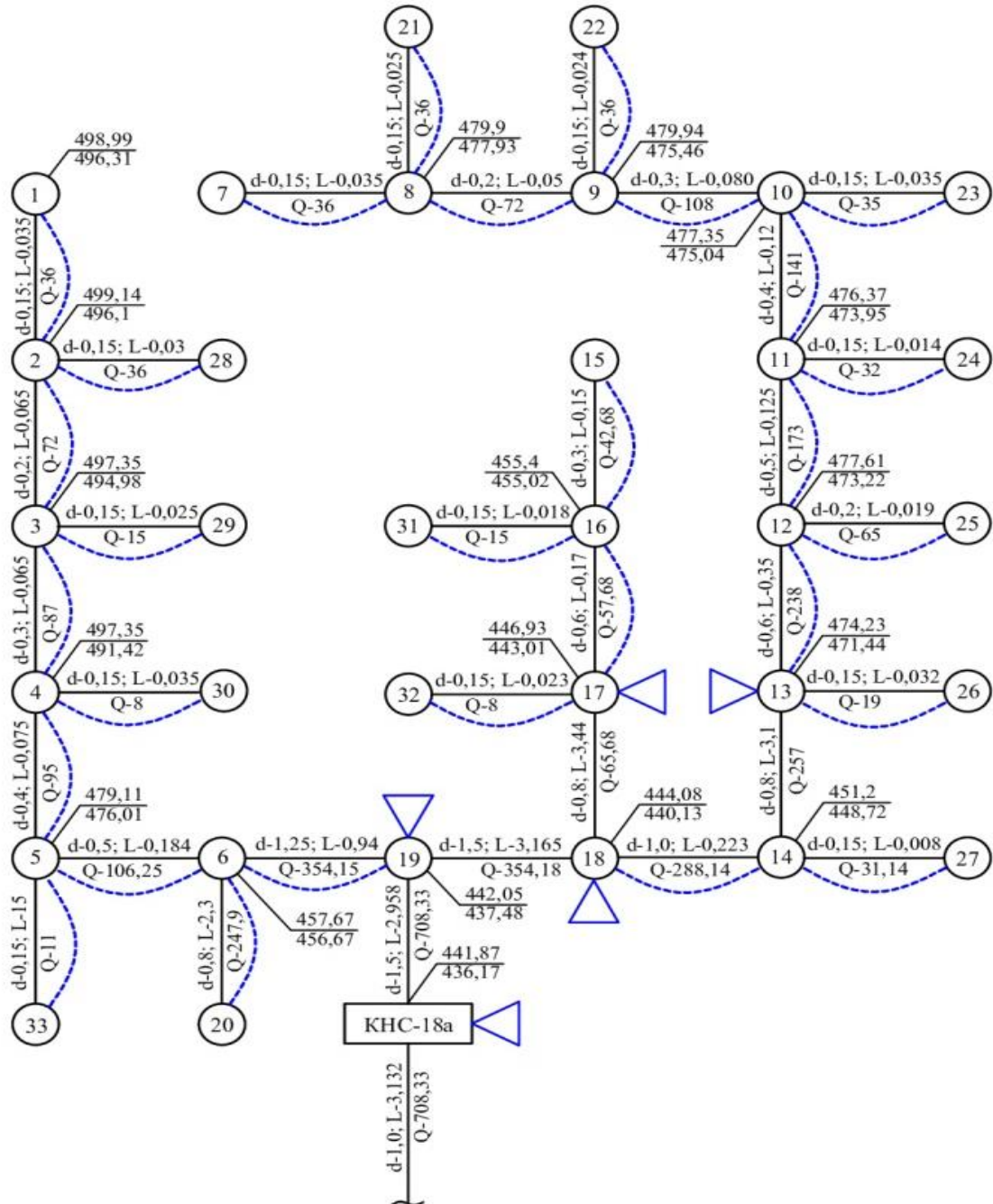


Рис. 44 Расчётная схема водоотведения мкр. Ново-Ленино, состоящая из Y-образных резервированных элементов сети.

Сравнение вариантов резервирования безнапорной системы водоотведения

N	Самотечная сеть с суммарным расходом 17000 м ³ /сут.	$\lambda_{\text{экв}}$	$\Delta Q_{\text{сбр}}$ м ³ /год	Плата за загрязнение за 100 лет, млн. руб.	СЖЦ за 100 лет, млн. руб.	СЖЦ + плата за загрязнение за 100 лет, млн. руб.
1	Для существующей системы водоотведения	0,258	1095	10950,0	13744,41	24694,4
2	С параллельными разгрузочными коллекторами	0,0147	62,5	625,0	22664,2	23289,2
3	С устройством АРР	0,0181	77,0	770,0	24 995,8	25765,8
4	Оптимизированное соотношение АРР и разгрузочных коллекторов	0,0161	68,5	685,0	22 65,8	23050,8

Вариант 1 - это существующая система водоотведения нерезервированная, плата за загрязнение (рассчитана на основе приказа Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238), для которой является наибольшей и за 100 летний период составит 10950,0 млн. руб. За этот период времени придётся переложить трубы из асбестоцемента и железобетона, так что СЖЦ составит 13744 млн. руб. Вариант 2 – устройство параллельных разгрузочных коллекторов существенно снижает плату за загрязнение, но требует значительных капиталовложений, СЖЦ составляют 22664 млн. руб.

В итоге расчёты показали, что с позиции надёжности оптимальным является вариант 2, поскольку за год на поверхность земли будет попадать наименьшее количество неочищенных сточных вод ($62,5 \text{ м}^3$), но с позиции минимальных затрат за жизненный цикл будет четвертый вариант, хотя он менее надёжный ($68,5 \text{ м}^3$ неочищенных сточных в год).

В качестве структурного резервирования может быть применена схема кольцевых систем водоотведения, когда при выходе из строя любого участка сети стоки перебрасываются в соседние районы водоотведения по схеме, представленной на рисунке 42 в. Для того, чтобы определить экономическую целесообразность такого способа резервирования предлагается следующий подход. К существующей сети водоотведения (см. рисунок 45, а) достраивается избыточная схема возможных кольцующих коллекторов, как это показано на рисунке 45 б. Далее, на избыточной схеме решается оптимизационная задача и определяется дерево минимальной длины с корневой вершиной в узле 9. На рисунке 45 б такое дерево представлено сплошными линиями (это оптимальный вариант трассировки сети, если бы она проектировалась как новая). Однако существующий вариант соответствует рисунку 45 а. Если наложить оптимальную трассу (рисунок 45 б) на существующую схему, то получается оптимальный вариант резервирования системы водоотведения, который представлен на рисунке 45 в. Согласно оптимальной схеме резервирования (см. рисунок 45 в) при выходе из строя участков 1-4, 2-5, 4-7, 5-8 экономичнее стоки перебрасывать по кольцующим коллекторам 1-2, 2-3, 4-5, 5-6. Если аварии будут происходить на участках 3-6, 6-9, 7-8, 8-9, то для них эффективными являются коллектора, проложенные параллельно существующим.

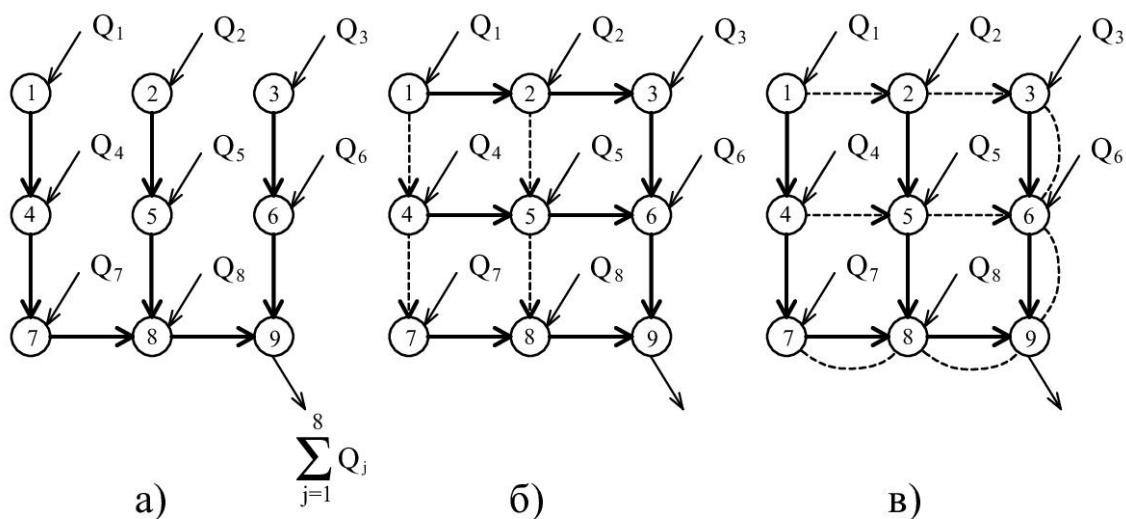


Рис. 45 Избыточная схема возможных кольцующих коллекторов.

Согласно изложенному алгоритму, прежде чем сопоставлять по затратам жизненного цикла эффективность временного (на основе АРР) и структурного резервирования необходимо для каждого участка сети определить способ его структурного резервирования (кольцевание или дублирование).

Разработанная методика может быть использована для других городов, которые имеют отличительные характеристики по стоимости электроэнергии, глубине залегания трубопроводов.

Выводы по главе 3

1. В качестве критерия оценки и повышения надёжности централизованных систем водоотведения предлагается количественный показатель - количество сточных вод, которое в результате аварий на сети попадает на поверхность земли без очистки за исследуемый интервал времени, например, за год.

2. Эффективным методом вычисления количества сточных вод, которое без очистки попадает на поверхность земли, является алгоритм агрегирования и эквивалентирования как нерезервированной, так и резервированной сети водоотведения.

3. Выбор способов временного и структурного резервирования предлагается осуществлять на основе полученных в работе условий их экономичности по СЖЦ.

4. Для обоснования способов структурного резервирования (дублирование участков сети либо переброска их в другие районы водоотведения по схеме кольцевания) в работе предлагается методика, основанная на поиске дерева минимальной длины.

5. Методика повышения надёжности централизованных систем водоотведения заключается в формировании различных схем их временного и структурного резервирования с оценкой каждого из вариантов по критерию СЖЦ с выбором лучшего.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АВАРИЙНО-РЕГУЛИРУЮЩЕГО РЕЗЕРВУАРА

4.1 Разработка новой конструкции аварийно-регулирующего резервуара на основе системы гидросмыва осадка и методика расчёта балластной камеры

Аварийно-регулирующий резервуар (АРР) канализационных насосных станций есть принципиально новое сооружение, позволяющее повысить экологическую безопасность и управляемость системы водоотведения посредством зарегулирования стоков в подземных накопителях рисунок 46. АРР предназначен нивелировать расход в период суточной неравномерности, а также предотвращать выпуск сточных вод в окружающую среду в период аварии на канализационных насосных станциях и напорных трубопроводах. Область применения АРР – системы водоотведения хозяйственно-бытовых, ливневых и производственных сточных вод.

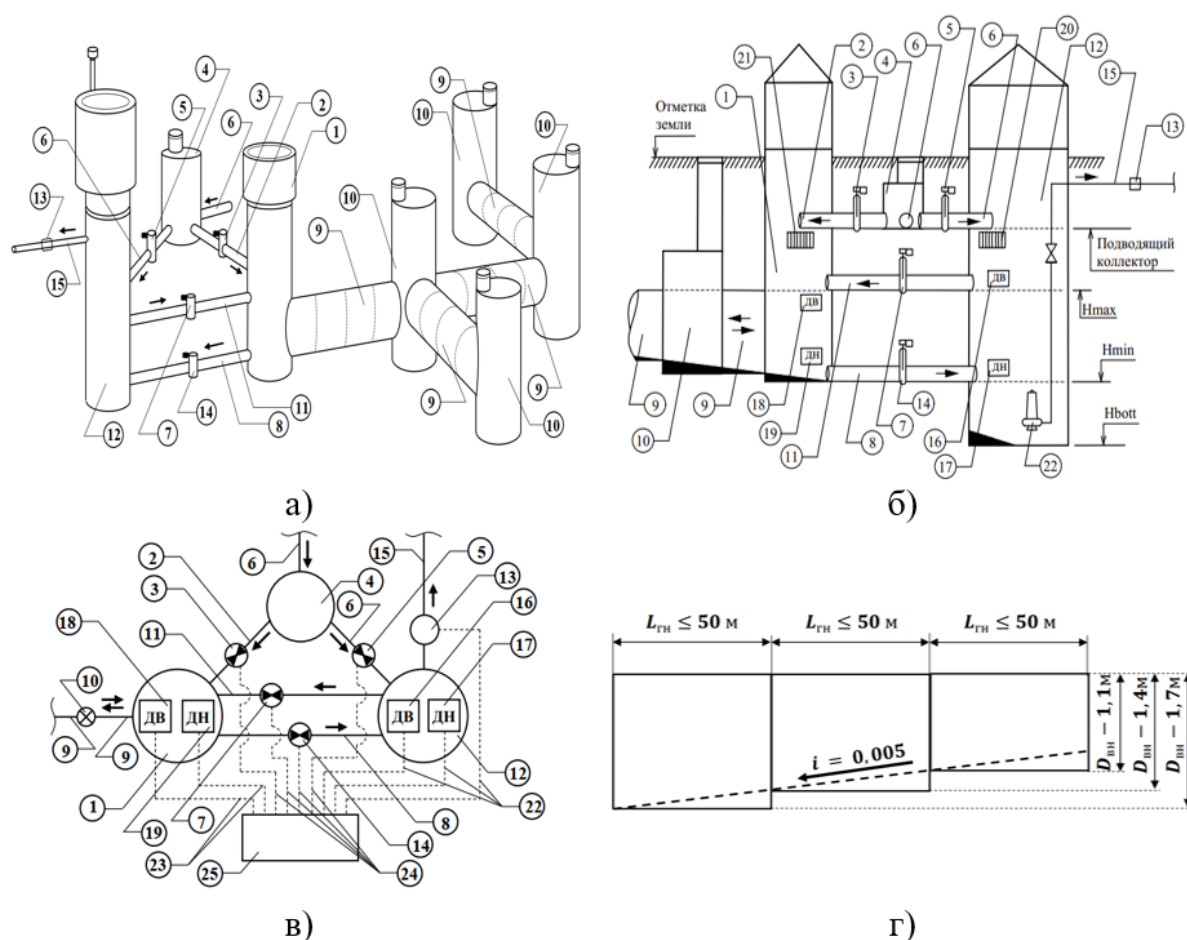


Рис. 46 Аварийно-регулирующий резервуар: а) общий вид, б) высотная схема, в) схема в плане, г) схема уклона лотков горизонтальных накопителей, где:

1 – приёмная камера АРР; 2 – обводной самотечный трубопровод; 3 – запорная арматура обводного самотечного трубопровода; 4 – камера переключения потока; 5 – запорная арматура подводящего самотечного коллектора; 6 – подводящий самотечный коллектор; 7 – запорная арматура перепускного самотечного трубопровода; 8 – сбросной самотечный трубопровод; 9 – горизонтальный накопитель; 10 – смотровая камера; 11 – перепускной самотечный трубопровод; 12 – канализационная насосная станция; 13 – расходомер; 14 – запорная арматура сбросного самотечного трубопровода; 15 – напорный трубопровод; 16 – датчик максимального уровня в приёмном резервуаре КНС; 17 – датчик минимального уровня в приёмном резервуаре КНС; 18 – датчик максимального уровня в приёмной камере АРР; 19 – датчик минимального уровня в приёмной камере АРР; 20 – решётки КНС; 21 – решётки приёмной камеры; 22 – основные насосы; 23 – коммуникационные кабели; 24 – силовые кабели; 25 – операционный модуль [94]

Значения параметров H_{\max} и H_{\min} , как правило, обуславливают значительную глубину заложения ГН, что в свою очередь определяет целесообразность закрытого способа возведения и цилиндрическую внешнюю форму АРР с горизонтально расположенной осью [94]. Цилиндрическая форма накопителя с горизонтально расположенной осью даёт возможность использовать разность значений параметров H_{\max} и H_{\min} в качестве ресурса для реализации функций АРР, а именно для реверсного перемещения жидкости рисунок 46 б. Это достигается посредством позиционирования горизонтальных накопителей АРР рисунок 46 б в диапазоне горизонтальных отметок H_{\max} и H_{\min} . Выполнение данного условия позволяет осуществлять наполнение жидкостью сети горизонтальных накопителей АРР из КНС или подводящего самотечного коллектора с возможностью опорожнять в приёмный резервуар КНС без дополнительных насосных агрегатов [94].

В основе конструкции горизонтального накопителя рисунки 46, 47 положены условия эффективного опорожнения и предотвращение заиливания. Данные условия выполняются за счёт уклона лотка горизонтального накопителя, который

составляет $i = 0,005$, а также уклона полок $i = 0,25$, соответственно, рисунок 47 а, б, 13, а также уклоном полок и лотка смотровой камеры рисунок 14 [94].

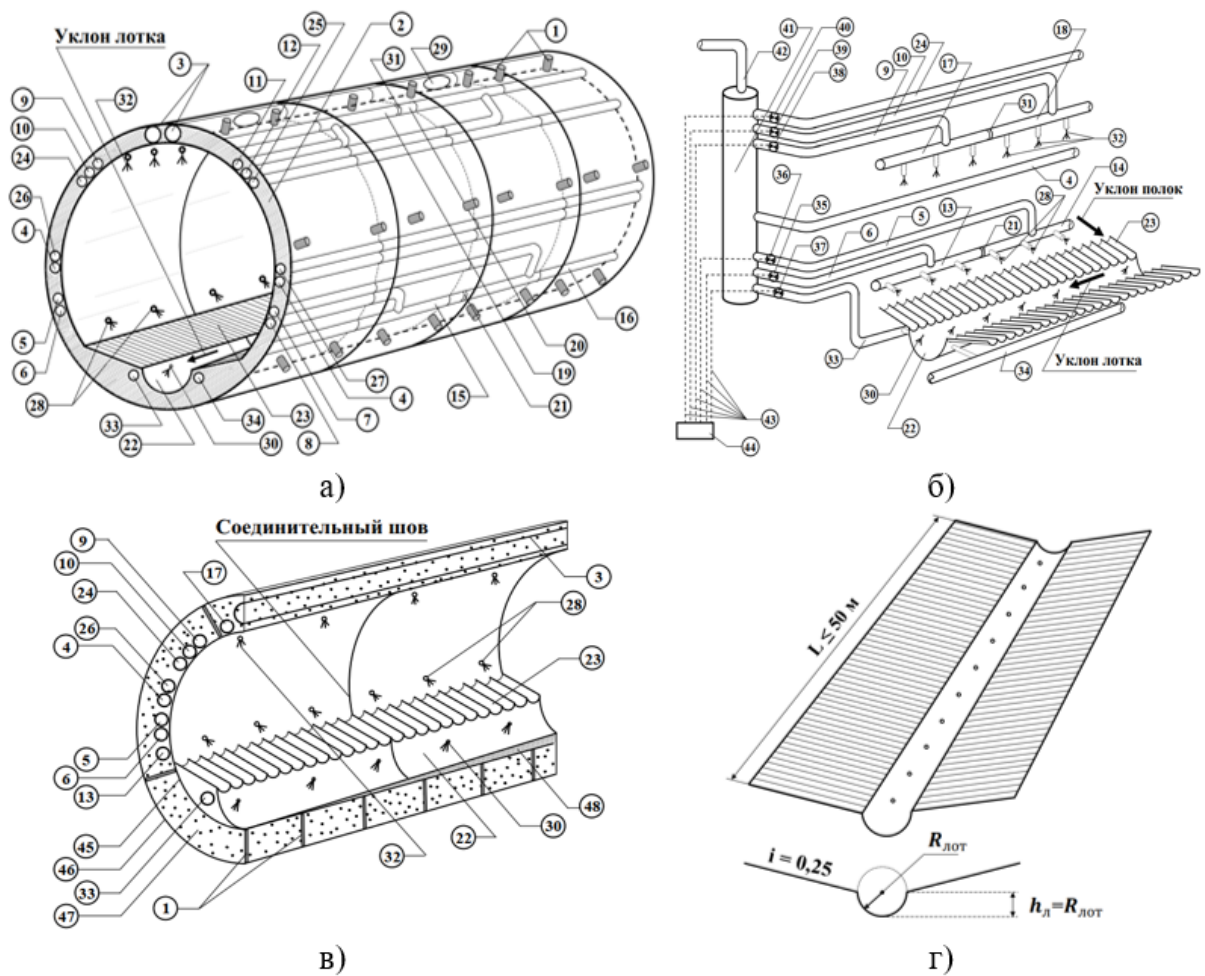


Рис. 47 Конструктивная схема горизонтального накопителя: а) общий вид горизонтального накопителя, б) схема гидросмыва, в) схема балластной камеры, г) схема уклона полок горизонтальных накопителей, где: 1 – поперечная связь; 2 – концевая заглушка; 3 – канал бетоновода; 4 – транзитный трубопровод; 5, 6, 7, 8 – питающий трубопровод гидросмыва полок ГН; 9, 10, 11, 12 – питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН; 13, 14, 15, 16 – распределительный трубопровод гидросмыва полок ГН; 17, 18, 19, 20 – распределительный трубопровод гидросмыва стенок ГН; 21 – заглушка распределительного трубопровода гидросмыва полок ГН; 22 – лоток ГН; 23 – полки ГН; 24, 25 – питающий трубопровод гидросмыва полок смотровой камеры; 26, 27 – кабельный канал; 28 – форсунка гидросмыва полок ГН; 29 – выпускное окно; 30 – форсунка гидросмыва лотка; 31 – заглушка распределительного трубопровода гидросмыва

стенок ГН; 32 – форсунка гидросмыва стенок ГН; 33, 34 – питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН; 35, 36 – запорная арматура гидросмыва полок ГН; 37 – запорная арматура гидросмыва лотка ГН; 38, 39, – запорная арматура гидросмыва стенок ГН; 40 – запорная арматура гидросмыва полок СК; 41 – распределительный коллектор ГН; 42 – напорный трубопровод; 43 – силовые кабели запорной арматуры; 44 – операционный модуль; 45 – внутренняя обечайка; 46 – внешняя обечайка; 47 – операционный модуль; 48 – основание лотка [94].

Основопологающим в реализации функций наполнения и опорожнения положены горизонтальные отметки рабочего уровня стоков в приёмном резервуаре КНС. Максимальная горизонтальная отметка рабочего уровня стоков в приёмном резервуаре КНС – H_{\max} рисунок 46 б принимается ниже отметки лотка подводящего самотечного коллектора [94]. Минимальная горизонтальная отметка рабочего уровня стоков в приёмном резервуаре КНС – H_{\min} рисунок 46 б складывается из сопоставления максимального диаметра горизонтального накопителя и рабочего объёма приёмного резервуара КНС. Горизонтальная отметка дна приёмного резервуара КНС H_{bott} рисунок 46 б принимается ниже отметки H_{\min} из условий залива погружного насоса (требования производителя) [94].

Функция транспортировка осадка, осуществляемая посредством работы системы гидросмыва АРР, содержит весь перечень необходимых средств для её реализации.

Взаимосвязь между горизонтальными накопителями, смотровыми камерами рисунок 46 а, а также КНС и узлом управления образует единый комплекс, способный осуществлять приём стоков в режимах зарегулирования и аварии, а также эффективно опорожнять их в автоматическом режиме.

Основным требованием, предъявляемым к функции гидросмыва, является способность удаления осадка с контактирующих поверхностей рисунок 47 а, б, в. Реализация этой функции осуществляется посредством подачи воды из диспергирующих аппаратов (форсунок): гидросмыва полок ГН, гидросмыва лотка ГН, гидросмыва полок СК [94].

Работа АРР предусматривается в следующих режимах: нормальный, переполнение, зарегулирование, аварийный.

Расчёт системы гидросмыва осадка сводится к определению рабочих и геометрических параметров форсунок гидросмыва полок ГН, стенок ГН, лотка ГН, полок СК, их количества, а также определению параметров самотечных лотков [94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108].

На основе характеристик расхода жидкости в форсунках, а также с учётом взаимодействия рабочих участков гидросмыва вычисляются диаметры распределительных, питающих и транзитных трубопроводов гидросмыва, параметры транзитных и распределительных коллекторов.

Необходимость разделения на отдельно управляемые рабочие участки гидросмыва в горизонтальном накопителе рисунок 48 продиктована условиями энергетического равновесия в гидравлической системе, включающей в себя центробежный насос, сеть напорных трубопроводов, распределительных коллекторов, запорных устройств и распылителей.

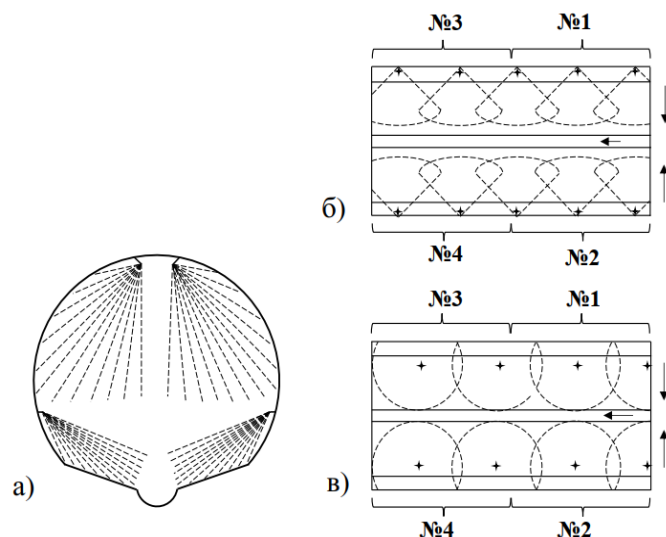


Рис. 48 Рабочие участки гидросмыва в горизонтальном накопителе

а) поперечное сечение – гидросмыв полок, стенок, б) в плане – гидросмыв полок, в) в плане – гидросмыв стенок: №1...№4 – порядковый номер рабочих участков гидросмыва.

Заключительным этапом гидравлического расчёта является подбор параметров центробежного насоса и определение условий водоснабжения.

Гидравлический способ распыливания основан на диспергировании жидкости за счёт гидравлического давления, создаваемого центробежным насосом гидросмыва [95].

Гидравлическое распыливание является самым экономичным по потреблению энергии (2 – 4 кВт на диспергирование 1 т жидкости), при этом регулирование расхода с учётом качества дробления довольно затруднено [95].

Рассматривая процесс избыточного орошения посредством распылительных аппаратов как способ принудительного перемещения осадка по наклонным поверхностям горизонтального накопителя рисунок 47 а, а также смотровой камеры рисунок 47 б, необходимо принимать во внимание равномерность смачивания этих поверхностей. Для выполнения этой задачи в качестве распылителей воды для стенок и полок ГН рисунок 47 а, а также полок СК целесообразно применять центробежно-струйные форсунки, способные образовывать за пределами соплового канала результирующий поток в виде полноконусного факела. Для принудительного перемещения осадка по лоткам ГН и СК рисунок 9 б целесообразно применять струйные форсунки, образующие факел с малым корневым углом и значительной дальностью [95].

Центробежно-струйные форсунки имеют два отдельных потока подводимой жидкости рисунок 49, которые взаимодействуют в камере смешения. Первому, периферийному, сообщается вращение, а второй подаётся в камеру смешения в виде осевой струи [96].

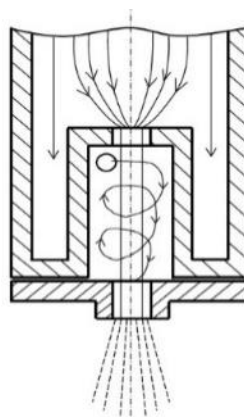


Рис. 49 Формирование потока в центробежно струйной форсунке [96].

Вращающийся поток передаёт часть энергии центральной струе и частично раскручивает её, а сам несколько тормозится, формируя на выходе факел в виде заполненного конуса [96].

Исходными данными для расчёта центробежно-струйных форсунок являются расход жидкости, проходящей через форсунку, физические свойства окружающей среды и распыливаемой жидкости, перепад давления жидкости на форсунке, требуемый корневой угол факела.

Для этих целей целесообразно использовать распылитель с завихрителем рисунок 50, в данном типе форсунок закручивание периферийного потока осуществляется с помощью цилиндрической вставки с винтовой нарезкой на поверхности и осевым отверстием для ввода центральной струи, данный тип форсунок позволяет создавать распыл с корневым углом факела $\beta_\phi \approx 80 - 110^\circ$ [95].

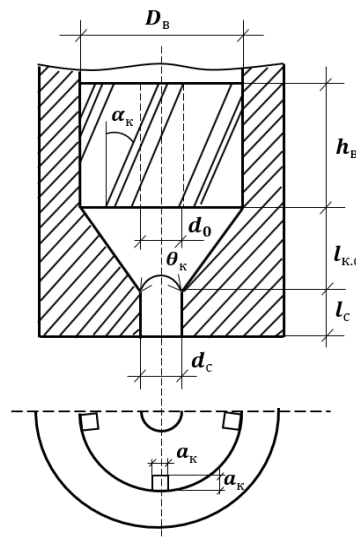


Рис. 50 Центробежно-струйная форсунка с завихряющим вкладышем [97].

Определение диаметра соплового отверстия d_c , м, согласно [97] будет иметь вид:

$$d_c = \sqrt{\frac{4G_{ж}}{\pi\mu_{ж}\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho_{ж}}}}}, \quad (40)$$

где: $G_{ж}$ – расход жидкости в закрученном потоке, m^3/c ;

$\mu_{ж}$ – коэффициент расхода принимается в пределах 0,65 – 0,85;

ΔP – перепад давления жидкости на форсунке, Па, определяемый из условий:

$$\Delta P = P_{\text{ж}} - P_{\text{а}}, \quad (41)$$

где: $P_{\text{а}}$ – давление окружающей среды, Па;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$P_{\text{ж}}$ – давление воды на входе в форсунку равное 0,2 Мпа.

Расчёт коэффициента расхода при диаметре сопла меньше 0,017 м выполняется следующим образом [97]:

$$\mu_{\text{ж}} = 0,83 P'_{\text{ж}}^{-0,06} (0,676 - 24d_{\text{с}})^{0,13}, \quad (42)$$

где: $P'_{\text{ж}}$ – давление воды на входе в форсунку, Кпа.

В случаях, когда диаметре сопла более 0,017 м, определение коэффициент расхода рассчитывается по уравнению [97]:

$$\mu_{\text{ж}} = 0,83 \cdot P'_{\text{ж}}^{-0,06} (0,31 - 2d_{\text{с}})^{0,5}. \quad (43)$$

Сравниваем рассчитанное и принятое значения коэффициента расхода. Совпадение неудовлетворительное; необходимо пересчитать диаметр соплового отверстия, задавшись найденным значением коэффициента расхода.

Определение диаметра вкладыша $D_{\text{в}}$, м, равно как и внутреннего диаметра корпуса форсунки находится по формуле [97]:

$$D_{\text{в}} = 1,925d_{\text{с}}, \quad (44)$$

при $d_{\text{с}} \leq 0,014$ м $D_{\text{в}}$ принимается равным 0,027 м [97].

Высота вкладыша, м, рассчитывается по уравнению [97]:

$$h_{\text{в}} = (2,5 + 0,2 \cdot 10^3 d_{\text{с}}) \cdot 10^{-3}. \quad (45)$$

Длина соплового канала $l_{\text{с}}$ рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{с}} = (0,5 - 1,0)d_{\text{с}}. \quad (46)$$

Высота камеры смешения $l_{\text{к.с}}$ определяется следующим образом:

$$l_{\text{к.с}} = \frac{D_{\text{в}} - d_{\text{с}}}{2 \operatorname{tg} \frac{\theta_{\text{к}}}{2}}, \quad (47)$$

где: $\theta_{\text{к}}$ – угол конусности камеры смешения рекомендуется в пределах $110 - 130^\circ$ [97].

Диаметр центрального канала d_0 определяется как [81]:

$$d_0 = d_c (0,676 - 24d_c)^{0,5} \text{ при } d_c \leq 0,017 \text{ м.}$$

$$d_0 = d_c (0,31 - 2d_c)^{0,5} \text{ при } d_c > 0,017 \text{ м.}$$

Суммарная площадь, м², периферийных каналов определяется из условий [97]:

$$\sum f_k = 4,3f_0 = 1,075\pi d_0^2. \quad (48)$$

Угол периферийных каналов в градусах определяется по формуле [97]:

$$\lg \alpha_k = 0,01\beta_\phi \left(5,3 \frac{d_0^2}{d_c^2}\right)^{0,58} + 0,32 \quad (49)$$

где: β_ϕ – корневой угол факела, исходя из конструктивных соображений принимаемый 90°.

Определение размера, м, периферийных каналов a_k имеет вид [97]:

$$a_k = \left(\frac{\sum f_k}{n_k \cos \alpha_k}\right)^{0,5}, \quad (50)$$

где: n_k – число периферийных каналов, которое рекомендуется принимать в пределах 4-6.

Объёмно-поверхностный диаметр получаемых капель d_{32} , мм, можно определить по формуле [97]:

$$d_{32} = 0,154P_{ж}^{-0,44} d_c^{0,23}, \quad (51)$$

где: $P_{ж}$ – давление воды на входе в форсунку в Мпа; d_c – диаметр соплового отверстия в мм.

Скорость истечения жидкости из форсунки, м/с, определяется по уравнению:

$$\omega_{ж} = \left(\frac{2\Delta P}{\rho_{ж}}\right)^{0,5}. \quad (52)$$

Высота вертикальной распылённой струи приближённо определяется по формуле [109]:

$$h_{\text{верт.}} = \frac{H_\omega}{1 + \tau H_\omega}, \quad (53)$$

где: $H_\omega = \frac{\omega_{ж}^2}{2g}$ – скоростной напор на выходе из отверстия;

τ – коэффициент, полученный опытным путём,

$$\tau = \frac{0,00025}{d_c + (10d_c)^3} \quad (54)$$

Для эффективной транспортировки размытого осадка в лотках ГН и СК рисунок 11 предусматриваем струйные форсунки на внутренней поверхности лотков ГН с направлением потока в сторону уклона лотков.

Конструктивно струйная форсунка представляет собой насадок, оснащенный цилиндрическим соплом рисунок 51, через который протекает струя жидкости, распадающаяся при выходе на капли относительно крупного размера, образуя, таким образом, факел с небольшим корневым углом и довольно значительной дальностью [95].

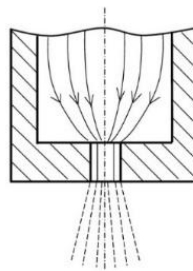


Рис. 51 Струйная форсунка [95].

Для струйных форсунок с конически расходящимся типом сопла основные характеристики согласно [94] имеют вид: φ – коэффициент скорости в пределах 0,4–0,5; ε – коэффициент заполнения сечений 1; θ_k – угол конусности камеры смещения 5 – 7°; $\beta_\phi = 15 - 20^\circ$; $\mu_{ж} = 0,45 - 0,5$.

Расчёт площади соплового отверстия F_c , мм², согласно [95] производится по уравнению расхода:

$$F_c = \frac{G_{ж}}{\mu_{ж}} \left(\frac{\rho_{ж}}{2\Delta P} \right)^{0,5}. \quad (55)$$

Определение диаметра соплового отверстия выполняется следующим образом:

$$d_c = \left(\frac{4F_c}{\pi} \right)^{0,5}. \quad (56)$$

Скорость истечения жидкости из форсунки, м/с, определяется по уравнению:

$$\omega_{ж} = \left(\frac{2\Delta P}{\rho_{ж}} \right)^{0,5} \quad (57)$$

Дальность горизонтального факела, м, от кромки распылителя до перпендикуляра определяют по формуле [109]:

$$L_{\phi} = 0,415 \sqrt[3]{a_r d_c H_B^{2/3}}, \quad (58)$$

где: a_r – угол наклона струи к горизонту, в градусах;

d_c – диаметра соплового отверстия мм;

H_B – напор на выходном сечении, м, определяемый из условий:

$$H_B = \frac{\omega_{ж}^2}{2g}. \quad (59)$$

Для минимизации вероятности засорения диспергирующих аппаратов и преждевременного выхода их из строя рекомендовано значения параметров a_k, d_c принимать не менее – 0,005.

Гидравлический расчёт сводится к определению оптимальных диаметров трубопроводов при заданных параметрах диспергирующих аппаратов из условия: скорость движения воды в коллекторах (гребёнках) – 0,5 м/с; транзитные трубопроводы до 2 м/с.

Определение потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений в трубопроводах.

Потери напора в трубопроводе обусловлены преодолением гидравлических сопротивлений, которые представляют собой суммарное количество местных потерь – Σh_j , линейных потерь – h_l , а также потерь на преодоление геометрической высоты подъёма жидкости – H_r .

Потери напора на единицу протяжённости трубопровода h_l с учётом гидравлического сопротивления, вызванного стыковыми соединениям, согласно приложению 10 свода правил [110] рекомендуется определять по формуле:

$$h_l = (\lambda/d_{вн.тр}) (v^2/2g) = (A_1/2g) [(A_0 + C/v)^m / d_{вн.тр}^{m+1}] v^2 \quad (60)$$

где: λ – коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле:

$$\lambda = A_1 (A_0 + B_0 d/Re)^m = A_1 (A_0 + C/v)^m / d^m, \quad (61)$$

где: $Re = \frac{vd}{\gamma}$ – число Рейнольдса; $B_0 = \frac{CRe}{vd}$;

γ – кинематический коэффициент вязкости транспортируемой жидкости, м/с;

$d_{\text{вн.тр}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;

v – средняя по сечению трубопровода скорость движения жидкости, м/с, определяемая по формуле:

$$v = (\sum_{i=1}^n G_{\text{ж}}) / \frac{\pi d_{\text{вн.тр}}^2}{4}, \quad (62)$$

где: $G_{\text{ж}}$ – расход одной форсунки рабочего участка;

n – количество форсунок на рабочем участке;

g – ускорение силы тяжести, м /с².

Значения показателя степени m и коэффициентов A_0 , A_1 и C для пластмассовых труб рекомендовано принимать по таблице 11 [110]:

Таблица 11

Вид труб	m	A_0	A_1	C
Пластмассовые	0,226	0	13,44	1

В соответствии с требованиями свода правил [111] площадь поперечного сечения корпуса распределительного коллектора принимается не менее суммы площадей поперечных сечений отводящих трубопроводов, а сборного коллектора - площадей сечений подводящих трубопроводов. Из этого следует, что:

$$d_{\text{кол.р}} \geq \sqrt{\frac{4 \sum S_{\text{пит.тр}}}{\pi}}, \quad (63)$$

где: $d_{\text{кол.р}}$ – диаметр распределительного коллектора;

$S_{\text{пит.тр}}$ – площадь поперечного сечения питающего трубопровода входящего в группу питающих трубопроводов ГН таблица 5.

Местные сопротивления

Местные сопротивления – h_j , вызванные соединительными частями и арматурой определяются по формуле Вейсбаха [109]:

$$h_j = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (64)$$

где: ζ – коэффициент местного сопротивления.

Потери напора при внезапном расширении трубопровода рисунок 52 определяются по формуле Борда [109]:

$$h_{\text{вн.р}} = \zeta_{\text{вн.р}} \frac{v_2^2}{2g} \quad (65)$$

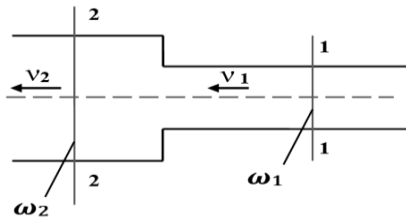


Рис. 52 Внезапное расширение трубопровода [109].

где: коэффициент сопротивления – $\zeta_{\text{вн.р}}$ определяется по формуле:

$$\zeta_{\text{вн.р}} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2. \quad (66)$$

Для определения $\zeta_{\text{вн.с}}$ при внезапном сужении трубопровода рисунок 53 применяется формула И.Е. Идельчика:

$$\zeta_{\text{вн.с}} = 0,5(1 - n_{\text{вн.с}}) \quad (67)$$

где: $n_{\text{вн.с}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$.

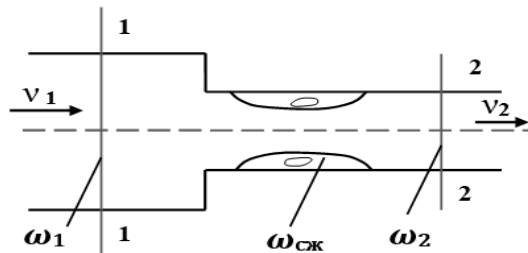


Рис. 53 Внезапное сужение трубопровода [109].

Потери напора в запорной арматуре рисунок 54 представлены на примере задвижки Лудло при полном открытии $\zeta_{\text{арм}} = 0,12$.

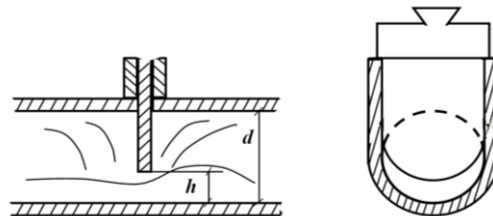


Рис. 54 Потери напора в запорной арматуре [109].

Определение коэффициента местного сопротивления – $\zeta_{\text{пл.п.}}$ при плавном повороте трубы круглого поперечного сечения определяется по формуле [109]:

$$\zeta_{\text{пл.п.}} = \zeta_{90} \alpha_{\text{пов}}, \quad (68)$$

где: ζ_{90} – коэффициент сопротивления для поворота на 90° при $R/d = 1$ для гладких труб из опытных данных А.Д. Альтшуля составляет 0,22;

$\alpha_{\text{пов}}$ – коэффициент зависящей от угла поворота, значение которого согласно опытных данных Кригера для угла поворота 90° составляет 1.

Представлена методика конструирования и расчёта рабочих параметров гидравлических элементов системы гидросмыва осадка. На основе нормативных показателей удельного количества взвешенных веществ, присутствующих в сточных водах, вычисляется объём промывной воды, необходимый для смыва осадка с внутренних поверхностей АРР. Далее согласно представленного метода определяются рабочие характеристики диспергирующих аппаратов (форсунок), их количество. Конструирование осуществляется с учётом эффективной и безаварийной эксплуатации (предотвращающих их засорение, путём соблюдения оптимальных соотношений сечений проходных каналов).

Баланс гидравлических характеристик в системе трубопроводов гидросмыва достигается варьированием диаметров трубопроводов, что позволяет производить смыв осадка в любой точке АРР без снижения эффективности. Весь процесс гидросмыва осуществляется по заданному алгоритму в автоматическом режиме, основанном на программируемых логистических контроллерах.

Устойчивость аварийно-регулирующего резервуара

Продолжительные осадки в виде дождей способны отрицательно повлиять на геологические условия, а именно спровоцировать водонасыщение грунтов. Это может спровоцировать изменение структуры и физико-механические свойств грунта [112]. Вследствие чего, силы, образованные от массы грунта, которые противостоят силам всплытия (сила Архимеда), деградируют, и это может привести к потере устойчивости и разрушению ГН [112].

Поэтому решение задачи по обеспечиванию устойчивого положения ГН в неблагоприятной гидрологической среде, а именно недопущение его перемещения в порожнем состоянии, достигается путём увеличения удельного веса корпуса за счёт

балласта. В качестве балласта рассматривается тяжёлый бетон, загруженный в полость балластной камеры, образованной между внешней и внутренней обечаек рисунок 11 г. Поэтому балластная камера должна обладать требуемым объёмом. Определение параметров балластной камеры рисунок 11 г сводится к расчёту толщины её стенки $h_{б.к}$, м, вычисление которой производится следующим образом [113]:

$$h_{б.к} = h'_{б.к} + \frac{V_{б.внеш}}{\pi(2h_{в.ст} + D_{вн})L_{г.н}}, \quad (69)$$

где: $h'_{б.к}$ – величина, определяемая на основе соотношений плотностей воды, полимерного материала ГН и балласта:

$$h'_{б.к} = \frac{250k_H(D_{вн}^2 + \sum_{i=1}^n i_{м.л}^2)}{\rho_б(2h_{в.ст} + D_{вн})} + h_{в.ст} \frac{\rho_ж k_H - \rho_{п.м}}{\rho_б}, \quad (70)$$

где: $i_{м.л}$ – показатель, учитывающий влияние объёма магистральных трубопроводов и кабельных каналов конструкции ГН, определяемый по формуле:

$$i_{м.л} = \sqrt{\frac{d_{м.л}^2 l_{рас}}{L_{г.н}}}, \quad (71)$$

где: $d_{м.л}$ – внешний диаметр трубопроводных магистралей и кабельных каналов, м;

$l_{рас}$ – расчётная длина участка трубопровода;

$\rho_б$ – плотность балласта, равная $\approx 2400 \text{ кг/м}^3$;

k_H – поправочный коэффициент надёжности, представленный в таблице 2, определяемый из условий:

$$F_{гн.б} \geq 1,2F_A \Rightarrow k_H, \quad (72)$$

Значение поправочного коэффициента k_H , при котором неравенство (72) выполнимо, определяется по методу обобщённого понижающего градиента (ОПГ). На рисунке 55 отображена нелинейная зависимость коэффициента k_H от внутреннего диаметра ГН, при этом линией регрессии с максимальным коэффициентом детерминации является кубическая парабола.

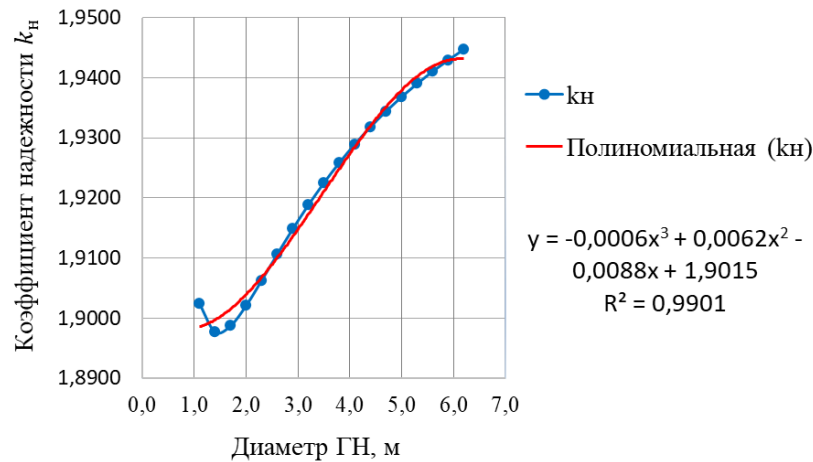


Рис. 55 Зависимость коэффициента надёжности от диаметра ГН [113].

Определение поправочного коэффициента k_H можно произвести по формуле:

$$k_H = -6 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + 6,2 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 8,8 \cdot 10^{-3} + 1,9015 \quad (73)$$

где: x – внутренний диаметр горизонтального накопителя, м.

где: $F_{ГН.б}$ – сила от массы ГН, кН, оснащенного балластом, определяемая по формуле:

$$F_{ГН.б} = \frac{(G_{балл} + G_{вн.об} + G_{внеш.об})g}{1000}, \quad (74)$$

где: $G_{балл}$ – вес балласта, кг; $G_{вн.об}$ – вес внутренней обечайки, кг; $G_{внеш.об}$ – вес внешней оболочки, кг, определяемые из уравнений:

$$G_{балл} = \left[\pi h_{б.к} (D_{вн} + 2h_{в.ст} + h_{б.к}) - \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_{м.л.и}^2}{4} \right] L_{Г.н} \rho_б, \quad (75)$$

$$G_{вн.об} = \pi h_{в.ст} (D_{вн} + 2h_{в.ст}) L_{Г.н} \rho_{п.м}, \quad (76)$$

$$G_{внеш.об} = \pi h_{внеш.ст} (D_{вн} + 2h_{в.ст} + 2h_{б.к} + h_{внеш.ст}) L_{Г.н} \rho_{п.м}, \quad (77)$$

где: $h_{внеш.ст}$ – толщина стенки внешней обечайки ГН рисунок 11 «а», условно принимаемая м;

F'_A – сила всплытия (сила Архимеда), кН, действующая на ГН, оснащённый балластом, определяемая по формуле [113]:

$$F'_A = \frac{\frac{\pi}{4} (2h_{в.ст} + D_{вн} + 2h_{б.к} + 2h_{внеш.ст})^2 L_{Г.н} g \rho_ж}{1000}, \quad (78)$$

где: $V_{б.внеш}$ – объём балласта, учитывающий соотношение плотностей воды, полимерного материала ГН и балласта, определяемый следующим образом:

$$V_{б.внеш} = (2h_{в.ст} + D_{вн} + 2h'_{б.к}) \pi h_{в.ст} \frac{\rho_ж k_H - \rho_{п.м}}{\rho_б} L_{Г.н}. \quad (79)$$

Значения показателей объёма балласта, толщины балластной камеры и объёма полимерного материала ГН, приведённые в таблице 12, справедливы для внутренних диаметров ГН в диапазоне от 1,1 до 6,2 м.

Таблица 12

Сводные показатели значений для ГН в диапазоне внутренних диаметров 1,1 – 6,2 м при $L_{ГН} = 50$ м [112]

$D_{вн}, м$	$D_{внеш}, м$	$V_{Г.Н} м^3$	Потери от общего объёма ГН, %	Поправочный коэффициент k_n	Объём балласта, $м^3$ $\frac{G_{балл}}{\rho_б}$	Параметр $h_{б.к.}$	Объём полимерного материала, $м^3$
1,1	1,898	39,3	17,3	1,9023	59,45	0,279	28,26
1,4	2,304	63,8	17,1	1,8976	90,23	0,332	34,91
1,7	2,715	94,3	16,9	1,8987	128,10	0,388	41,61
2	3,130	130,8	16,7	1,9020	173,03	0,445	48,35
2,3	3,547	173,1	16,6	1,9062	225,04	0,504	55,11
2,6	3,966	221,4	16,55	1,9106	284,12	0,563	61,89
2,9	4,386	275,5	16,52	1,9148	350,28	0,623	68,67
3,2	4,807	335,5	16,51	1,9188	423,50	0,683	75,46
3,5	5,228	404,3	16,53	1,9225	503,79	0,744	82,26
3,8	5,650	472,9	16,56	1,9258	591,15	0,805	89,06
4,1	6,072	550,1	16,61	1,9289	685,58	0,866	95,87
4,4	6,494	633,2	16,68	1,9318	787,08	0,927	102,68
4,7	6,917	721,8	16,75	1,9344	895,65	0,989	109,49
5	7,340	816,1	16,83	1,9368	1011,29	1,050	116,30
5,3	7,760	915,9	16,92	1,9390	1132,39	1,110	123,09
5,6	8,186	1021	17,02	1,9410	1263,77	1,173	129,93
5,9	8,609	1132	17,12	1,9429	1400,62	1,235	136,75
6,2	9,030	1248	17,23	1,9447	1542,82	1,295	143,54

Учитывая условие (72), следует обратить внимание на балластировку смотровых камер. Как упоминалось выше, силы трения при взаимодействии конструкции о грунт упраздняются в условиях обводнения и не оказывают противодействий к всплытию. Из этого следует, что рассматривать надёжность смотровых камер следует без учёта сил трения о грунт, а уравнение теоретической массы якоря смотровой камеры $m_{я,т}$, кг, приобретает новый вид:

$$m_{я,т} = 1,2 \frac{F_A - F_{ск}}{g \cdot \rho_б}, \quad (80)$$

где: F_A – сила Архимеда Н имеет вид:

$$F_A = \frac{1}{4} \rho_{\text{ж}} g \pi [D_{\text{внеш}}^3 + (H_{\text{land}} - H_{\text{max}}) D_{\text{гор}}^2], \quad (81)$$

где: $D_{\text{внеш}}$ – внешний диаметр горизонтального накопителя таблица 26;

H_{land} – горизонтальная отметка земли рисунок 31, 33;

H_{max} – горизонтальная отметка шельги максимального диаметра горизонтального накопителя;

$D_{\text{гор}}$ – внешний диаметр горловины смотровой камеры, равный 0,8 м

$F_{\text{ск}}$ – сила от веса смотровой камеры H , определяемая из выражения:

$$F_{\text{ск}} = \pi \rho_{\text{п.м}} g \left[h_{\text{ст.ск}} 2D_{\text{внеш}} + 3 \frac{D_{\text{внеш}}^2}{4} h_{\text{п.ск}} + D_{\text{гор}} (H_{\text{land}} - H_{\text{max}}) h_{\text{ст.ск}} \right], \quad (82)$$

где: $h_{\text{ст.ск}}$ – толщина стенки смотровой камеры 0,015 м;

$h_{\text{п.ск}}$ – толщина перекрытия смотровой камеры 0,015 м;

Таким образом, решается практическая задача по обеспечению надёжности подземных элементов АРР.

4.2 Конструктивное решение по внедрению аварийно-регулирующего резервуара в действующую канализационную насосную станцию

Реализация новой конструкции АРР предлагается на примере действующей канализационной насосной станции ГКНС №18а в г. Иркутске с суточным расходом $17000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ рисунок 56, более подробная характеристика бассейна водоотведения представлена в п. 2.1.

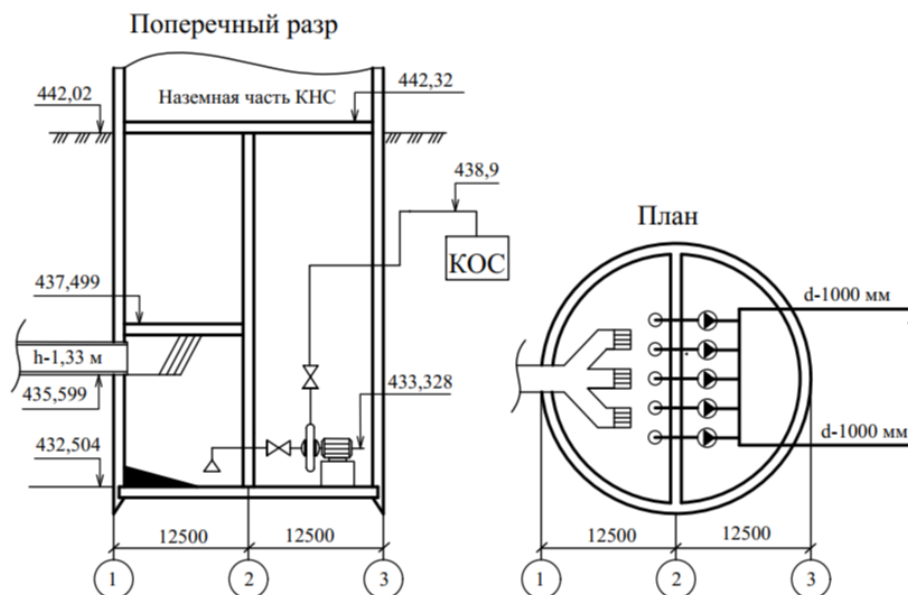


Рис. 56 Конструктивная схема ГКНС №18а г. Иркутск:

объём приёмного резервуара – 487,899 м³; протяжённость напорных трубопроводов – 3132 м; аварийный выпуск – нет; насосные агрегаты Grundfos S3806L6A511.

Согласно проведённому исследованию, результат которого изложен в п. 2.1, с учётом свободной ёмкости подводящей сети очевидна потребность в дополнительном резервуаре для зарегулирования сточной жидкости от ГКНС №18а, которая составляет 3114,8 м³, следовательно, полезный объём АРР $V_{АРР}$, м³ должен соответствовать этой величине.

Трассировка элементов АРР выполняется с минимальным отдалением сгруппированных ГН от приёмной камеры АРР рисунок 57, принятая начальная точка – приёмный резервуар ГКНС №18а.

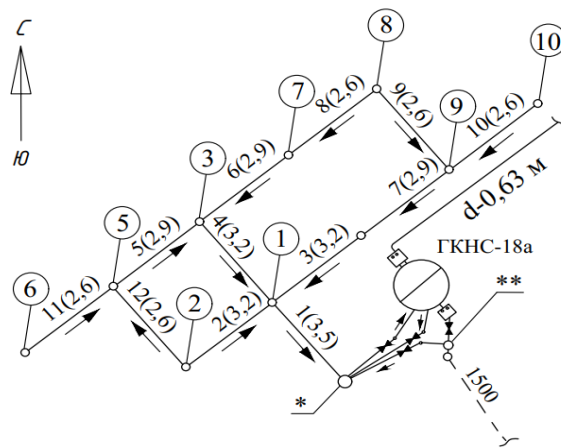


Рис. 57 Схема АРР в плане: ① – ⑩ – порядковый номер смотровой камеры; 1(3,5)...12(2,6) – порядковый номер/диаметр горизонтального накопителя; ← – направление потоков водоотведения; * – приёмная камера АРР; ** – камера переключения потока.

В основу значения параметра H_{\max} рисунок 10 б, определяющего шельгу горизонтального накопителя, положена отметка лотка подводящего самотечного коллектора, условия сохранности существующих подземных коммуникаций, падение в лотке перепускного самотечного трубопровода, а также условия механической подготовки стоков рисунок 58.

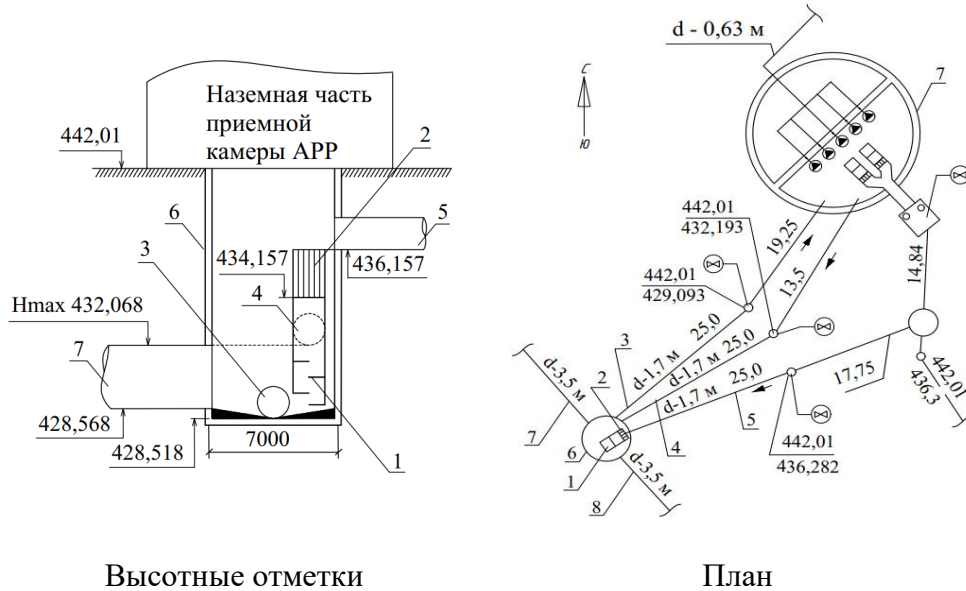
Определение значения параметра H_{\min} выполнено по формуле:

$$H_{\min} = H_{\max} - D_{\text{вн.макс}} - H_{\text{пр.к}} - H_{\text{сбр.}} \quad (83)$$

где: $D_{\text{вн.мах}}$ – максимальный внутренний диаметр внутренней обечайки, принят равным 3,5 м;

$H_{\text{пр.к}}$ – величина падения в лотке приёмной камеры АРР, м;

$H_{\text{сбр}}$ – величина падения в лотке сбросного самотечного трубопровода, м.



Высотные отметки

План

Рис. 58 Высотные отметки приёмной камеры АРР: 1 – перепадный колодец шахтного типа; 2 – сороудерживающее устройство; 3 – сбросной самотечный трубопровод (ГН-1,7); 4 – перепускной самотечный трубопровод (ГН-1,7); 5 – обводной самотечный трубопровод (ГН-1,7); 6 – приёмная камера АРР; 7 – горизонтальный накопитель (ГН-3,5).

Параметр H_{bott} определен из технических условий производителя погружного насоса.

Последовательность сопряжения ГН в горизонтали выполнена по «шелыге» на уменьшение диаметров в соответствии с необходимым объёмом.

Схема водоснабжения форсунок разработана с учётом взаимодействия иерархических групп форсунок ГН и СК. При этом каждая иерархическая группа состоит из ГН одного диаметра, а вершиной иерархии является группа ГН с наибольшим диаметром.

Укрупнённая схема водоснабжения форсунок представлена на рисунке 59.

Подача воды осуществляется центробежным насосом из расходного бака по транзитным трубопроводам, расположенным в каждом ГН, в случаях разветвления

транзитных трубопроводов потокораспределение осуществляется посредством распределительных коллекторов рисунок 11 д. Далее водный поток посредством распределительного трубопровода гидросмыва поступает к группе форсунок.

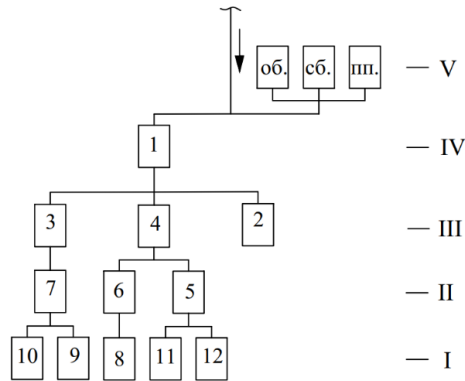


Рис. 59 Укрупнённая схема водоснабжения АРР: I, II, III... – иерархические группы смыва; 1...12 – порядковый номер горизонтального накопителя; «об.» – обводной самотечный трубопровод; «пп.» – перепускной самотечный трубопровод; «сб.» – сбросной самотечный трубопровод.

Реконструкция ГКНС №18а рисунок 60 включает в себя мероприятия по подключению к приёмному резервуару сбросного и перепускного самотечных трубопроводов, АРР.

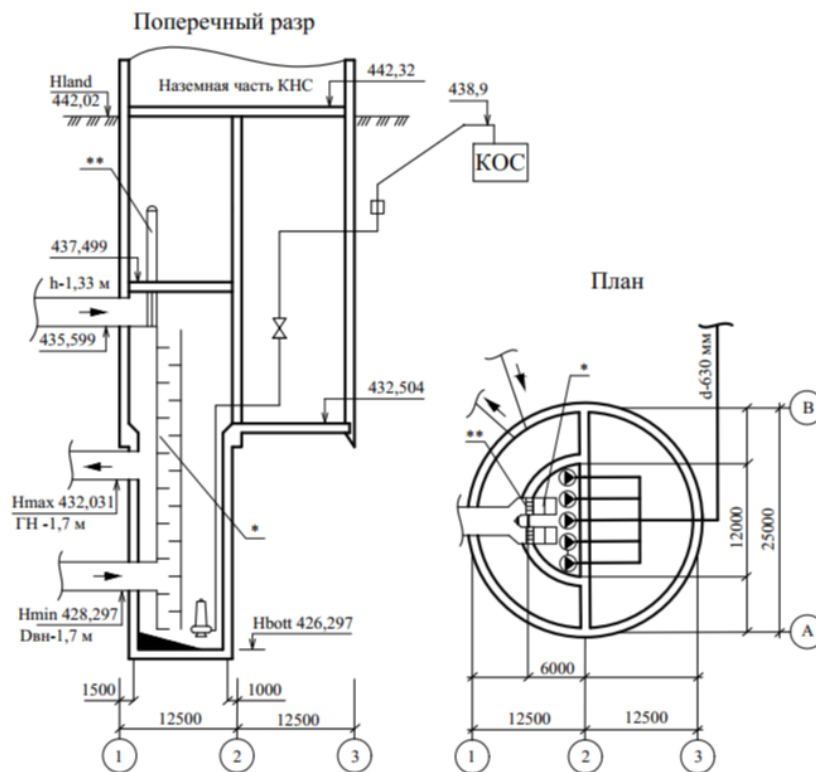


Рис. 60 Конструктивная схема ГКНС №18а г. Иркутск, Q-17000 м³/сут. После реконструкции: * – перепадный колодец шахтного типа; ** – механизированная грабельная решётка с корзиной.

Принимая во внимание горизонтальные отметки существующей инженерной инфраструктуры, а также диктующий параметр $D_{\text{вн}} = 3,5$ м, требуется увеличение глубины приёмного резервуара станции и замена центробежных насосов консольного типа на погружные рисунок 60. Кроме этого для гашения кинетической энергии вертикального потока в приёмном резервуаре станции целесообразно устройство перепадного колодца рисунок 60, 61.

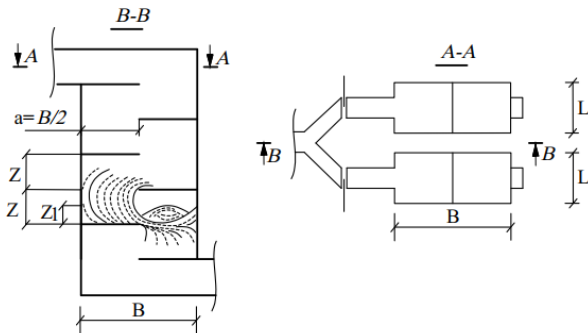


Рис. 61 Расчётная схема перепадного колодца [114].

Принят двухсекционный перепадный колодец шахтного типа прямоугольного сечения, оснащённый многоступенчатыми перепадами. Пропускная способность всего расхода $q_{\text{п.к}}$ составляет 3,093 м³/с при условии предельного затопления одной секции: $Z_1 = Z$ рисунок 34.

Расчёт выполнен на начальный напорный режим ($Z_1 \leq a$) по формуле [114]:

$$q_{\text{п.к}} = \mu_{\text{п.к}} \omega_{\text{отв}} \sqrt{2gZ_1} = 0,9093 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,9} = 3,093, \quad (84)$$

где: $\mu_{\text{п.к}}$ – коэффициент расхода, определяемый по формуле:

$$\mu_{\text{п.к}} = \varphi_{\text{ш}} \varepsilon_{\text{сж}} = 0,9093, \quad (85)$$

где: $\varphi_{\text{ш}} = 0,89$ – коэффициент скорости в отверстиях шахт;

$\varepsilon_{\text{сж}}$ – коэффициент сжатия струи, определяемый по формуле:

$$\varepsilon_{\text{сж}} = \frac{0,57+0,043}{1,1-n_{\text{суж}}} = \frac{0,57+0,043}{1,1-0,5} = 1,0217, \quad (86)$$

где: $n_{\text{суж}}$ – степень сужения шахты, определяемая согласно расчётной схеме рисунок 34, определяется по формуле:

$$n_{\text{суж.}} = \frac{a}{B} = \frac{0,9}{1,8} = 0,5, \quad (87)$$

где: $a = 0,9$, согласно расчётной схеме, рисунок 34;

$\omega_{\text{отв}}$ – площадь сечения отверстия, определяется, согласно расчётной схеме, рисунок 34;

$$\omega_{\text{отв}} = \frac{BL_1}{2} = \frac{1,8 \cdot 0,9}{2} = 0,81. \quad (88)$$

Z_1 – напор воды над отверстием, м, принимаемый в соответствии расчётной схемы равным 0,9.

Значение 1,8 м для параметра B и 0,9 для параметра L_1 значительно превышает потребности, однако является необходимым для обеспечения доступа к шахтам сооружения. При эксплуатации двух секций режим работы будет от безнапорного до начального напорного режим ($Z_1 < Z$). Для повышения устойчивости и надёжности предусмотрена подача воздуха под ступени.

Для очистки стоков от механических включений приняты 2 грабельные решётки с корзиной, предназначенные для удаления крупных взвесей размером более 15 мм, производительностью – 1400 м³/ч каждая, производителя ООО НПК «ТехВодПолимер».

Определение количества фекальных насосов

Для реализации АРР в составе действующей ГКНС №18а потребуется реконструкция приёмного резервуара, замены фекальных насосов консольного типа на погружные.

Число рабочих насосов, устанавливаемых на КНС, n_p , шт., определяется по формуле [115, 116, 117]:

$$n_p = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{5,94}{2,38} = 2,5, \quad (89)$$

где: $Q_{\text{max}} = 5,94\%$ – максимальный часовой приток сточных вод таблица 6;

$Q_{\text{min}} = 2,38\%$ – минимальный часовой приток сточных вод таблица 13,

рисунок 35;

Число рабочих насосов округляется в большую сторону и принимается 3 рабочих насоса.

Подача насосной станции [115, 116, 117]:

$$Q_{н.с} \geq Q_{\max.час} = Q_{3н} = 5,94\%. \quad (90)$$

Подача одного насоса $Q_{1н}$ % определяется по формуле:

$$Q_{1н} = \frac{Q_{н.с}}{n_p} K_i = \frac{5,94}{3} 1,18 = 2,34\%, \quad (91)$$

где: K_i – коэффициент параллельности работы i -го насоса.

Коэффициент параллельности работы насосов учитывает снижение подачи насосов, работающих параллельно на один водовод. При работе двух насосов этот коэффициент равен $K_2 = 1,11$, при работе трех насосов – $K_3 = 1,18$, а при работе четырех насосов – $K_4 = 1,25$ [116].

Часовой приток сточных вод

Часы суток	Приток сточных вод, %	Число работающих насосов, шт.	Подача насосам, %	Поступление в приемный резервуар, %	Расход из приемного резервуара, %	Остаток в приемном резервуаре, %
0–01	4,28	2	4,21	0,08	–	6,23
01–02	3,54	2	4,21	–	0,67	5,56
02–03	3,23	1	2,34	0,89	–	5,56
03–04	2,97	1	2,34	0,63	–	5,56
04–05	5,46	3	5,94	–	0,47	5,09
05–06	5,69	3	5,94	–	0,25	4,84
06–07	4,37	2	4,21	0,17	–	4,84
07–08	4,90	3	5,94	–	1,03	3,81
08–09	2,71	1	2,34	0,37	–	3,81
09–10	2,38	1	2,34	0,05	–	3,81
10–11	3,63	2	4,21	–	0,58	3,23
11–12	4,14	2	4,21	–	0,07	3,16
12–13	4,91	3	5,94	–	1,02	2,14
13–14	4,52	2	4,21	0,32	–	2,14
14–15	3,53	2	4,21	–	0,68	1,46
15–16	4,21	2	4,21	0,00	–	1,46
16–17	3,51	1	2,34	1,17	–	1,46
17–18	4,22	2	4,21	0,01	–	1,46
18–19	3,41	1	2,34	1,07	–	1,46
19–20	3,32	1	2,34	0,99	–	1,46
20–21	4,70	2	4,21	0,50	–	1,46
21–22	5,29	3	5,94	–	0,64	0,82
22–23	5,13	3	5,94	–	0,82	0,00
23–24	5,94	3	5,94	0,00	–	0,00
	100,00		100,00	6,23	6,23	

Подача i -го параллельно работающего насоса Q_{iH} , %, определяется по формуле [116]:

$$Q_{iH} = \frac{Q_{1H} \cdot n_i}{K_i}, \quad (92)$$

где: n_i – число параллельно работающих насосов, шт.

Подача всех работающих насосов определяется по формуле [116]:

$$Q_{HC} = \frac{Q_{1H} \cdot 3}{K_3} = 5,94\%. \quad (93)$$

Суточный график притока и откачки ГКНС №18а графически представлен на рисунке 62.

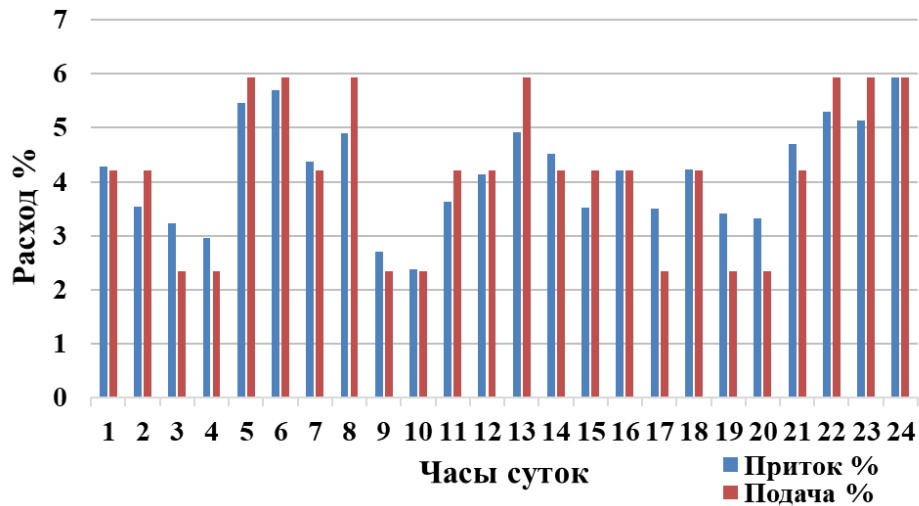


Рис. 62 График притока и подачи ГКНС №18а.

Подача одного насоса $q_{1Н}$, $м^3$, составляет:

$$q_{1Н} = \frac{Q_{\min} \cdot Q_{\text{сут}}}{100} = \frac{2,38 \cdot 17000}{100} = 404,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 112,39 \text{ л/с} = 0,112 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (94)$$

Подача насосной станции $q_{НС}$, $м^3$ составляет:

$$q_{НС} = \frac{Q_{НС} \cdot Q_{\text{сут}}}{100} = \frac{5,94 \cdot 17000}{100} = 1009,48 \text{ м}^3/\text{ч} = 280,41 \text{ л/с} = 0,28 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (95)$$

Расчёт напорных трубопроводов

Напорный трубопровод для КНС, оснащаемых АРР, целесообразно принимать один, при этом рекомендуемая скорость потока $V_{н.тр.}$ составляет 1 – 1,5 м/с [117].

Диаметр напорного трубопровод, $d_{н.тр.}$, м определяется по формуле:

$$d_{н.тр.} = \sqrt{\frac{4q_{НС}}{\pi V_{н.тр.}}} = 0,597 \text{ м}, \quad (96)$$

где: $V_{н.тр.} = 1 \frac{м}{с}$.

Для изготовления напорных трубопроводов принимаем трубы 100/ПЭ ГОСТ 18599 рисунок 63 наружным диаметром $d = 710$ мм, с толщиной стенки $e_n = 42,1$ мм [118, 119].

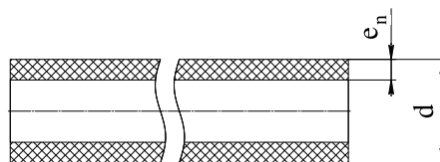


Рис. 63 Фрагмент продольного сечения [118].

Потери напора в напорном водоводе h_l , м, определяются по формуле [118]:

$$h_l = 1,1 \cdot i_n \cdot l_n, \quad (97)$$

где: $i_n = 0,003$ – гидравлический уклон напорных водоводов;

l_n – длина напорных водоводов, м.

Напорные трубопроводы внутри КНС изготавливаются из стальных труб наружным диаметром $d = 710$ мм, с толщиной стенки 15 мм ГОСТ 10704-91 [120].

Определение требуемого напора насосов

Требуемый напор насосов $h_{\text{треб}}$, м определяется по формуле [116]:

$$h_{\text{треб}} = h_{\text{ст.}} + h_l + h_{\text{НС}} + h_j + h_{\text{изл.}} \quad (98)$$

$$h_{\text{треб}} = 9,7 + 3,24 + 2 + 0,016 + 1,5 = 16,46 \text{ м,}$$

где: $h_{\text{стат.}} = Z_1 - Z_2$

где: Z_1 – максимальная отметка шельги напорного трубопровода, м; $Z_2 = h_{\text{min.}}$, м;

h_l – линейные потери напора;

$h_{\text{НС}} = 2$ м – потери напора в коммуникациях КНС;

h_j – местные потери напора (1 участок сопротивления в запорной арматуре, 11 участков плавного поворота трубы круглого поперечного сечения на 90°);

$h_{\text{изл.}} = 1,5$ м – запас напора на излив жидкости.

Подбор фекальных насосов

Данные для подбора насосов представлены в таблице 14.

Таблица 14

Требуемые технические характеристики к насосным агрегатам

Параметр	Единица измерения	Величина
Производительность КНС	м ³ /ч	1009,5
	дм/с	280,4
Производительность одного насоса	м ³ /ч	404,8
	дм/с	112,5
Требуемый напор	м	16,46

Наиболее близким по производительности $q_{1н}$ и требуемому напору $h_{\text{треб}}$ для перекачки хозяйственно-бытовых стоков ГКНС №18а принят погружной

фекальный насос Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016 отечественного производителя ОДО Предприятие Взлёт [121] таблица 15.

Таблица 15

Технические характеристики насоса Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016

Марка насоса	Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016
Номинальная подача	420 м ³ /ч
Номинальный напор, м	23
Мощность насоса кВт	37
Частота вращения, об/мин	1000
КПД %	73
Диаметр рабочего колеса, мм	370
Диаметр напорного патрубка, мм	200
Максимальный размер перекачиваемых частиц, мм	90

Подача и напор у данного насоса превышают необходимые характеристики таблица 16, рисунок 37, поэтому необходимо выполнение обрезки рабочего колеса.

При этом коэффициент быстроходности n_s для рабочего колеса насоса ПФ2 200/450-37/6-016 будет определён из выражения [117]:

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q_p}}{H_p^{3/4}} = 3,65 \cdot \frac{1000 \cdot \sqrt{0,115}}{23^4} = 117,7 \quad (99)$$

Данный агрегат относится к насосам нормальной быстроходности с допустимой величиной обрезки 20% [117].

Таблица 16

Характеристика Q – H насоса Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016

Показа тели	Координаты не обточенного колеса						
	200	266,6	333,2	400	466,4	533	600
Q, л/с	55,56	74,06	92,56	111,11	129,56	148,06	166,67
H, м	23	21,8	20,5	19,2	17,9	16,5	15

Обрезка рабочего колеса в соответствии с [117] составит 4,18 %, при этом диаметр будет равен 354,52 мм. Значение координатных точек характеристики Q' – H' после обточки представлены в таблице 17.

Результаты вычислений характеристика $Q' - H'$

Наименование показателей	Номер точки						
	1	2	3	4	5	6	7
	Определяющие величины						
$Q' = Q \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right) = Q \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)$	53,23	70,96	88,68	106,46	124,13	141,86	159,69
$H' = H \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)^2$	21,12	20,01	18,82	17,63	16,43	15,15	13,77

Рабочие характеристики напорного трубопровода от ГКНС №18а d/y – 626 мм выполненного из трубы 100/ПЭ +, ГОСТ 18599, протяжённостью 3132 м, представлены в таблице 18.

Таблица 18

Характеристика S напорного трубопровода

№	Наименование показателей	Расход Q' дм ³ /с							
		50	70	80	90	100	113	125	140
		Определяющие величины							
1	$h_{ст.}$	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
2	$h'_{\Sigma} = h_{\Sigma} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с}}\right)^2$ $= 6,76 \cdot \left(\frac{Q'}{112,44}\right)^2$	1,34	2,62	3,42	4,33	5,35	6,77	8,41	10,48
3	$H'_м$	11,04	12,32	13,12	14,03	15,05	16,47	18,11	20,18
h_{Σ} – суммарное значение линейных и местных сопротивлений.									

Ввиду того, что обрезка рабочего колеса незначительна, потерями КПД насоса можно пренебречь, при этом полезная мощность насоса $N_{п}$ согласно условию [117] составит:

$$N_{п} = \frac{\rho g \cdot Q \cdot H}{1000} = 18,24 \text{ кВт}, \quad (100)$$

где: ρ – плотность жидкости, кг/м³;

Q – подача насоса, м³/с;

H – напор насоса, м.

На основе расчётных данных, представленных в таблицах 16, 17, 18, построим график совместной работы трубопровода и насоса с диаметрами рабочего колеса 370 мм и 348,5 мм рисунок 64.

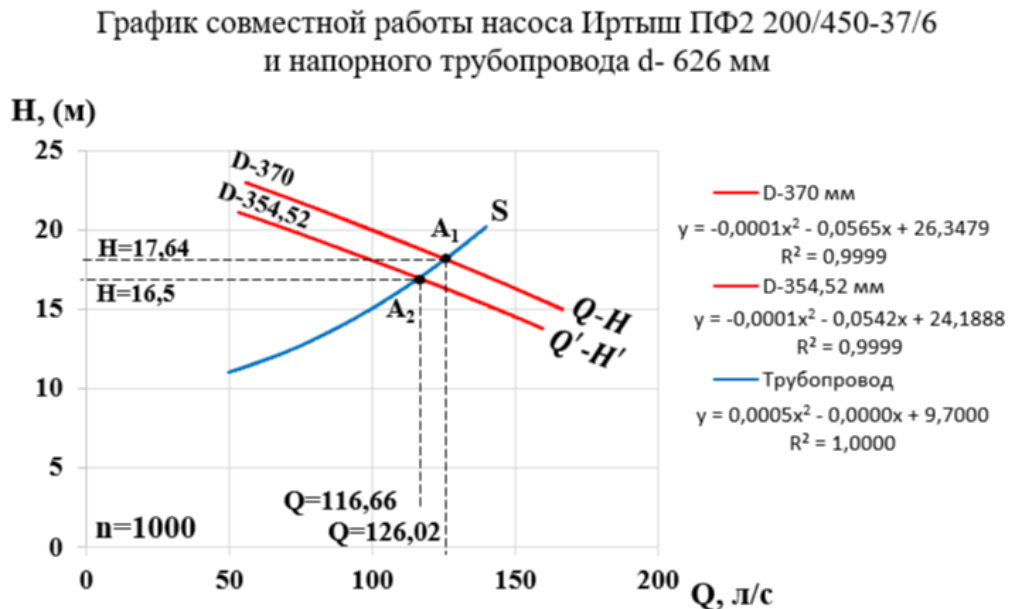


Рис. 64 Погружной насос Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016.

Точку пересечения (точка энергетического равновесия) A_1 в системе насос – трубопровод для насоса с диаметром рабочего колеса 370 мм представим как равенство квадратного уравнения:

$$-0,0001x^2 - 0,0565x + 26,3479 = 0,0005x^2 + 9,7$$

$$-0,0001x^2 - 0,0005x^2 - 0,0565x + 26,3479 - 9,7 = 0$$

$$-0,0006x^2 - 0,0565x + 16,6479 = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = -0,0565^2 - 4 \cdot (-0,0006) \cdot 16,6479 = 0,04314721$$

$$x = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} = \frac{0,0565 - 0,208}{-0,012} = \frac{-0,15122}{-0,012} = 126,02$$

$$y = -0,0001x^2 - 0,0565x + 26,3479$$

$$= -0,0001 \cdot 126,02^2 - 0,0565 \cdot 126,02 + 26,3479 = 17,64$$

Результаты расчёта координат точки пересечения A_2 для насоса с диаметром рабочего колеса 348,53 мм представлены ниже:

$$-0,0001x^2 - 0,0542x + 24,1888 = 0,0005x^2 + 9,7$$

$$-0,0001x^2 - 0,0005x^2 - 0,0542x + 24,1888 - 9,7 = 0$$

$$-0,0006x^2 - 0,0542x + 14,4888 = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = -0,0542^2 - 4 \cdot (-0,0006) \cdot 14,4888 = 0,03771076$$

$$x = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} = \frac{0,0542 - 0,194}{-0,00012} = \frac{-0,14}{-0,00012} = 116,66$$

$$y = -0,0001x^2 - 0,054x + 24,0627$$

$$= -0,0001 \cdot 116,66^2 - 0,054 \cdot 116,66 + 24,1888 = 16,505$$

Ввиду того, что потери в насосе неизбежны, то подводимая к нему энергия должна превышать полезную. Эти потери учитываются коэффициентом полезного действия (КПД), а мощность насоса определяется как [117]:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta} = \frac{18,24}{0,493} = 36,99 \text{ кВт}, \quad (101)$$

где: η – коэффициент полезного действия (КПД) представляет собой отношение полезной мощности к мощности насоса [117]:

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} = \frac{18,24}{37} = 0,493. \quad (102)$$

Параллельная работа насосов

Совместная работа нескольких насосов на один общий напорный трубопровод называется параллельной работой насосов. Необходимость в параллельной работе нескольких одинаковых возникает в тех случаях, когда невозможно обеспечить требуемую подачу одним насосом [117].

Для ГКНС №18а принята группа из трех однотипных центробежных насосов с равными напорами и подачами. Расчёт режима работы данной схемы выполнен графическим способом рисунок 65, таблица 19, 20.

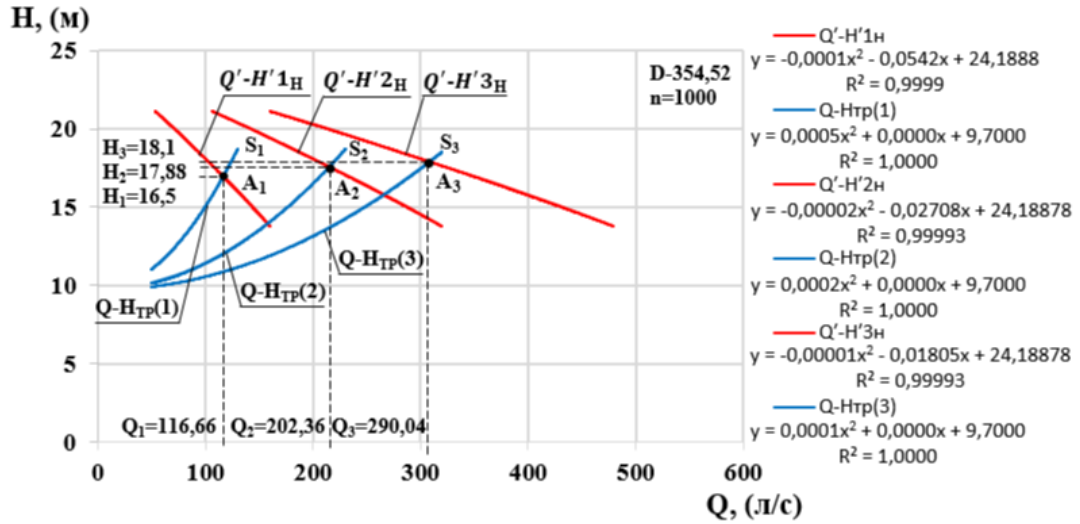


Рис. 65 Характеристика параллельной работы 3-х насосов Иртыш ПФ2 200/450-37/6 с одинаковыми характеристиками на один трубопровод.

Таблица 19

Результаты вычислений характеристика $Q' - H'$
 для группы из 3-х насосов Иртыш ПФ2 200/450-37/6-016

Наименование показателей	Номер точки						
	1	2	3	4	5	6	7
	Определяющие величины						
$Q'_1 = Q \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right) = Q \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)$	52,33	69,76	87,18	104,66	122,04	139,46	157,00
$H'_1 = H \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)^2$	20,41	19,34	18,19	17,04	15,88	14,64	13,31
$Q'_2 = 2Q \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right) = 2Q \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)$	104,66	139,52	174,37	209,33	244,08	278,93	313,99
$H'_2 = H \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)^2$	20,41	19,34	18,19	17,04	15,88	14,64	13,31
$Q'_3 = 3Q \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right) = 3Q \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)$	157,00	209,28	261,55	313,99	366,11	418,39	470,99
$H'_3 = H \cdot \left(\frac{D_{06}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{354,52}{370}\right)^2$	20,41	19,34	18,19	17,04	15,88	14,64	13,31

Рабочие характеристики напорного трубопровода от ГКНС №18а d/y – 626 мм, выполненного из трубы 100/ПЭ, ГОСТ 18599, протяжённостью 3132 м для группы насосов представлены в таблице 20.

Таблица 20

Характеристика S напорного трубопровода

Наименование показателей для S ₁	Расход Q' дм ³ /с							
	50	65	80	90	100	112,5	120	130
	Определяющие величины							
h _{ст.}	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
$h'_{\Sigma 1} = h_{\Sigma} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с.}}\right)^2 = 6,76 \cdot \left(\frac{Q'}{112,44}\right)^2$	1,34	2,26	3,42	4,33	5,35	6,77	7,70	9,04
H' ₁ м	11,04	11,96	13,12	14,03	15,05	16,47	17,40	18,74
Наименование показателей для S ₂	Расход Q' дм ³ /с							
	50	80	110	140	170	190	210,2	220
	Определяющие величины							
h _{ст.}	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
$h'_{\Sigma 2} = h_{\Sigma} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с.}}\right)^2 = 6,76 \cdot \left(\frac{Q'}{202,59}\right)^2$	0,41	1,05	1,99	3,23	4,76	5,95	7,28	7,97
H' ₂ м	10,11	10,75	11,69	12,93	14,46	15,65	16,98	17,67
Наименование показателей для S ₃	Расход Q' дм ³ /с							
	50	90	140	180	225	265	298,1	310
	Определяющие величины							
h _{ст.}	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
$h'_{\Sigma 3} = h_{\Sigma} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{н.с.}}\right)^2 = 6,76 \cdot \left(\frac{Q'}{202,59}\right)^2$	0,21	0,70	1,69	2,79	4,35	6,04	7,64	8,26
H' ₃ м	9,91	10,40	11,39	12,49	14,05	15,74	17,34	17,96

Определение объёма приёмного резервуара насосной станции

Минимальный рабочий объём приёмного резервуара станции W_{мин}, м³, определяется из условия 5-ти минутной работы одного насоса по формуле [116]:

$$W_{\min} = \frac{5Q_{1н}}{60} \cdot \frac{Q_{сут}}{100} = 32,75 \text{ м}^3. \quad (103)$$

В период минимального часового притока на КНС подача насосов превышает поступления, и их приходится часто включать-выключать. Большое число

срабатываний автоматики управления насосных агрегатов позволяет минимизировать объём приёмного резервуара станции, однако, сокращает ресурс электрооборудования. Поэтому количество срабатываний пусковых аппаратов в единицу времени (как правило в 1 час) рекомендуется устанавливать не более трех для ручного управления станцией и пять включений допустимо для автоматического режима [116].

Рабочий объём приёмного резервуара КНС при заданной работе автоматики управления насосов в час минимального притока W_{\min}^* , м³, определяется следующим образом:

$$W_{\min}^* = \frac{Q_{\min}}{m_H} \left(1 - \frac{Q_{\min}}{Q_{\text{НС}}}\right) \frac{Q_{\text{сут}}}{100} = 80,79 \text{ м}^3, \quad (104)$$

где: m_H – максимальное число включений, принимаемое равное 3.

4.3 Разработка методики расчёта системы гидросмыва осадка аварийно-регулирующего резервуара

Представленный метод направлен на решение таких задач как определение объёма промывной воды, расчёта параметров диспергирующих аппаратов и системы трубопроводов, а также подбора насосов в системе гидросмыва осадка.

Порядок определения объёма промывной воды основывается на требованиях производителя фекальных насосов, а именно перекачиваемые сточные воды должны соответствовать по содержанию взвешенных веществ. В связи с этим, после опорожнения ГН в него необходимо вводить через форсунки дополнительный объём условно чистой воды. Данные мероприятия позволяют рассредоточить концентрацию осадка, сформировавшийся в период хранения стоков до предельно допустимых значений.

Кроме этого, для реализации функции гидротранспортирования поток промывной воды должен обладать достаточной силой, способной вывести из состояния равновесия выпавший на поверхность осадок.

Общий объём промывной воды для ГН $V_{\text{п.в.}}$, м³, определяется по формуле:

$$V_{\text{п.в. общ.}} = G_{\text{ВВ}} \frac{100}{j_{\text{ВВ}}} = 1,675 \frac{100}{2} = 83,75 \text{ м}^3, \quad (105)$$

где: $G_{\text{ВВ}}$ – суммарное количество взвешенных веществ, т, определяется по формуле:

$$G_{\text{ВВ}} = \frac{n_{\text{ж}} t_{\text{ав}} g_{\text{ВВ}}}{24} / 1000 = 1,675 \text{ т}, \quad (106)$$

где: $n_{\text{ж}}$ – численность населения, тыс. чел. (принимается 100 тыс. чел.);

$t_{\text{ав}}$ – период времени, ч, необходимый для устранения аварии (принимается 6 ч.);

$g_{\text{ВВ}}$ – удельное количество взвешенных веществ, принимаемое на одного жителя, равным – 67 гр. / сут. [10];

$j_{\text{ВВ}}$ – допустимое содержание в сточных водах взвешенных частиц, согласно [121] принимается 2%.

При этом удельный объем промывной воды $V_{\text{п.в уд}}$, м³, на полезный объем горизонтального накопителя $V_{\text{г.н}}$, м³, будет определяться по формуле:

$$V_{\text{п.в уд}} = V_{\text{г.н}} \frac{V_{\text{п.в общ.}}}{V_{\text{г.н расч.}}}, \quad (107)$$

где: $V_{\text{г.н расч.}}$ – объем, м³, включающий элементы коммуникационной группы, определяемый по формуле:

$$V_{\text{г.н расч.}} = \sum_{i=1}^{14} V_{\text{г.н}i} + \sum_{i=1}^{11} V_{\text{с.к}i} + \sum_{i=1}^2 V_{\text{ком.гр}i}, \quad (108)$$

где: $V_{\text{с.к}}$ – объем смотровых камер

$V_{\text{ком.гр}}$ – объем коммуникационной группы (сбросной, перепускной, самотечных трубопроводов), м³, рисунок 30.

Ввиду масштабности сооружения и значительных площадей внутренних поверхностей целесообразно зонирование гидросмыва в горизонтальных накопителях, сводные показатели которого представлены в таблице 21.

Потокораспределение промывной воды для АРР ГКНС №18а разработано на выделении 4-х активных зон гидросмыва, формирующихся продольно и поперечно по лотку ГН.

Расчётные величины параметров горизонтальных накопителей

Диаметр ГН		1,7	2,6	2,9	3,2	3,5
Количество ГН, шт.		3	5	3	3	1
$V_{Г.Н}$ м ³		48,659	211,445	263,466	321,144	384,447
Смотровые камеры	шт.	-	3	3	3	2
	$V_{СК}$ м ³	-	13,80	19,16	25,74	33,67
$\sum_{i=1}^{12} V_{Г.Н.і}$ м ³		3195,5				
$\sum_{i=1}^{11} V_{С.Кі}$ м ³		243,433				
$V_{Г.Н.расч.}$ м ³		3373,467				
Радиус лотка, м		0,15				
Расход в лотке, дм ³ /с		30				
Скорость в лотке, м/с		0,91				
$V_{п.в.уд}$ м ³		1,208	5,249	6,541	7,973	9,544
Площадь полок ГН $S_{п.ГН}$ м ²		36,563	102,367	111,55	120,542	129,376

Каждая зона содержит отдельно управляемые рабочие группы форсунок:

- гидросмыва стенок ГН (ФС);
- гидросмыва полок ГН (ФП);
- гидросмыва лотка ГН (ФЛ);
- гидросмыва смотровой камеры (ФК).

Также эмпирически было установлено, что для выполнения задач форсунками ФП необходимо 50% от расчётного объёма промывочной воды, для форсунки ФС – 30%, форсунки ФЛ, выполняющие смыв лотка ГН, – 15%, а форсунки ФК – 5%.

Расчёт параметров форсунок основывается на соотношении количества единиц, оптимально покрывающих факелами необходимые поверхности и их расхода.

Количество форсунок ФС и ФП в горизонтальных накопителях определяется по формулам таблица 15:

$$n_{ФС} = \frac{2L_{Г.Н}}{D_{ВН}}, \quad (109)$$

$$n_{\text{ФП}} = \frac{2L_{\text{Г.Н}}}{a_{\text{ср}}}, \quad (110)$$

где: $a_{\text{ср}}$ – среднеарифметическое значение, рассматриваемое как соотношение параметра «а», мм, согласно условию [113] для начальной и конечной точек горизонтального накопителя рисунок 7, 8, приложение 1.

Количество форсунок ФК и ФЛ в горизонтальных накопителях определяется из условия: $n_{\text{ФЛ}} = 20$, $n_{\text{ФК}} = 6$.

При этом количество форсунок $n_{\text{ФС}}$ и $n_{\text{ФП}}$ допускается корректировать в зависимости от допустимого расхода. Предварительный расчёт количества форсунок представлен в таблице 22.

Таблица 22

Результат предварительного расчёта количества форсунок

Диаметр ГН	1,7	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5
$n_{\text{ФС}}$	58,8	43,5	38,5	34,5	31,3	28,6
$n_{\text{ФП}}$	136,80	107,53	97,66	89,61	82,92	77,28
Величина $a_{\text{к}}$	0,824	1,051	1,156	1,259	1,358	1,455
Величина $a_{\text{н}}$	0,638	0,808	0,891	0,972	1,053	1,132
Величина $a_{\text{ср}}$	0,731	0,930	1,024	1,116	1,206	1,294
Величины: $a_{\text{н}}$, $a_{\text{к}}$ характеризуют параметр «а» – в начале и конце горизонтального накопителя рисунок 13, 16, определяемый в соответствии (37)						

Расход на форсунках – $G_{\text{ж}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$, определяется по формуле:

$$G_{\text{ж}} = \frac{V_{\text{п.в. уд}}/n_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (111)$$

где: $n_{\text{ц}}$ – количество форсунок, работающих в одном цикле;

$t_{\text{ц}}$ – экспериментальная величина, определяющая период рабочего цикла, с, в который осуществляется подача расчётного объёма воды через форсунки. Спецификация форсунок представлена в таблице 23.

Результат расчёта количества и параметров форсунок

$D_{\text{вн}}$	Гр.	n...	$G_{\text{ж}}$	d_c	a_k	$t_{\text{ц}}$	Расходные характеристики групп гидросмыва	Время промывки, сек.
1,7	ФК	10	1,0003	8,8	5,6	11,12	1-й цикл: 2 участка ФК (5,001 x 2 = 10,0 л/с); 2-й цикл: 1 участок ФП (20,004 x 1 = 20,0 л/с); 3-й цикл: 1 участок ФП (20,004 x 1 = 20,0 л/с); 4-й цикл: 2 участка ФС (10,002 x 2 = 20,0 л/с); 5-й цикл: 1 участок ФЛ (10 x 1 = 10,00 л/с).	133,46
	ФП	48	0,8335	8	5,2	27,81		
	ФС	24	0,8335	8	5,2	33,36		
	ФЛ	10	1,0003	5,8	-	33,36		
2,6	ФК	10	1,0003	8,8	5,6	26,24	1-й цикл: 2 участка ФК (5,0015 x 2 = 10,0 л/с); 1-й цикл: 1 участок ФЛ (10,001 x 1 = 10,0 л/с). 2-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 3-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 4-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 5-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 6-й цикл: 2 участка ФС (10,002 x 2 = 20,0 л/с); 7-й цикл: 2 участка ФС (10,002 x 2 = 20,0 л/с); 8-й цикл: 2 участка ФЛ (10,001 x 2 = 20,0 л/с).	275,53
	ФП	96	0,8335	8	5,2	32,8		
	ФС	48	0,8335	8	5,2	39,36		
	ФЛ	20	1,00	5,2	-	39,37		
2,9	ФК	10	1	8,8	5,6	32,7	1-й цикл: 2 участка ФК (5,0 x 2 = 10,0 л/с); 1-й цикл: 1 участок ФЛ (10,0 x 1 = 10,0 л/с); 2-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 3-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 4-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 5-й цикл: 1 участок ФП (20,00 л/с); 6-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 7-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 8-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 9-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 10-й цикл: 2 участка ФЛ (10,0 x 2 = 20,0 л/с).	342,01
	ФП	96	0,8335	8	5,2	40,87		
	ФС	40	2,0	12,7	7,2	24,52		
	ФЛ	20	1	5,2	-	47,75		

Продолжение таблицы 23

3,2	ФК	10	1	8,8	5,6	39,86	1-й цикл: 2 участка ФК (5,0 x 2 = 10,0 л/с); 1-й цикл: 1 участок ФЛ (10,0 x 1 = 10,0 л/с);	418,49
	ФП	96	0,8335	8	5,2	49,82	2-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 3-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 4-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 5-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с);	
	ФС	40	2	12,6	7,2	29,89	6-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 7-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 8-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 9-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с);	
	ФЛ	20	1	5,2	-	59,79	10-й цикл: 2 участка ФЛ (10,0 x 2 = 20,0 л/с).	
3,5	ФК	10	1	8,8	5,6	47,7	1-й цикл: 2 участка ФК (5,0 x 2 = 10,0 л/с); 1-й цикл: 1 участок ФЛ (1,0 x 1 = 10,0 л/с);	501
	ФП	96	0,8335	8	5,2	59,64	2-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 3-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 4-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с); 5-й цикл: 1 участок ФП (20,0 л/с);	
	ФС	40	2	12,7	7,2	35,79	6-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 7-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 8-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с); 9-й цикл: 1 участок ФС (20,0 л/с);	
	ФЛ	10	1	5,2	-	71,58	10-й цикл: 2 участка ФЛ (10,0 x 2 = 20,0 л/с).	

В целях предотвращения засорения форсунок и выхода их из строя при выполнении расчёта диаметр соплового отверстия d_c , а также параметр a_k , определяющий размер периферийных каналов центробежно-струйных форсунок таблица 16, принят > 5 мм. Количество и совмещение рабочих циклов в системе гидросмыва АРР выполнено на основе расходных характеристик форсунок и условий водоснабжения ГКНС №18а.

Так как количество смотровых камер не всегда соответствует численности горизонтальных накопителей рисунок 29, а также ввиду того, что расчёт удельного объёма промывной воды $V_{п.в.уд}$, м³, выполняется из произведения полезного объёма горизонтальных накопителей, $V_{г.н}$ и отношения общего объёма промывной воды $V_{п.в.общ.}$ к расчётному объёму горизонтальных накопителей $V_{г.н.расч.}$, возникает

дефицит промывной воды, который необходимо восполнить для соблюдения условия (104). Решение этой задачи возможно за счёт компенсирующего объёма промывной воды $V_{п.в.ком}$ м³, сформированного добавочным временем $t_{ц,д}$, сек., в работе форсунок группы «ФП». Определение данного объёма выполняется следующим образом:

$$V_{п.в.ком} = \sum_{i=1}^{1200} G_{ж\ ф.п} \cdot t_{ц,д}, \quad (112)$$

где: $G_{ж\ ф.п}$ – расход, дм³/с, форсунок гидросмыва полок горизонтального накопителя таблица 16, 17;

$$t_{ц,д} = \frac{V_{п.в.общ.} - V_{п.в.фак}}{\sum_{i=1}^{1200} G_{ж\ ф.п}} = 2,98, \quad (113)$$

где: $V_{п.в.фак}$ – фактический объём промывной воды, дм³, образующийся при работе всех групп форсунок в период рабочего цикла, $t_{ц}$, таблица 23, 24.

Таблица 24

Расчёт объёмов промывной воды

ГН	Гр	n...	Кол- во ГН	Кол- во СК	$G_{ж}$	$t_{ц}$	$V_{п.в.фак}$	$t_{ц,д}$	$V_{п.в.ком}$
1,7	фк	10	3	3	1	11,12	333,60	–	–
	фп	48			0,8335	27,81	3337,87	2,98	429,45
	фс	24			0,8335	33,36	2002,00	–	–
	фл	10			1,0003	33,36	1001,10	–	–
2,6	фк	10	4	3	1,0003	26,24	787,44	–	–
	фп	96			0,8335	32,8	10498,10	2,98	1145,19
	фс	48			0,8335	39,36	6298,86	–	–
	фл	20			1	39,37	3149,60	–	–
2,9	фк	10	3	3	1	32,7	981,00	–	–
	фп	96			0,8335	40,87	9810,76	2,98	858,90
	фс	40			2	24,52	5884,80	–	–
	фл	20			1	47,75	2865,00	–	–
3,2	фк	10	3	3	1	39,86	1195,80	–	–
	фп	96			0,8335	49,82	11959,19	2,98	858,90
	фс	40			2	29,89	7173,60	–	–
	фл	20			1	59,79	3587,40	–	–
3,5	вк	10	1	2	1	47,7	954,00	–	–
	фп	96			0,8335	59,64	4772,15	2,98	286,30
	фс	40			2	35,79	2863,20	–	–
	фл	10			1	71,58	715,80	–	–
Всего:							80171,27	–	3578,73
							$83750 \cdot 10^{-3}$		

Таким образом, объём промывной воды, сбрасываемой через форсунки АРР, будет составлять 83,75 м³, что соответствует условию (104). Расчётное время промывки системы АРР таблица 25 составляет 1 час 14 мин.

Таблица 25

Расчёт времени промывки АРР

Диаметр ГН	1,7	2,6	2,9	3,2	3,5
промыв.	133,46	275,53	342,01	418,49	501
Кол-во ГН, шт.	3	4	3	3	1
t _{ц,д}	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Кол-во циклов	2	4	4	4	4
Итого, сек.:					4434,00

Гидравлический расчёт выполняется на основе исходных данных протяжённости трубопроводов рисунок 39, таблица 16 с целью определения оптимальных диаметров трубопроводов в системе гидросмыва. Средняя скорость потока в распределительных трубопроводах АРР рекомендована 0,5 м/с.

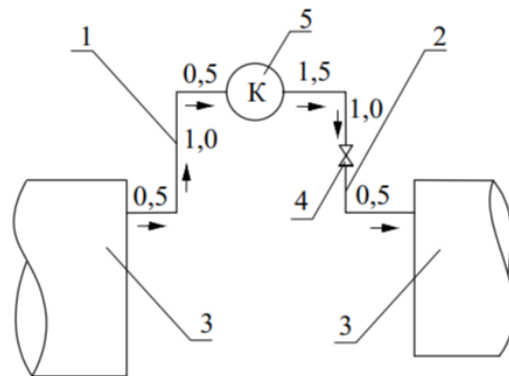


Рис. 66 Расчётная схема: 1 – Транзитный трубопровод, 2 – питающий трубопровод, 3 – горизонтальный накопитель, 4 – запорная арматура, 5 – распределительный коллектор.

Определение расчётной длины питающих, распределительных и транзитных трубопроводов гидросмыва выполняется с учётом коммутации ГН рисунок 11 а, таблица 26.

Порядок расчёта протяжённости трубопроводов гидросмыва:

№	Наименование трубопровода	Протяженность, м
1	Распределительный трубопровод гидросмыва камеры ГН	$L_1 = D_{вн} \frac{\pi}{2}$
2	Питающий трубопровод гидросмыва камеры ГН, м	$L_2 = L_{г.н} + D_{вн} \frac{\pi}{4} + 3$
3	Распределительный трубопровод гидросмыва полук, стенок, лотка ГН	$\frac{L_3 = L_{г.н}}{4}$
4	Питающий трубопровод гидросмыва полук ГН (1-я очередь)	$L_4 = 0,75L_{г.н} + D_{вн} + 3$
5	Питающий трубопровод гидросмыва полук ГН (2-я очередь)	$L_5 = 0,25L_{г.н} + D_{вн} + 3$
6	Питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН (1-я очередь)	$L_6 = 0,75L_{г.н} + 0,5D_{вн} + 3$
7	Питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН (2-я очередь)	$L_7 = 0,25L_{г.н} + 0,5D_{вн} + 3$
8	Питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН (1-я очередь)	$L_8 = 0,75L_{г.н} + D_{вн} \frac{\pi}{2} + 3$
9	Питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН (2-я очередь)	$L_9 = 0,25L_{г.н} + D_{вн} \frac{\pi}{2} + 3$
10	Транзитный трубопровод	$L_{10} = L_{г.н} + 5$
При условии: $L_{г.н} = 50$		

На основе рабочих параметров форсунок таблица 15, протяжённости участков трубопроводов таблица 16, а также суммарных потерь выстраивается баланс расходно-напорной характеристики системы гидросмыва АРР таблица 27, рисунок 67.

Расходно-напорная характеристика системы гидросмыва

Наименование трубопроводов	Параметры	Диаметр ГН				
		1,7	2,6	2,9	3,2	3,5
Распределительный трубопровод гидросмыва смотровой камеры	d, м	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113
	L, м	2,67	4,08	4,56	5,03	5,5
	v, м/с	0,5	0,5	0,500	0,500	0,500
	h _л , м	0,008	0,012	0,013	0,015	0,016
	h _{вн.р.} , м	0,0818	0,0099	0,0014	0,0032	0,0054
Питающий трубопровод гидросмыва смотровой камеры	d, м	0,060	0,082	0,098	0,092	0,088
	L, м	29,335	55,042	55,278	55,513	55,749
	v, м/с	1,763	0,941	1,328	1,500	1,648
	h _л , м	1,727	0,724	1,082	1,454	1,827
	h _{арм.} , м	0,019	0,005	0,011	0,014	0,017
	h _{пл.п.} , м	0,105	0,030	0,059	0,076	0,091
	h _{вн.с.} , м	0,074	0,020	0,037	0,048	0,059
h _Σ , м	2,014	0,801	1,204	1,609	2,016	
Распределительный трубопровод гидросмыва полок ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,160	0,160	0,160	0,160
	L, м	–	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	–	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _л , м	–	0,024	0,024	0,024	0,024
	h _{вн.р.} , м	–	0,002	0,006	0,011	0,016
Питающий трубопровод гидросмыва полок ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,133	0,122	0,115	0,110
	L, м	–	43,1	43,4	43,7	44
	v, м/с	–	1,430	1,703	1,925	2,115
	h _л , м	–	0,658	1,006	1,357	1,710
	h _{арм.} , м	–	0,013	0,018	0,023	0,027
	h _{пл.п.} , м	–	0,069	0,098	0,125	0,150
	h _{вн.с.} , м	–	0,035	0,053	0,071	0,088
h _Σ , м	–	0,800	1,204	1,610	2,016	
Распределительный трубопровод гидросмыва полок ГН (2-я очередь)	d, м	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
	L, м	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _л , м	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
	h _{вн.р.} , м	0,046	0,011	0,021	0,031	0,042
Питающий трубопровод гидросмыва полок ГН (2-я очередь)	d, м	0,094	0,116	0,106	0,100	0,095
	L, м	17,2	18,1	18,4	18,7	19
	v, м/с	2,907	1,909	2,273	2,569	2,818
	h _л , м	1,429	0,551	0,850	1,156	1,465
	h _{арм.} , м	0,052	0,022	0,032	0,040	0,049
	h _{пл.п.} , м	0,284	0,123	0,174	0,222	0,267
	h _{вн.с.} , м	0,180	0,069	0,104	0,137	0,168
h _Σ , м	2,015	0,800	1,204	1,611	2,015	

Продолжение таблицы 27

Распределительный трубопровод гидросмыва стенок ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,113	0,160	0,160	0,160
	L, м	–	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	–	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _г , м	–	0,036	0,024	0,024	0,024
	h _{вн.р.} , м	–	0,001	0,007	0,012	0,017
Питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,102	0,122	0,114	0,109
	L, м	–	41,8	41,95	42,1	42,25
	v, м/с	–	1,224	1,725	1,951	2,146
	h _г , м	–	0,674	1,002	1,350	1,701
	h _{арм.} , м	–	0,009	0,018	0,023	0,028
	h _{пл.п.} , м	–	0,050	0,100	0,128	0,155
	h _{вн.с.} , м	–	0,031	0,055	0,073	0,091
h _Σ , м	–	0,801	1,206	1,609	2,015	
Распределительный трубопровод гидросмыва стенок ГН (2-я очередь)	d, м	0,113	0,113	0,160	0,160	0,160
	L, м	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _г , м	0,036	0,036	0,024	0,024	0,024
	h _{вн.р.} , м	0,031	0,006	0,023	0,034	0,046
Питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН (2-я очередь)	d, м	0,071	0,087	0,105	0,098	0,094
	L, м	16,35	16,8	16,95	17,1	17,25
	v, м/с	2,562	1,688	2,333	2,640	2,905
	h _г , м	1,536	0,583	0,833	1,128	1,430
	h _{арм.} , м	0,040	0,017	0,033	0,043	0,052
	h _{пл.п.} , м	0,221	0,096	0,183	0,234	0,284
h _{вн.с.} , м	0,152	0,062	0,110	0,145	0,179	
h _Σ , м	2,016	0,801	1,206	1,609	2,015	
Распределительный трубопровод гидросмыва лотка ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,113	0,113	0,113	0,113
	L, м	–	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	–	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _г , м	–	0,036	0,036	0,036	0,036
	h _{вн.р.} , м	–	0,024	0,024	0,024	0,024
Питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН (1-я очередь)	d, м	–	0,104	0,095	0,089	0,085
	L, м	–	44,584	45,055	45,527	45,998
	v, м/с	–	1,179	1,413	1,601	1,760
	h _г , м	–	0,657	1,023	1,393	1,764
	h _{арм.} , м	–	0,009	0,012	0,016	0,019
	h _{пл.п.} , м	–	0,047	0,067	0,086	0,104
	h _{вн.с.} , м	–	0,028	0,042	0,056	0,068
h _Σ , м	–	0,801	1,205	1,611	2,015	

Продолжение таблицы 27

Распределительный трубопровод гидросмыва лотка ГН (2-я очередь)	d, м	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113
	L, м	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	v, м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	h _л , м	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
	h _{вн.р} , м	0,0390	0,0046	0,0105	0,0168	0,0233
Питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН (2-я очередь)	d, м	0,068	0,089	0,082	0,077	0,074
	L, м	13,17	19,584	20,055	20,527	20,998
	v, м/с	2,749	1,603	1,908	2,150	2,352
	h _л , м	1,464	0,601	0,932	1,269	1,609
	h _{арм.} , м	0,046	0,016	0,022	0,028	0,034
	h _{пл.п.} , м	0,254	0,086	0,122	0,155	0,186
	h _{вн.с} , м	0,176	0,056	0,081	0,105	0,127
h _Σ , м	2,016	0,800	1,205	1,611	2,015	
Транзитный трубопровод	d, м	–	–	0,160	0,160	0,160
	L, м	–	–	55	55	55
	v, м/с	–	–	1	1	1
	h _л , м	–	–	0,358	0,358	0,358
	h _{вн.с} , м	–	–	0,013	0,013	0,013
	h _{пл.п.} , м	–	–	0,034	0,034	0,034
	h _Σ , м	–	–	0,405	0,405	0,405
<p>h_л – линейные потери напора в трубопроводе, м h_{вн.р} – потери напора при внезапном расширении трубопровода, м h_{вн.с} – потери напора при внезапном сужении трубопровода, м h_{арм.} – потери напора в запорной арматуре, м h_{пл.п.} – потери напора, вызванные плавным поворотом трубопровода, м h_Σ – суммарные потери напора на участке, м. Диаметр распределительного коллектора равен 0,23 м.</p>						

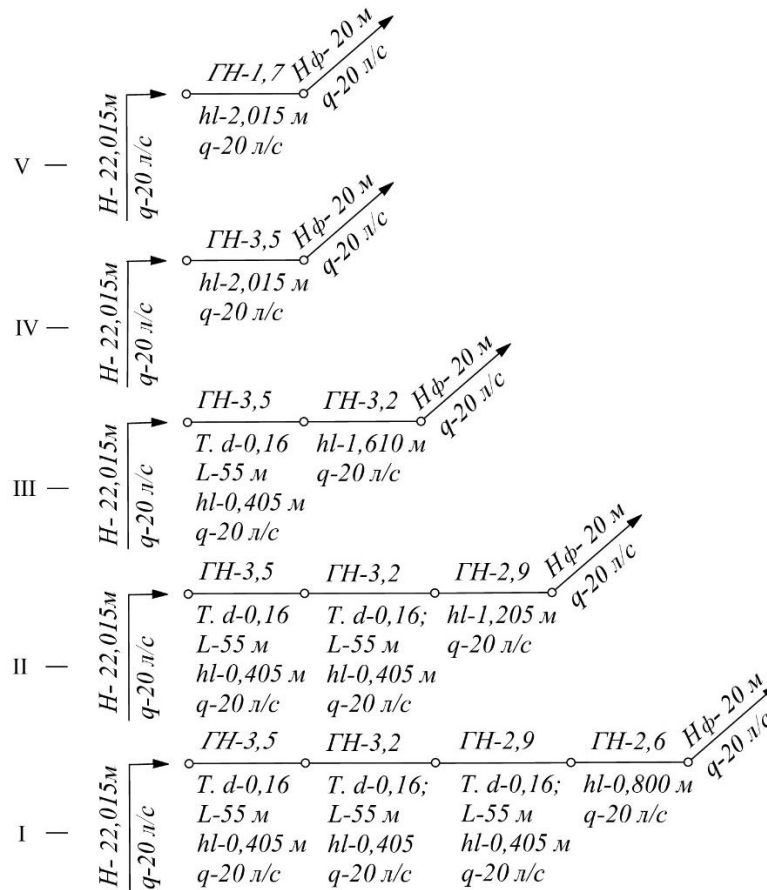


Рис. 67 Схема потокораспределения в горизонтальных накопителях.

Подбор насоса системы гидросмыва

Для подачи воды в систему гидросмыва АРР необходим центробежный насос, который должен обеспечивать заданные рабочие характеристики.

Требуемый напор насоса станции системы гидросмыва $h_{\text{треб.см}}$, м, определяется по формуле:

$$h_{\text{треб.см}} = 22,015 + 0,2 + 2 + 0,05 - 9,452 = 14,813 \text{ м}$$

где: $h_{\text{ГН}}$ – требуемый напор в горизонтальных накопителях, согласно расчётной схемы, рисунок 67;

h_1 – линейные потери напора в напорном трубопроводе на участке расходный бак – распределительный коллектор, протяжённостью – 31 м, рисунок 68;

$h_{\text{НС}} = 2 \text{ м}$ – потери напора в коммуникациях НС;

h_j – местные потери напора (2 участка местных сопротивлений вызванных, плавным поворотом трубы круглого сечения на 90°);

h_r – геометрическая высота, вызванная разностью горизонтальных отметок осей насоса и распределительного коллектора, равная 9,45 м.

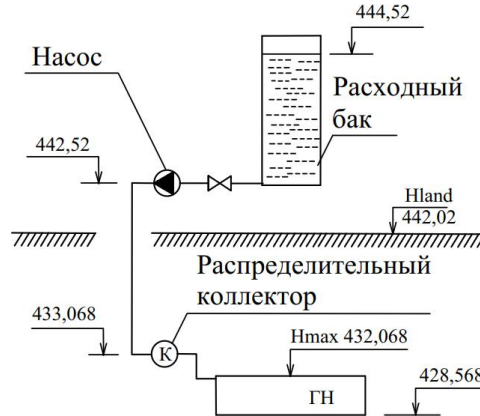


Рис. 68 Высотная схема водоснабжения.

Для подачи воды в систему гидросмыва рассмотрен насос серии «Иртыш ЦНК 80/250-11/4» рисунок 69 ОДО «Предприятие «Взлёт» [121]. Данный насос имеет оптимальные характеристики для применения в системе гидросмыва АРР.

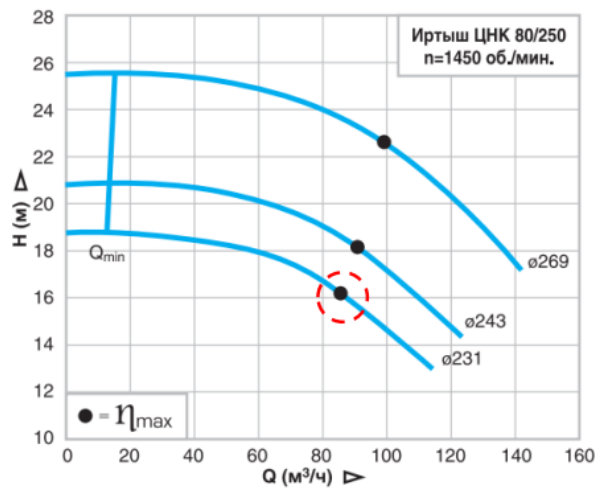


Рис. 69 Рабочие характеристики центробежного консольного насоса «Иртыш ЦНК 80/250» [120].

При этом необходимыми рабочими показателями обладает центробежный насос консольного типа с диаметром рабочего колеса 293 мм рисунок 69, таблица 28 [117].

Рабочая характеристика насоса «Иртыш ЦНК 80/250»

Обозначение	Мощность, кВт	Частота вращения, об /мин	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Диаметр входного патрубка, мм	КПД насоса, % не менее	Масса, кг
ЦНК 80/250-5,5/4	5,5	1450	85	16	80	74	145

Однако, для уменьшения подачи и напора необходима обточка рабочего колеса.

Из имеющихся данных о продукции ОДО «Взлёт» анализируем, что расчётная рабочая точка А рисунок 70 лежит в пониженной зоне характеристики Н – Q для рабочего колеса, имеющего внешний диаметр 231 мм. Из чего следует, чтобы характеристика Н – Q простиралась через координаты точки А требуется срезка внешнего диаметра колеса.

Определение коэффициента быстроходности n_s для рабочего колеса насоса ЦНК 80/250-5,5/4 будет выглядеть как [117]:

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{1450 \cdot \sqrt{0,022}}{16^{3/4}} = 98,6,$$

где: Q_p – производительность, м³/с.

Коэффициент быстроходности данного центробежного насоса лежит в пределах $n_s = 80 \div 150$, характеризуя его как насос нормальной быстроходности 80/250-5,5/4.

Диаметр обточенного рабочего колеса определяется путём построения кривой, проходящей через точку А рисунок 70.

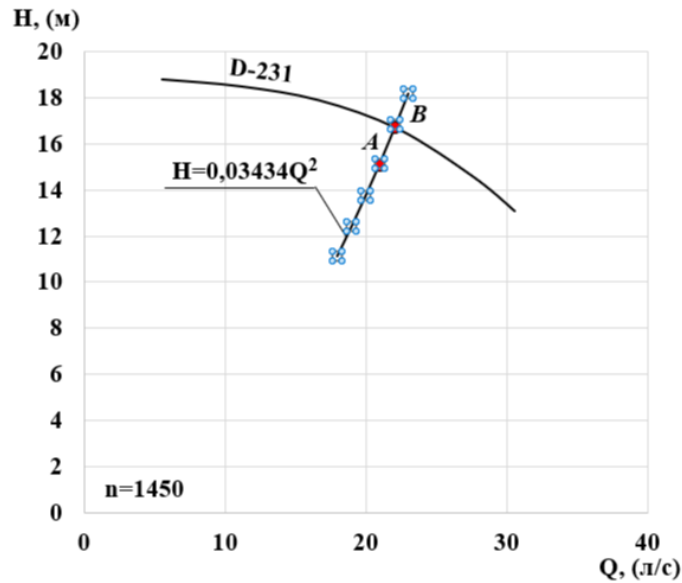


Рис. 70 Предварительные вычисления H , (м) для насоса ЦНК.

В рабочей точке А с назначенными необходимыми параметрами $Q = 21$ л/с и $H = 15$ м находится коэффициент, определяемый согласно [117] как:

$$k = \frac{H}{Q^2} = \frac{15}{20,9^2} = 0,03434. \quad (114)$$

Определим координаты пересечения точки В ($Q = 22,13$ дм³/с, $H = 16,82$ м) и вычислим внешний диаметр обточенного колеса.

Так как $n_s < 150$, определяем диаметр обточенного рабочего колеса согласно [107] по следующей формуле:

$$D_{об} = D \cdot \frac{Q_{об}}{Q} = 231 \cdot \frac{20,9}{22,22} = 217,3 \text{ мм}, \quad (115)$$

где процент обточки колеса составит 5,94 % .

По координатам Q' и H' на графике рисунок 71, таблица 29 получаем кривую $Q' - H'$ насоса с диаметром рабочего колеса $D_{об} = 258,3$ [117].

Результаты вычислений характеристики $Q' - H'$ [117]

Наименование показателей	Номер точки					
	1	2	3	4	5	6
	Определяющие величины					
$Q' = Q \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right) = Q \cdot \left(\frac{217,3}{231}\right)$	5,23	10,45	15,67	20,98	25,96	28,74
$H' = H \cdot \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2 = H \cdot \left(\frac{217,3}{231}\right)^2$	16,63	16,37	15,84	14,73	12,91	11,59

Рабочие характеристики насоса Иртыш ЦНК 80/250

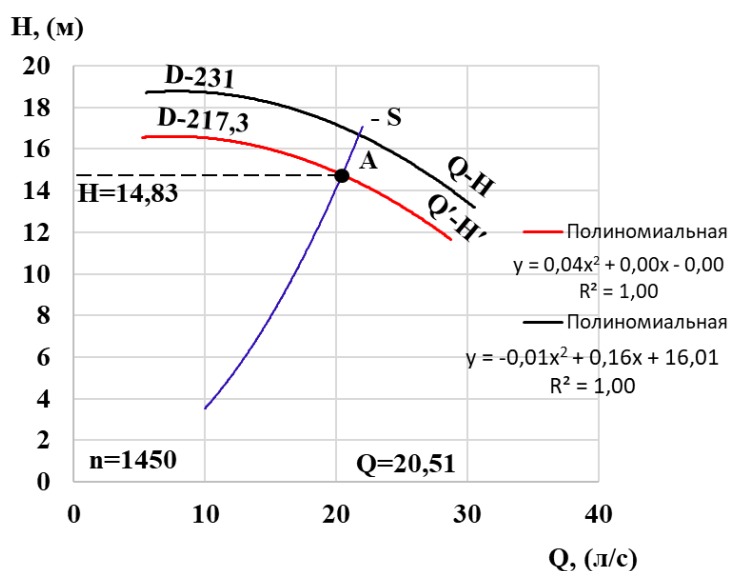


Рис. 71 График совместной работы насос – трубопровод.

В соответствии с графически отображёнными данными рабочая точка А рисунок 75 лежит в области пересечения расходно-напорных данных насоса и гидравлической характеристики трубопровода таблица 30.

Координаты Q_A и H_A вполне соответствуют предельной производительности предложенного насоса в представленный трубопровод с характеристикой S.

Расход подаваемой жидкости $q_{смыв}$ согласно показателям Q_A для насоса ЦНК 80/250 с диаметром срезанного колеса – 217,3 мм соответствует требованиям для работы гидросмыва в АРР.

Результаты вычислений характеристики S [117]

Наименование показателей	Расход Q' дм ³ /с								
	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	19,00	20,51	21,00	22,00
	Определяющие величины								
$H = h_{\text{треб}} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_{\text{треб}}}\right)^2$ $= 14,81$ $\cdot \left(\frac{Q'}{20,5}\right)^2$	3,52	5,08	6,91	9,02	11,42	12,72	14,83	15,54	17,06
$h_{\text{треб}} - \text{требуемый напор, м: } h_{\text{треб}} = h_{\Sigma} + P_{\text{ж}}$									

Полезная мощность насоса $N_{\text{п}}$ согласно [116] определяется по формуле:

$$N_{\text{п}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,02051 \cdot 14,83}{1000} = 2,98 \text{ кВт.}$$

Ввиду того, что потери в корпусе насоса неизбежны, то необходимая энергия для его работы должна быть больше полезной. Такие потери при расчёте учитываются коэффициентом полезного действия (КПД), а мощность насоса оценивается как [117]:

$$N = \frac{2,98}{0,74} = 4,026 \text{ кВт,}$$

где: η – коэффициент полезного действия (КПД) представляет собой отношение полезной мощности к мощности насоса [103]:

$$\eta = \frac{2,98}{4,026} = 0,74.$$

4.4 Автоматизация рабочих процессов аварийно-регулирующего резервуара и алгоритм расчёта полезного объёма горизонтальных накопителей

Работа АРР предусматривается в следующих режимах: нормальный, переполнение, зарегулирование, аварийный.

При активации режима «Переполнение, зарегулирование» или режима «Авария», в процессе которых производится заполнение сети горизонтальных накопителей сточными водами, операционный модуль параллельно запускает систему гидросмыва. Посредством открывания запорной арматуры на вводом

трубопроводе для подачи воды от внешнего источника водоснабжения в расходный бак, по мере его наполнения поплавковый клапан перекрывает подачу воды по вводному трубопроводу рисунок 72. Далее по мере наполнения резервуара стоками срабатывает датчик минимального уровня в приёмной камере АРР рисунок 10 », передавая сигнал на операционный модуль, который, в свою очередь, запускает первичный этап гидросмыва [94].

При активации режима «Переполнение, зарегулирование» или режима «Авария», в процессе которых производится заполнение сети горизонтальных накопителей сточными водами, операционный модуль параллельно запускает систему гидросмыва. Посредством открывания запорной арматуры на вводном трубопроводе для подачи воды от внешнего источника водоснабжения в расходный бак по мере его наполнения поплавковый клапан перекрывает подачу воды по вводному трубопроводу рисунок 11 б, д. Далее по мере наполнения резервуара стоками срабатывает датчик минимального уровня в приёмной камере АРР рисунок 10 б, передавая сигнал на операционный модуль, который, в свою очередь, запускает первичный этап гидросмыва [94].

Первичный этап представляет собой заполнение напорных трубопроводов путём включения насоса гидросмыва и последовательного открывания запорной арматуры гидросмыва лотка ГН, гидросмыва полок ГН, гидросмыва полок СК, стенок ГН на короткий период времени рисунок 11 б, д. Завершение первичного этапа сопровождается закрыванием запорной арматуры гидросмыва стенок ГН, гидросмыва полок ГН, гидросмыва лотка ГН, гидросмыва полок СК, отключением насоса гидросмыва, а израсходованный объём воды в расходном баке пополняется за счёт работы поплавкового клапана. Данное подготовительное мероприятие выполняется для выдавливания воздуха из системы трубопроводов гидросмыва. Далее вследствие опорожнения резервуара и достижением в нём уровня жидкости минимальных значений реагирует датчик минимального уровня стоков в приёмном резервуаре КНС рисунок 10 б, определяя запуск основного этапа гидросмыва осадка [94].

Алгоритм основного этапа гидросмыва осадка включает в себя циклы дозированного сброса воды через форсунки внутри каждого горизонтального накопителя. Очередность активации основного этапа гидросмыва осадка в каждом горизонтальном накопителе наступает согласно разрабатываемым принципиальным схемам водоснабжения гидросмыва и водоотведения АРР рисунок [93].

Смывание осадка заключается в том, что в результате резкого сужения поперечного сечения потока жидкости в форсунке увеличивается его скорость, в следствие чего на выходе поток переходит из однофазного состояния в двухфазное, приобретая структуру газо-жидкостного факела. Вступая в механический контакт с осадком, направленный поток водяных капель изменяет консистенцию инертной среды, состоящую из осаждённых взвешенных веществ и остаточной влаги, приводя её в подвижное состояние. Таким образом, сформированная активным потоком воды гидросмесь под воздействием кинетической энергии факела и гравитационных сил, образованных уклонами поверхностей полок ГН и СК, устремляется по руслу лотков ГН и СК в приёмную камеру АРР рисунок 11 б [94].

Следующий этап транспортировки гидросмеси осуществляется на участке приёмная камера – КНС по сбросному самотечному трубопроводу в приёмный резервуар КНС и далее посредством насосов перекачивается в напорный трубопровод рисунок 10 б. Процесс перемещения гидросмеси, состоящей из размытого водным потоком осадка, по полкам ГН и лоткам ГН обусловлен уклоном этих поверхностей: 0,25 – для полок ГН и 0,005 – для лотков ГН [94]. Для работы системы гидросмыва АРР необходима подача воды от внешнего источника водоснабжения, в качестве которого предусматривается использование очищенных производственных и бытовых сточных вод. В случаях, когда сооружение отдельной водопроводной линии экономически нецелесообразно, предполагается производить отбор воды из сети хозяйственно-питьевого водопровода с разрывом струи и согласованию с соответствующими органами [94].

Система гидросмыва представленного комплекса включает в себя совместную работу центробежного лопастного насоса и сети напорных

трубопроводов, распределяющих воду по всем участкам гидравлического транспорта АРР, форсунок, а также подсистему его управления. Управление напорными потоками выполняется в автоматическом режиме посредством операционного модуля рисунок 11 д по заданному алгоритму, в основе которого лежат исходные данные уровня наполнения ГН рисунок 10 б [94].

Данная система осуществляет контроль и управление совместной работы КНС и АРР, а также управление работой камеры переключения потоков рисунок 72.

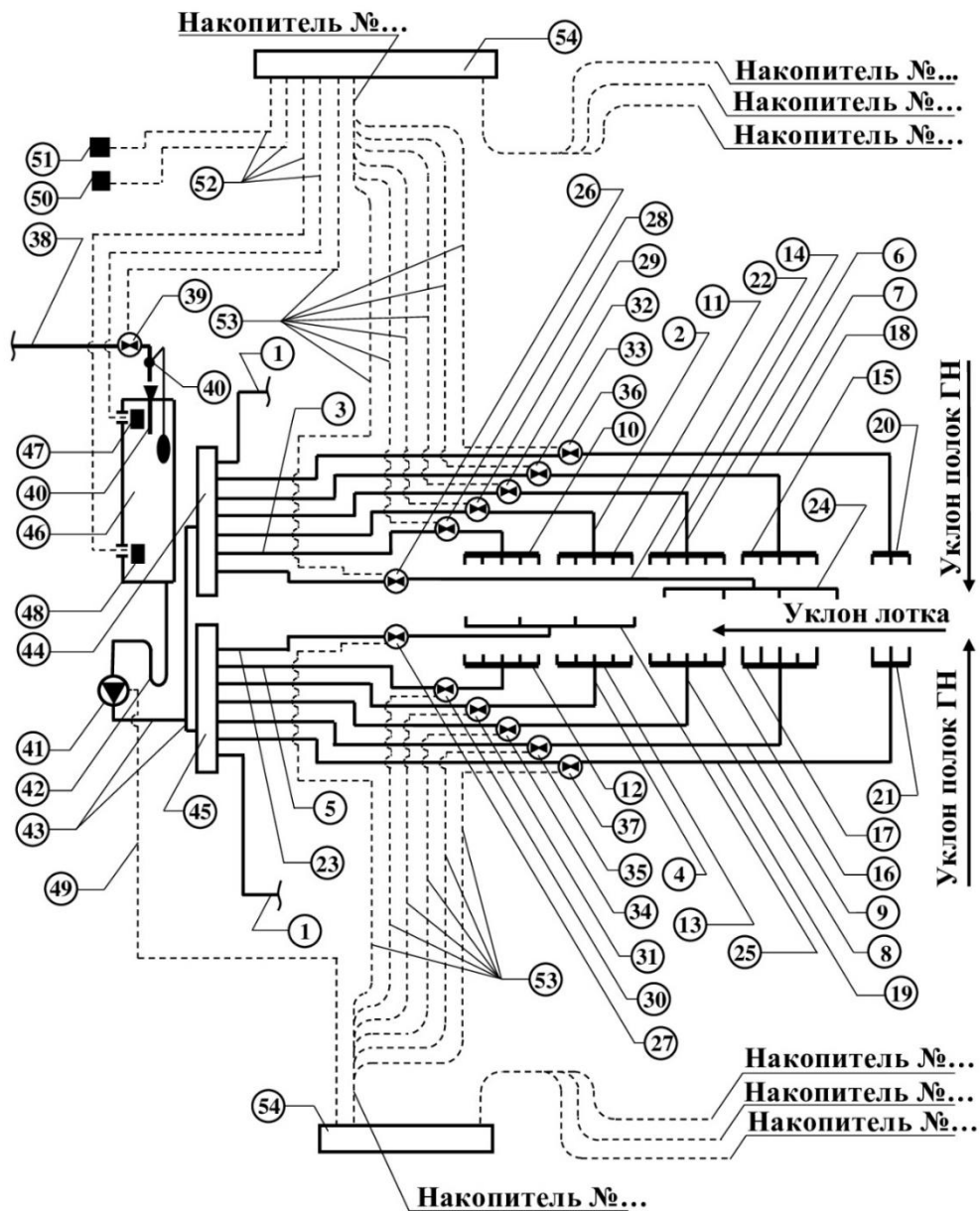


Рис. 72 Принципиальная схема гидросмыва «Комплекс для приёма сточных вод с автоматизированным устройством гидросмыва» [94]: 1 – транзитный

трубопровод; 2, 3, 4, 5 – питающий трубопровод гидросмыва полок ГН; 6, 7, 8, 9 – питающий трубопровод гидросмыва стенок ГН; 10, 11, 12, 13 – распределительный трубопровод гидросмыва полок ГН; 14, 15, 16, 17 – распределительный трубопровод гидросмыва стенок ГН; 18, 19 – питающий трубопровод гидросмыва полок смотровой камеры; 20, 21 – распределительный трубопровод гидросмыва полок смотровой камеры; 22, 23 – питающий трубопровод гидросмыва лотка ГН; 24, 25 – распределительный трубопровод гидросмыва лотка ГН; 26, 27 – запорная арматура с электроприводом гидросмыва гидросмыва лотка ГН; 28, 29, 30, 31 – запорная арматура с электроприводом гидросмыва гидросмыва полок ГН; 32, 33, 34, 35 – запорная арматура с электроприводом гидросмыва гидросмыва стенок ГН; 36, 37 – запорная арматура с электроприводом гидросмыва гидросмыва полок смотровой камеры; 38 – вводной трубопровод; 39 – запорная арматура с электроприводом вводного трубопровода; 40 – поплавковый клапан; 41 – насос; 42 – гидрозатвор; 43 – напорный трубопровод; 44, 45 – распределительный коллектор; 46 – расходный бак с разрывом струи; 47 – датчик верхнего уровня воды в расходном баке с разрывом струи; 48 – датчик нижнего уровня воды в расходном баке с разрывом струи; 49 – силовой кабель насоса; 50 – датчик нижнего уровня сточных вод; 51 – датчик верхнего уровня сточных вод; 52 – коммуникационный кабель; 53 – силовые кабели запорной арматуры; 54 – операционный модуль управления гидросмывом.

Выводы по главе 4.

1. Представлена принципиально новая конструкция: аварийно-регулирующий резервуар (АРР) канализационных насосных станций с автоматизированной системой гидросмыва осадка.

2. В конструкции реализована функция эффективного наполнения и опорожнения ёмкости резервуара в самотечном режиме без применения дополнительных насосных агрегатов за счёт изменения горизонтальных отметок рабочего уровня и дна в приёмном резервуаре КНС.

3. Разработан с учётом увеличения глубины приёмного резервуара план реконструкции приёмного резервуара действующей КНС с учётом трассировки элементов АРР.

4. Разработана и конструктивно представлена система гидросмыва осадка, позволяющая при минимальных расходах промывной воды, электроэнергии осуществлять транспортировку осадка и достигать очищения внутренних поверхностей ёмкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведённый анализ существующих систем водоотведения указал на их неудовлетворительное техническое состояние, низкую надёжность функционирования и управляемости, неэффективность режимов эксплуатации и значительную затратность их содержания.

2. Изменилась нормативная база проектирования и эксплуатации СВО в части недопустимости сброса неочищенных сточных вод на поверхность земли при возникновении и ликвидации аварийных ситуаций.

3. Опыт применения аварийно-регулирующих и аккумулирующих резервуаров в сети СВО показал на эффективность этих устройств и вскрыл некоторые недостатки, требующие доработки и разработки новых конструкций АРР.

4. Требуется разработка новой концепции для реализации методов временного и структурного резервирования СВО с применением АРР при КНС и в сети, аккумулирующей способности самотечных коллекторов, нагруженного и холодного резервирования участков сети.

5. Выполнена оценка экономической эффективности вариантов структурного резервирования на основе стоимости жизненного цикла КНС в зависимости от протяжённости напорного трубопровода и суточного расхода станции.

6. Дана оценка эффективности методов временного и структурного резервирования систем водоотведения и особенности их реализации, определены области использования АРР в составе КНС.

7. На основе принципов временного резервирования и требований к наполнению самотечных канализационных трубопроводов разработана методика для определения объёма свободной ёмкости в самотечных коллекторах.

8. В качестве критерия оценки и повышения надёжности централизованных систем водоотведения предлагается количественный показатель - количество сточных вод, которое в результате аварий на сети попадает на поверхность земли без очистки за исследуемый интервал времени, например, за год.

9. Эффективным методом вычисления количества сточных вод, которое без очистки попадает на поверхность земли, является алгоритм агрегирования и эквивалентирования как нерезервированной, так и резервированной сети водоотведения.

10. Выбор способов временного и структурного резервирования предлагается осуществлять на основе полученных в работе условий их экономичности по СЖЦ.

11. Для обоснования способов структурного резервирования (дублирование участков сети либо переброска их в другие районы водоотведения по схеме кольцевания) в работе предлагается методика, основанная на поиске дерева минимальной длины.

12. Методика повышения надёжности централизованных систем водоотведения заключается в формировании различных схем их временного и структурного резервирования с оценкой каждого из вариантов по критерию СЖЦ с выбором лучшего.

13. Представлена принципиально новая конструкция – аварийно-регулирующий резервуар (АРР) канализационных насосных станций с автоматизированной системой гидросмыва осадка.

14. В конструкции реализована функция эффективного наполнения и опорожнения ёмкости резервуара в самотечном режиме без применения дополнительных насосных агрегатов за счёт изменения горизонтальных отметок рабочего уровня и дна в приёмном резервуаре КНС.

15. Разработана и конструктивно представлена система гидросмыва осадка, позволяющая при минимальных расходах промывной воды, электроэнергии осуществлять транспортировку осадка и достигать очищения внутренних поверхностей ёмкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чупин, Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: Монография / Р.В. Чупин. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – 418 с.
2. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – URL:<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038> (дата обращения 18.05.2023 г.) – Текст: электронный.
3. Государственная корпорация — Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства. URL:<https://www.reformagkh.ru/relocation-about> (дата обращения 12.08.2023 г.) – Текст: электронный.
4. Скибо, Д.В., Толстой, М.Ю., Чижик, К.И. В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвящённой памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета "ВиВ". - 2019.- С. 163-176.
5. СНиП II– Г. 6 – 62. Канализация. Нормы проектирования. – URL:<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293849/4293849425.htm> (дата обращения 20.09.2023 г.) – Текст: электронный.
6. СНиП II – 32 – 74 Канализация. Наружные сети и сооружения. – URL:<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293849/4293849426.htm> (дата обращения 20.04.2023 г.) – Текст: электронный.
7. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. - 87 с.
8. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03 – 85 (с Изменениями N 1, 2) <http://docs.cntd.ru/document/1200094155/> (дата обращения 20.09.2023 г.) - Текст: электронный.
9. СНиП II-А. 12-62 Строительство в сейсмических районах нормы проектирования. – URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293794/4293794004.pdf> (дата обращения 12.07.2023 г.) - Текст: электронный.

10. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения – М.: Стандартинформ, 2019. – 113 с.

11. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с изм. От 26.12.2019) – М.: Стандартинформ, 2020. – 135 с.

12. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (с Изменениями N 1, 2). URL:<https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения 14.11.2023 г). – Текст: электронный.

13. СП 31.13330.2021 «СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». URL:<https://docs.cntd.ru/document/728474306> (дата обращения 12.06.2023 г) – Текст: электронный.

14. Саломеев, В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения / Монография. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 192 с.

15. Постановление Правительства Москвы от 25 января 2000 года N 49 Об утверждении Норм и правил проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99 (с изменениями на 21 декабря 2021 года. – URL:<https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/142012/> (дата обращения 20.08.2023 г) – Текст: электронный.

16. Алексеев, М.И., Ермолин, Ю.А. О показателях надёжности систем водоотведения // В сборнике: Яковлевские чтения. X Научно– техническая конференция, посвящённая памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева: сборник докладов. - 2015. - С. 211 – 214.

17. Алексеев, М.И., Ермолин, Ю.А. О некоторых тенденциях в публикациях по надёжности объектов водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. - 2016. - № 3. - С. 70 – 71.

18. Алексеев, М.И., Ермолин, Ю.А. Надёжность сетей и сооружений систем водоотведения. – М.: Издательство АСВ, 2015.- 200 с.

19. Алексеев, М.И., Баранов, Л.А., Ермолин, Ю.А. Оценка времени жизни объектов ВКХ под воздействием периодически изменяющегося потока отказов // Водоснабжение и санитарная техника. - 2017. - № 4. - С. 50 – 54.
20. Ермолин, Ю.А., Алексеев, М.И. Учёт "старения" объекта при оценке его надёжности // Водоснабжение и санитарная техника. - 2016. - № 5. - С. 68 – 71.
21. Гальперин, Е.М. Надёжность систем водоснабжения и водоотведения / Е.М. Гальперин, В.И. Полуян, В.Н. Чувиллин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №9. – Ч 2. – С.38 – 41.
22. Гальперин, Е.М. Надёжность систем водоснабжения и водоотведения: Учебное пособие // Самарский гос. арх.-строит. ун-т. Самара. - 2005. - 140 с.
23. Ермолин, Ю.А., Алексеев, М.И. Оценка потенциального ущерба, связанного с ненадёжностью канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. - 2000. - №2. - С.30-32.
24. Алексеев, М. И., Ермолин, Ю.А. Определение показателей надёжности объекта при посезонно изменяющейся интенсивности отказов // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 5. С.11-13.
25. Ермолин, Ю.А., Алексеев, М.И. Надёжность канализационных сетей: цели, задачи и методология исследования. // Водоснабжение и санитарная техника. - 1996, № 10, С.2-5.
26. Ермолин, Ю.А., Алексеев, М.И. Надёжность городских систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. №9. С.24-25.
27. Гальперин, Е.М., Стрелков, А.К. Надёжность водоотводящих сетей города // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №3. Ч 1. С.20-26.
28. Гальперин, Е.М., Стрелков, А.К. Выбор показателей надёжности канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. №3. С.10-13.
29. Гальперин, Е.М., Сидорова, А.Е. Надёжность канализационной сети и пути её повышения // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. №12. С.14-16.
30. Гальперин, Е.М. Пути повышения надёжности функционирования канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №1. С.63-69.

31. Чупин, В.Р., Мелехов, Е.С., Чупин, Р.В. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения / Монография. – М.: АСВ, 2011. – 325 с.
32. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации МДК 3-02 2001: приказом Госстроя России от 30.12.99 г. N 168. - URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200025707> (дата обращения 12.09.2023 г). – Текст: электронный.
33. Алексеев, М. И., Ермолин, Ю. А. Надёжность систем водоотведения / Монография; СПб. гос. архит.– строит. Ун-т. – СПб., 2010. – 166 с.
34. Кармазинов, Ф.В., Мельник, Е.А., Пробирский, М.Д., Панкова, Г.А., Михайлов, Д.М., Ильин, Ю.А., Игнатчик, В.С., Игнатчик, С.Ю. Техническое обследование насосных станций системы водоотведения Санкт– Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. - 2013. - № 1. - С. 20 – 28.
35. Игнатчик, С.Ю. Энергосбережение и обеспечение надёжности при реконструкции канализационных насосных станций // Водоснабжение и санитарная техника. - 2012. - №12. - С.37 – 43.
36. Посупонько, С.В., Бутко, А.В. Оптимизация работы канализационных насосных станций // Водоснабжение и санитарная техника. -2015. - №6. - С.37 – 43.
37. Гехман, А.С. Расчёт, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах / А.С. Гехман, Х.Х. Зайнетдинов. – М.: Стройиздат, 1988. – 184 с.
38. Напетваридзе, Ш.Г. Сейсмостойкость транспортных и сетевых сооружений. – М.: Наука, 1986. – 120 с.
39. Окомато, Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. – М: Стройиздат, 1980. – 340 с.
40. Рашидов, Т.Р., Хожметов, Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. – Ташкент: Фан, 1985. – 152 с.
41. Султанов, М.М. Оценка надёжности сетей водоотведения населённых мест в сейсмических районах. Автореф. дис. канд. техн. наук.05.23.04. – М. МГСУ 1983. – 21 с.

42. Чупин, Р.В., Горьков, Е.А. Повышение надёжности и сейсмостойкости самотечных систем водоотведения /Р.В. Чупин, Е.А. Горьков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. - №6. - С.37 – 43.
43. Чупин, Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2015. – 418 с.
44. СП 8.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности. URL:<https://docs.cntd.ru/document/565391175> (дата обращения 21.05.2023 г). – Текст: электронный.
45. Ивановский, В.С., Игнатчик, В.С., Игнатчик, С.Ю., Кузнецова, Н.В., Гринев, А.П. Методика оценки риска и объёмов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. - 2015. - № 649. - С. 167 – 174.
46. Кармазинов, Ф.К., Пробирский, М.Д., Игнатчик, В.С., Игнатчик, С.Ю., Кузнецов, П.Н. Оптимизация системы водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. - №1. - С.37 – 43.
47. Кармазинов, Ф.В., Панкова, Г.А., Михайлов, Д.М., Игнатчик, В.С., Игнатчик, С.Ю., Кузнецова, Н.В. Методика оценки объёмов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. - №6. - С.37 – 43.
48. Игнатчик, С. Ю., Кузнецов, П. Н. Методы оценки и пути снижения сбросов сточных вод в окружающую среду // Вода и экология. – 2017. - №1. - С. 13 – 23.
49. Игнатчик, С. Ю. Расчёт надёжности, безопасности и инвестиционной эффективности сети водоотведения. Водоснабжение и санитарная техника. - 2011. - № 12. - С. 57 – 67.
50. Ивановский, В.С., Кузнецова, Н.В., Пенкина, Н.Н., Спиваков, М.А. Методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. -2018. - № 660. - С. 197 – 203.

51. Гринёв, А.П., Игнатчик, В.С., Ивановский, В.С., Игнатчик, С.Ю., Кузнецова, Н.В. Результаты экспериментальное исследование неравномерностей поступления сточных вод // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. - 2015. - № 649. - С. 153 – 158.
52. Чупин, Р.В. Напорное-безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // Интернациональный журнал MOTROL. - Vol. 16. - No 5. - 2014. - Lublin. Polish. - С. 3-15.
53. Яковлев, С.В., Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов: М.: АСВ. 2002. 704с.
54. Ильин, Ю.А., Игнатчик, В.С., Игнатчик, С.Ю. Определение показателей экологической безопасности канализационных очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №3. Ч 1. С.11-17.
55. Алексеев, М.И., Ермолин, Ю.А. Оптимизация процесса водоотведения в крупных городах: Монография. –М.: Издательство АСВ, 2013.- 184 с.
56. Первов, Г.И. Инfiltrация грунтовых вод в канализационную сеть. М.: Стройиздат. - 1948. - 112с.
57. Воронов, Ю.В., Саломеев, В.П., Ивчатов, А.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных сооружений. М.: Сройиздат. 1989. 224 с.
58. Орлов, В.А., Харькин, В.А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов//М.: Стройиздат. - 2001. - 96с.
59. Пупырев, Е.И., Чупин, Р.В., Гоги́на, Е.С., Макиша, Н.А., Нечаев, И.А., Пукемо, М.М. Разработка региональной концепции развития системы водоотведения для центральной экологической зоны байкальской природной территории // Водные ресурсы. - 2020. - Т. 47. - № 4. - С. 466-474.
60. Каталог продукции ООО «ИНЖСНАБПРОЕКТСТРОЙ». – URL:[http://septikmarket.ru/catalog/kanalizaciya/emkost– flotenk– 150– m3/](http://septikmarket.ru/catalog/kanalizaciya/emkost-flotenk-150-m3/) (дата обращения 24.03.2023 г). – Текст: электронный.

61. Шонина, Н. А. Противонаводковые инженерные системы. – URL:http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5678 (дата обращения 15.08.2023 г). – Текст: электронный.
62. SMART tunnel – тоннель в Малайзии от наводнений и автотранспортных заторов. URL:<http://engineering-ru.livejournal.com/81006.html> (дата обращения 20.07.2023 г. – Текст: электронный.
63. Яковлев, С.В, Карелин, Я.А., Ласков, Ю.М., Калицун, В.И. Водоотведение и очистка сточных вод: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1996. 591с.
64. Яковлев, С.В, Карелин, Я.А., Ласков, Ю.М., Воронов, Ю.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1990. 511с.
65. Яковлев, С.В., Калицун, В.И. Самоочищение канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. №7. С. 4-7.
66. Примин, О. Г. Разработка и применение информационных технологий для оценки и обеспечения экологической безопасности и надёжности сетей водоснабжения и водоотведения города: автореф. дисс. // О. Г. Примин. М. - 2001.
67. Воронов, Ю.В., Саломеев, В.П., Ивчатов, А.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных сооружений. М.: Сройиздат. 1989. 224 с.
68. Чупин, В.Р., Скибо, Д.В. Обоснование эффективности устройства аварийно-регулирующих резервуаров при канализационных насосных станциях // Водоснабжение и санитарная техника. - 2023. - № 6. - С. 48-55.
69. Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машинчупиностроителя: в 3-х т. Т. 1. – 9-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение. - 2006. - 960 с. – Текст: непосредственный.
70. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике. Москва: АСТ, 2019. - 509 с.
71. Бобер, В.А., Чупин, Р.В., Скибо, Д.В., Дударев, В.И. Повышение надёжности работы системы водоотведения за счёт аккумулирующей способности

самотечных коллекторов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2023. - Т. 13. - № 2 (45). - С. 213-226.

72. Чупин, Р.В. Комплексная оптимизация систем водоотведения поверхностного водостока и ливневой канализации // Известие ВУЗов: Инвестиции. Строительство. Недвижимость ИрГТУ. - №2(3). -2014.

73. Чупин, Р.В. Расчёт систем водоотведения с замкнутыми контурами и разгрузочными коллекторами // Водоснабжение и санитарная техника. - 2014. - №1. - С. 56-62.

74. Чупин, Р.В. Совершенствование методов расчёта и анализа режимов работы систем водоотведения // Инженерное оборудование населённых мест и зданий: сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. (31 марта 2010. Иркутск). - 2010. - С.32-39.

75. Chupin, R.V., Moroz, M.V. Metod for finding the maximum flow of the minimum cost in the problems of substantiating the structure and parameters of group water supply and sanitation systems. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. // Строительство. - 2020. - № 11. - С. 63

76. Chupin, R.V., Maizel, I.V., Maizel, I.G. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Ser. "International Scientific Conference "Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities--2020". - 2020. С. 012040.

77. Чупин, Р.В., Нгуен, Т.А. Оптимальная реконструкция систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. - № 6.

78. Чупин, Р.В., Шишелова, Т.И., Бобер, А.А. Безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // Фундаментальные исследования. - №11. - Ч.6. - 2012. - С.1480-1486.

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

80. Чупин, Р.В., Мелехов, Е.С. Моделирование режимов работы городских систем водоотведения // Вестник Иркутского гос. тех. ун-та. - 2010. - № 2(42). - С.141-149.
81. Курганов, А.М., Алексеев, М.И. Расчёт канализационных сетей для отведения бытовых и производственных сточных вод на ЭВМ ЕС: Метод. указания для студентов. Л.: ЛИСИ. - 1983. - 46с.
82. Чупин, В.Р., Ленденев В.С. Оптимизация реконструируемых систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 1988. №5. С. 14-17.
83. Чупин, В.Р., Ленденев В.С. Оптимизация развивающихся систем водоотведения // Изв. Вузов: Архитектура и строительство. 1987. № 6. С. 102-106.
84. Чупин, Р.В., Зеленин, А.М. Потокораспределение в системах водоотведения кольцевой структуры // Материалы международной научно-практической конференции: Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика. Улан-Удэ. Издат. ВСГУТУ. - 2012. - С. 125-128.
85. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 апреля 2014 г. № 162/пр "Об утверждении перечня показателей надёжности, качества, энергетической эффективности объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения, порядка и правил определения плановых значений и фактических значений таких показателей" – URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293770/4293770185.htm> (дата обращения 20.12.2023 г) – Текст: электронный.
86. Мороз, М.В. Совершенствование структуры и параметров районных систем водоотведения при их развитии и реконструкции // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет". - 2022.

87. Чупин, Р.В., Мороз, М.В. Применение автомобильного транспорта в системах группового водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. - 2021. - № 5. - С. 57-64.

88. Чупин, Р.В. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод. //диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства". – 2020

89. Чупин, Р.В., Мелехов, Е.С. Развитие методики гидравлических расчётов систем дождевой канализации // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. - 2010. - №4. - С.32-36.

90. Чупин, Р.В., Мороз, М.В., Чупин, В.Р. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в условиях нечётких значений перспективного водопотребления и численности населения // Водоснабжение и санитарная техника. - 2022. - № 11. - С. 16-25.

91. Чупин, Р.В., Майзель, И.В. Оптимизация многоуровневых систем водоснабжения и водоотведения // Вестник ИрГТУ. - 2011. - №9 (56). – С. 90-100.

92. Чупин, В.Р., Майзель, Д.И., Чупин, Р.В. Моделирование и оптимизация трубопроводных систем коммунального хозяйства // Вестник ИрГТУ. 2008. Т.1. № 1. С.169-180.

93. Чупин, Р.В., Мелехов, Е.С. Разработка информационной системы моделирования режимов движения стоков в системах водоотведения // Вестник ИрГТУ. - №12. - 2012. - С.148-155.

94. Патент на изобретение № 2735960 Российская Федерация,МПК E03F 5/00 (2006.01). Комплекс для приёма сточных вод с автоматизированным устройством гидросмыва: № 2020117473: заявл. 27.05.2020: опубл. 11.11.2020 / Скибо Д.В.; заявитель Скибо Д.В. – 51 с.: ил. – Текст: непосредственный.

95. Пажи, Д.Г., Галустов, В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

96. Пажи, Д.Г., Галустов, В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 216 с.
97. Галустов, В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
98. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем. С.-Пб, АНО НПО “Мир и семья”, 2001. - 1154 с.
99. Ясак, А.В., Спиридонов, В.С. ОБЗОР И РАСЧЁТ ЦЕНТРОБЕЖНО-СТРУЙНОЙ ФОРСУНКИ // В сборнике: Будущее машиностроения России. тринадцатая Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов (с международным участием): сборник докладов: в 2 т. Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). - Москва. - 2020. - С. 402-404.
100. ГОСТ 23689-79. Форсунки механические и паромеханические. Типы и основные параметры. Общие технические требования = Mechanical atomizing and mechanical steam-atomizing burners. Types and basic parameters. General technical requirements: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утверждён и введён в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 7 июня 1979 г. N 2067: дата введения. 1980-07-01. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200011643?section=text> (дата обращения 20.10.2023). – Текст: электронный.
101. Егорычев, В.С. Метод проектного расчёта двухкомпонентной центробежной эмульсионной форсунки // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. - 2009. - № 3-2 (19). - С. 248-252.
102. РД 153-34.1-24.505-98. Рекомендации по выбору форсунок для подачи распылённой воды в системы пылеприготовления с целью оперативного понижения температуры пылегазовоздушной смеси в аварийных режимах. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200038026> (дата обращения 21.05.2022 г). – Текст: электронный.

103. Егорычев, В.С. Лапшин, В.В. Исследование жидкостных центробежных форсунок ДЛА: метод. указания / Самара: Изд-во СГАУ. - 2016. – 24 с.

104. Калицун, В.И., Ласков, Ю.М. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 2000. 417 с.

105. Бусарев, А.В., Селюгин, А.С., Абитов, Р.Н. Расчёт и проектирование канализационной насосной станции: Учебно-методическое пособие /А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов // – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. – 79 с.

106. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжение. Справочник. Л.: Стройиздат. 1988. 382с.

107. Алексеев, М.И., Кармазинов, Ф.В., Курганов, А.М. Гидравлический расчёт сетей водоотведения: Справочное пособие: Л.: СПИСУ. - 1997. - 128 с.

108. Пешков, В.В., Чупин, Р.В., Бобёр, В.А. Водоотведение в центральной экологической зоне оз. Байкал. проблемы и пути решения // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2021. - № 5 (749). - С. 59-70.

109. Киселев, П.Г., Альтшуль, А.Д., Данильченко, Н.В., Каспарсон, А.А., Кривченко, Г.И., Пашков, Н.Н., Слисский, С.М. Справочник по гидравлическим расчётам /коллектив авторов; под ред. П.Г. Киселева. – 4-е изд., С74 перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания, 1972 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 312 с.

110. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение Наружные сети и сооружения – М : ФГУП ЦПП, 2006. — 128 с.

111. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов. – URL:<http://docs.cntd.ru/document/871001264?section=text> (дата обращения 20.05.2022 г). – Текст: электронный.

112. Исламгалеева, Л.Ф., Зарипов, Р.М. Влияние степени обводнения грунта прилегающих подземных участков на напряженно-деформированное состояние подводного газопровода // Нефтегазовое дело. - 2011. - № 6. – URL:<http://ogbus.ru/article/view/vliyanie-stepeni-obvodneniya-grunta-prilegayushhix>

podzemnyx-uchastkov-na-napryazhenno-deformirovannoe-sostoyanie-podvodnogo-gazoprovoda552304873 (дата обращения 03.12. 2023 г). - Текст: электронный.

113. Скибо, Д.В., Чупин, Р.В., Огнёв, И.А. Повышение экологической безопасности систем водоотведения на основе аварийно-регулирующего резервуара // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – №7. – С. 43-51.

114. Калицун, В.И. Водоотводящие системы и сооружения: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.

115. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев// – М.: Бастет, 2010.– 448 с.

116. Аникин, Ю. В. Насосы и насосные станции: учеб. пособие / Аникин Ю.В., Царев Н.С., Ушакова Л.И.; [науч. ред. В.И.Аксёнов]; М-во образования и науки Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 138 с.

117. Турк, В.И., Минаева, А.В., Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. М., Стройиздат, 1976. - 304 с.

118. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) = Polyethylene pressure pipes. Specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 23 марта 2002 г. N 112-ст: дата введения 2003-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029492?section=status> (дата обращения 12.08.2023 г). – Текст: электронный.

119. Напорные системы водоснабжения и водоотведения. Каталог. – URL:<http://www.polyplastic.ru/> (дата обращения 26.07.2023 г). – Текст: электронный.

120. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2, 3) Electrically welded steel line-weld tubes. Range: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утверждён и введён в действие постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР

от 15.11.91 N 1743: дата введения 1993-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001409?section=text> (дата обращения 22.08.2023 г). – Текст: электронный.

121. Каталог ОДО «Предприятие «Взлёт» – URL: <https://www.vzlet-omsk.ru/katalog-oborudovaniya> (дата обращения 29.05.2023 г). – Текст: электронный.

СПИСОК ПАТЕНТОВ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ
№ 173247

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПОРЫ И КОНТРОЛЯ
НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ РУКАВА ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ
КАНАЛОПРОМЫВОЧНЫХ МАШИН**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет" (ФГБОУ ВО "ИРНИТУ") (RU)*

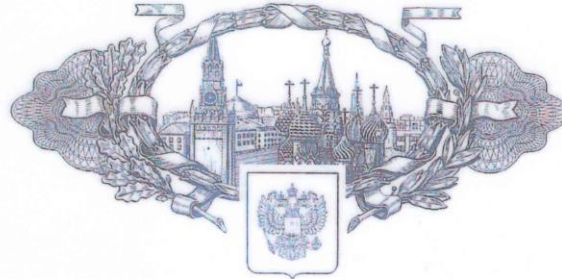
Авторы: *Скибо Денис Владимирович (RU), Толстой Михаил Юрьевич (RU)*

Заявка № 2017102152
Приоритет полезной модели 23 января 2017 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 17 августа 2017 г.
Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 23 января 2027 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности
 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 179790

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГРУБОЙ
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРУПНОДИСПЕРСНЫХ
ПРИМЕСЕЙ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ
СТАНЦИЯХ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Иркутский национальный исследовательский технический
университет" (ФГБОУ ВО "ИРНИТУ") (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2017137894

Приоритет полезной модели 30 октября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 24 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 30 октября 2027 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



Авторы: *Скибо Денис Владимирович (RU), Судникович Вера
Геннадьевна (RU), Толстой Михаил Юрьевич (RU), Куртин
Андрей Владимирович (RU)*

RU 179790 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2707342

**СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ
ГРУБОДИСПЕРСНЫХ ПРИМЕСЕЙ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет" (RU)*

Авторы: *Скибо Денис Владимирович (RU), Толстой Михаил Юрьевич (RU), Василевич Эльвира Эрнстовна (RU), Куртин Андрей Владимирович (RU)*

Заявка № 2018130642

Приоритет изобретения 24 августа 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 ноября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 августа 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 186682

Автоматизированный демпферный резервуар
канализационных насосных станций

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет" (RU)*

Авторы: *Скибо Денис Владимирович (RU), Толстой Михаил Юрьевич (RU)*

Заявка № 2018139821

Приоритет полезной модели 13 ноября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 29 января 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 13 ноября 2028 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2735960

Комплекс для приема сточных вод с автоматизированным устройством гидросмываПатентообладатель: *Скибо Денис Владимирович (RU)*Автор: *Скибо Денис Владимирович (RU)*

Заявка № 2020117473

Приоритет изобретения 27 мая 2020 г.

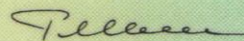
Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 ноября 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 мая 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ



Муниципальное унитарное предприятие
«Водоканал» г. Иркутска

СПРАВКА

23.01.2024 г

о внедрении результатов исследования, полученных в диссертационной работе Д.В. Скибо «Разработка и исследование методов временного и структурного резервирования систем водоотведения» по специальности 2.1.4 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»

Результаты диссертационного исследования Скибо Дениса Владимировича на тему «Разработка и исследование методов временного и структурного резервирования систем водоотведения», представленного на соискание учёной степени кандидата технических наук, использованы в практической деятельности муниципального унитарного предприятия «Водоканал» города Иркутск в виде:

1. Применения методики расчёта аварийных объёмов сточных вод для оценки последствий выхода из строя канализационных насосных станций, напорных трубопроводов и безнапорных коллекторов;
2. Обоснования эффективности временного и структурного резервирования для повышения надёжности и качества функционирования централизованных систем водоотведения;
3. Сооружение новой конструкции аварийно-регулирующего резервуара при КНС и на сети безнапорных трубопроводов, которые позволят повысить управляемость и надёжность системы водоотведения за счёт зарегулирования стоков на период аварии на канализационных насосных станциях и напорных трубопроводах.

Использование результатов диссертационной работы позволяют эффективно и без ущерба для экологии окружающей среды эксплуатировать и структурно развивать централизованные системы водоотведения г. Иркутска.

Заместитель главного инженера по автоматизации и режимам
МУП «Водоканал» г. Иркутска



 С.Ю. Обуздин



МУНИЦИПАЛЬНОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВОДОКАНАЛ»

666034, Иркутская область, г. Шелехов,
Култуковский тракт, 3
тел. (39550) 6-30-96, факс (39550) 6-16-94
e-mail: post@shelvoda.ru, сайт: shelvoda.ru
р/с 40702810418350012827
Байкальский Банк Сбербанка России
Иркутское ГОСБ 8586/0164
к/с 30101810900000000607
БИК 042520607 ОГРН 1033802256730
ИНН 3821005886 КПП 381001001
ОКПО 16841374
23.01.2014 № *220*

СПРАВКА

*О применении результатов диссертационных исследований Д.В. Скибо
«Разработка и исследование методов временного и структурного
резервирования систем водоотведения» в практике эксплуатации и
проектирования систем водоснабжения и водоотведения г. Шелехов*

В результате проведенных диссертационных исследований получены следующие важные результаты для науки и практики эксплуатации систем водоотведения:

1. Моделирование функционирования самотечных трубопроводов и аварийно-регулирующих резервуаров (АРР) позволяет:
 - оценить транспортирующую способность системы водоотведения с учетом аккумулирующей емкости;
 - обосновать мероприятия по минимизации выхода сточных вод на поверхность земли;
 - обосновать объемы АРР и направления их модернизации.
2. Доказана эффективность использования временного и структурного резервирования сети и сооружений системы водоотведения как средства обеспечения их надёжности и экологической безопасности.
3. Раскрыты противоречия в части уменьшения затрат на устройство и эксплуатацию АРР и расширения диапазона их применения при КНС и на участках сети.
4. Представлены методические рекомендации использования АРР, аккумулирующей способности сети и мероприятий резервирования, которые могут быть адаптированы к системам водоотведения крупных городов и использованы при их развитии и реконструкции.
5. Разработана и внедрена новая конструкция АРР, которая сооружается как закрытым способом без рытья котлованов, так и открытым способом с использованием минимальных площадей застройки и территории двойного назначения.

Перечисленные методические и практические результаты диссертационных исследований Скибо Д. В. приняты к использованию их в нашем водоканале для оперативного управления ликвидацией аварийных ситуаций и при перспективном развитии системы водоотведения г. Шелехов.

Директор



Ю.Н. Баймашев



МУНИЦИПАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
АНГАРСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА
“АНГАРСКИЙ ВОДОКАНАЛ”

665830, г. Ангарск, ул. Мира-2а, а/я 101
тел/факс: (3955) 52-34-84
E-mail: ydk@avk.irtel.ru

Байкальский Банк ПАО Сбербанк г. Иркутск
р/с40702810918310101197 к/с30101810900000000607
ИНН 380100682 БИК 042520607

СПРАВКА

о практическом применении полученных результатов диссертационного исследования, Д.В. Скибо на тему «Разработка и исследование методов временного и структурного резервирования систем водоотведения»

Настоящим удостоверяем, что муниципальным унитарным предприятием ангарского городского округа «Ангарский Водоканал» изучены теоретические и практические рекомендации диссертационного исследования Скибо Дениса Владимировича и констатируем следующие результаты.

1. Разработана новая конструкция аварийно-регулирующего резервуара с автоматизированным устройством гидросмыва, которыми предлагается оборудовать канализационные насосные станции.

2. Экономически обоснованы случаи, когда в замен двух напорных трубопроводов необходимо устройство аварийно-регулирующего резервуара при КНС и одного напорного трубопровода.

3. Резервирование самотечных трубопроводов следует производить на основе параллельной прокладки дополнительных трубопроводов, либо за счет устройства разгрузочных коллекторов, либо за счет сооружения аварийно-регулирующих резервуаров и аккумулирующей способности самотечных трубопроводов. В работе обоснованы диапазоны применения каждого из способов резервирования.

К достоинствам представленного диссертационного исследования следует отнести общий методологический подход, согласно которому временное резервирование в сочетании со структурным существенно повышают надёжность функционирования систем водоотведения.

Предлагаемые в работе методики расчёта аварийных объёмов сточных вод и аккумулирующей способности самотечных коллекторов позволят разрабатывать планы мероприятий по ликвидации возможных аварийных ситуаций и минимизировать количество неочищенных сточных вод, попадающих на поверхность земли.

Результаты диссертационного исследования Скибо Д.В. будут использованы при разработке производственных и инвестиционных программ нашего предприятия, а так же при оперативном управлении ликвидации аварийных ситуаций в системах водоотведения.

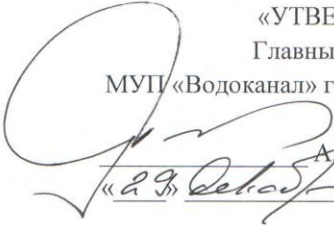
Главный инженер МУП АГО «Ангарский Водоканал» _____ А.М. Зеленин



«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

МУП «Водоканал» г. Иркутска



А.В. Куртин
«29.06.2021» 2021

Протокол технического совета № 40

Присутствовали:

№ п.п.	Должность	Ф.И.О.
1	Директор	С.В. Пыхтин
2	Главный инженер	А.В. Куртин
3	Заместитель главного инженера по эксплуатации	А.С. Михалёв
4	Заместитель главного инженера по автоматизации и режимам	С.Ю. Обуздин
5	Начальник производственно-технического отдела	Б.С. Гальян
6	Заместитель начальника производственно-технического отдела	Р.Н. Руденко
7	Начальник цеха канализации	А.А. Шаранов
8	Начальник Ленинского ЭРСВиК	Р.Е. Харланцев
9	Мастер участка канализации Ленинского ЭРСВиК	Д.В. Скибо

Повестка совещания:

1. Рассмотрение вопроса практического применения запатентованного комплекса для приёма сточных вод (аварийно-регулирующего резервуара) с автоматизированной системой гидросмыва.

Слушали:

- Д.В. Скибо – дано описание и представлен принцип работы аварийно-регулирующего резервуара с автоматизированной системой гидросмыва осадка сточной воды. Указана актуальность применения данного изобретения, в том числе на действующих канализационных насосных станциях МУП «Водоканал» г. Иркутска. В качестве примера выбрана канализационная насосная станция КНС-18а. Представлен укрупнённый расчёт стоимости строительства сооружения и рассчитан экономический эффект от практического внедрения;
- Б.С. Гальян – дана рекомендация о проработке вопроса установления санитарно-защитной зоны ёмкостного сооружения. Кроме этого, уделено внимание вопросу выделения земельных участков. При строительстве аварийно-регулирующих резервуаров, в районе действующих канализационных насосных станций, требуется выделение значительных площадей земли;
- А.А. Шаранов – не доработан вопрос утилизации осадка сточных вод из ёмкостей аварийно-регулирующего резервуара. При работе автоматизированной системы гидросмыва, осадок одновременно в большом количестве поступает в приёмное отделение канализационной насосной станции, дополнительно способствуя образованию засоров и увеличивая количество прочисток приёмного отделения;

4. С.Ю. Обуздин – устройство аварийно-регулирующих резервуаров технологически нецелесообразно, в случае их применения на канализационных насосных станциях большой производительности, в которых объём поступающих сточных вод достаточно высокий - в работе постоянно находится один насосный агрегат, в часы максимального поступления сточных вод на КНС подключается второй насосный агрегат. Ввиду этого, даже при регулировании расхода сточной воды при помощи резервуаров, не решён вопрос их последующего опорожнения при 100% наполнении.

Решили:

1. Признать возможность практического применения аварийно-регулирующих ёмкостей с автоматизированной системой гидравлического смыва в системе хозяйственно-бытовой канализации, с условием доработки перечисленных замечаний;

2. Рекомендовать провести проработку вопроса применения аварийно-регулирующих резервуаров:

- на канализационных насосных станциях малой и средней производительности - для отдельно стоящих зданий и сооружений, групп многоквартирных жилых домов, туристических баз и санаториев;
- на канализационных насосных станциях объектов с залповым сбросом воды – водно-спортивные комплексы, плавательные бассейны, промышленные предприятия;
- в общесплавных системах канализации, с высоким коэффициентом неравномерности поступления ливневых сточных вод, помимо хозяйственно-бытовых;
- в системе ливневой канализации.

Заместитель главного инженера по эксплуатации

А.С. Михалёв

Заместитель главного инженера по автоматизации и режимам

С.Ю. Обуздин

Начальник производственно-технического отдела

Б.С. Гальян

Заместитель начальника производственно-технического отдела

Р.Н. Руденко

Начальник цеха канализации

А.А. Шаранов