

Научная статья

УДК 628.8: 696.4:644.62: 683.97

<https://elibrary.ru/byrind>

<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>



Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации

В.Р. Чупин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье обсуждаются современные проблемы развития технологии формирования и организации функционирования систем водоснабжения и водоотведения, производится оценка достигнутых результатов, формируются цели и задачи дальнейших исследований. В связи с происходящими процессами Цифровизации и интеллектуализации социальных и технологических систем предлагается новая концепция построения и управления функционированием, развитием и консервацией систем водоснабжения и водоотведения населенных мест, городов и зданий. Эта концепция базируется на создании цифровых двойников всех элементов системы и ее подсистем, на управление ими в реально-виртуальном пространстве с использованием облачных технологий и специализированных программных комплексов. Для этих целей системы водоснабжения и водоотведения рассмотрены с позиции общих принципов организации, гидравлического расчета, формирования режимов эксплуатации, вероятностного характера отборов воды и поступления сточных вод, неопределенности в поведении и перспективных нагрузках сооружений, и с учетом других свойств, характерных для больших и сложных систем. В работе изложены основные задачи расчета и конструирования систем водоснабжения и водоотведения и кратко представлены методы их решения, которые реализованы в соответствующих программных комплексах, апробированных на практике и внедрены в реальный процесс проектирования, эксплуатации и консервации трубопроводных систем жилищно-коммунального хозяйства. Все оптимизационные модели основаны на критерии стоимости жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения.

Ключевые слова: системы водоснабжения и водоотведения, методы моделирования и оптимизации, программная реализация и апробация

Для цитирования: Чупин В.Р. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 359–368. <https://elibrary.ru/byrind>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>.

Original article

Current state and prospects of water supply and sanitation systems, methods for their calculation, design, and operation

Victor R. Chupin

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Abstract. The paper considers modern problems of developing a technology for managing water supply and sanitation systems. The main results achieved in this sphere are presented, and objectives for further research are outlined. Due to the ongoing processes of digitalization and intellectualization of social and technological systems, a new concept of design and operation management, development and conservation of water supply and sanitation systems of settlements, cities, and buildings is proposed. This concept is based on the creation of digital twins of all system and subsystem elements and their management in real and virtual space using cloud technologies and specific software systems. For

© Чупин В.Р., 2023

Том 13 № 2 2023

с. 359–368

Vol. 13 No. 2 2023

pp. 359–368

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

359

these purposes, water supply and sanitation systems are considered from the perspective of general principles of organization, hydraulic calculation, formation of operation modes, the probabilistic nature of water withdrawals and wastewater inflows, uncertainty in the behavior and prospective loads of facilities, along with other characteristics typical of large and complex systems. The paper presents the main tasks for calculating and designing water supply and sanitation systems and briefly describes possible solutions, implemented in the relevant software packages, tested in practice in the actual process of designing, operating, and maintenance of piping systems of a housing and utilities infrastructure. All optimization models are based on the lifecycle cost criteria for water and sanitation systems.

Keyword: water supply and sanitation systems, modeling and optimization methods, software implementation and testing

For citation: Chupin V.R. Current state and prospects of water supply and sanitation systems, methods for their calculation, design, and operation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):359-368. (In Russ.). <https://elibrary.ru/byrind>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими составляющими и основой жизнеобеспечения любого города и промышленного предприятия являются современные системы водоснабжения и водоотведения (СВВ). От эффективности их работы зависит не только благополучие населения, но и здоровье людей, а также безопасность территории, на которой они проживают. Водоснабжение и водоотведение относятся к системам массового обслуживания и призваны удовлетворять возрастающей потребности во воде и водоотведении всего населения. Современные СВВ относятся к большим системам и обладают свойствами масштабности и распределенности, иерархичности и целостности, динамичности и гибкости, устойчивости и адаптивности и др. Соответственно, и цифровые двойники должны обладать этими свойствами, или быть способными их моделировать и воспроизводить. По сравнению с историей создания и развития систем водоснабжения и водоотведения процесс их Цифрализации можно считать, что только начался. Еще не сформировались единые подходы, не все технологические процессы оцифрованы и разработаны их математические модели. Тем не менее уже получены следующие результаты.

1. Математические модели и методы расчета распределения потоков в напорных системах водоснабжения с нефиксированными отборами воды

На основе «теории гидравлических цепей» разработаны новые модели и методы для расчета систем подачи и распределения воды, в которых расходы транспортируемой воды и потери напора по участкам сети, а также отборы воды у потребителей являются искомыми величинами (гидравлические цепи с нефиксированными отборами воды) [1–3]. Та-

кие модели и их реализация в виде программно-вычислительном комплексе (ПВК) ТРАСЕ ВК, позволяют моделировать всевозможные режимы работы системы, включая выход из строя участков сети и их каскадное отключение, разрывы и свищи и другие неполадки в сети и на сооружениях. Разработанные модели и методы позволяют вычислять объемы воды, которые будут получать или недополучат потребители при той, или иной аварии. Проигрывая всевозможные ситуации, можно оценить показатели надежности и наметить мероприятия по их увеличению. Рассматривая вероятностную природу водопотребления не сложно сформировать вероятностную модель функционирования системы водоснабжения, на основании которой можно оценить вероятности безотказного снабжения потребителей водой. Разработанные модели и методы и соответствующие программные комплексы являются основными инструментами в системе диспетчерского управления при контроле режимов и в системе обнаружения и локализации аварийных ситуаций.

2. Математические модели и методы расчета напорно-безнапорных режимов движения сточных вод в системах водоотведения

На основе «теории гидравлических цепей» разработаны новые модели и методы для формирования цифровых двойников систем водоотведения, которые позволяют моделировать все возможные режимы движения сточной жидкости в коллекторах и напорных трубопроводах, с учетом переполнения колодцев, выхода стоков на поверхность земли и движение их по улицам и площадям [4–6]. В системе диспетчерского управления на основе этих методов можно определять места засоров и зарастание в трубопроводах, места

образования анти уклонов и прогибов Новые модели и методы позволили провести исследования и показать, что применяемый в практике проектирования и законодательно утвержденный метод «предельных интенсивностей» для расчета ливневой канализации требует совершенствования. Как показали проведенные расчеты, принимая работу безнапорных коллекторов полным сечением (как это требует метод предельных интенсивностей), неизбежно приводит к выходу стоков на поверхность земли и к затоплению территории. Поэтому предложено дополнить «метод предельных интенсивностей» расчетами напорно-безнапорных режимов в безнапорных системах водоотведения с последующей коррекцией диаметров самотечных коллекторов. Такие модели и методы и их программная реализация является основным инструментом в системе диспетчерского управления СВВ города и решает задачи обнаружения и локализации засоров и заиливания участков сети. Ранее эти задачи не имели решения.

3. Методика обнаружения и локализации аварийных ситуаций в системах водоснабжения

Разработанная методика реализована в раках диспетчерского управления и позволяет на основе сопоставления фактических измеряемых давлений и их расчетных значений вычислять места образования свищей и запавших задвижек [7–9]. На системах водоснабжения г. Ангарска (Иркутской области) на основе данной методики удалось обнаружить 22 запавших задвижки. После восстановления задвижек напор в сети увеличился на 20% и отпала надобность в шести насосных подкачивающих станциях, в которые было вложено более 900 млн руб.

4. Методика оценки надежности и повышения сейсмостойкости систем подачи воды потребителям и работы сооружений систем водоснабжения

В России имеются значительные территории с повышенной сейсмической активностью. Как показал анализ крупных землетрясений, катастрофические последствия от них возникают по причине выхода из строя систем водоснабжения и возникающие при этом пожары просто нечем потушить. Статистические данные и анализ крупных землетрясений свидетельствуют о том, что чем меньше диаметр трубопровода, тем больше его аварийность, сейсмостойкий материал труб из стеклопластика, менее подверженные сейсмическим воздействиям будут трубопроводы, расположенные на поверхности, либо над поверхностью земли, т.е. не заземленные грунтовыми

условиями. На основе этих данных разработана новая методика, которая позволяет формировать сейсмостойкие СВВ Эта методика была применена при обосновании параметров перспективной схемы водоснабжения г. Иркутска и Иркутского района (сейсмика 9 баллов). Учитывая стохастические свойства водопотребления и возникновения аварийных ситуаций разработаны комплексные модели оценки надежности работы системы водоснабжения и нормированы показатели безотказного снабжения каждого потребителя водой [1, 8, 10].

5. Методика оценки надежности и повышения сейсмостойкости систем водоотведения

Вопросы повышения надежности работы систем водоотведения, их способность воспринимать возрастающие нагрузки от хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод являются актуальными. Для оценки надежности работы систем водоотведения предложен новый количественный показатель – количество сточных вод за год, которое попадает без очистки на поверхность земли в результате аварийных ситуаций. На основе статистических данных по интенсивностям отказов и методики моделирования напорно-безнапорных режимов движения сточных вод в безнапорных системах водоотведения разработана методика вычисления таких расходов. Для повышения надежности систем водоотведения разработаны методические указания и методы формирования кольцевых структур систем водоотведения, включая разгрузочные коллектора и коллектора переброски стоков. Для кольцевых систем водоотведения разработана новая методика гидравлического расчета, включая организацию работы шиберных устройств [4, 7, 11]. Эта методика и соответствующий ПВК используется в Водоканалах городов Иркутской области для оценки возможных ливней и переполнения системы водоотведения. Такие задачи ранее не имели решения.

6. Компьютерные технологии оценки пропускной способности, обнаружения и локализации засоров в безнапорных коллекторах систем канализации

Как показали проведенные исследования, образовавшийся засор в системе водоотведения может приводить к наполнению любого коллектора и выходу стоков на поверхность земли совершенно в далеком от засора колодце. Поэтому возникает задача по месту появления стоков на поверхности в наблюдаемом колодце определить место образовавшегося засора. Для реализации этой задачи

разработана методика расчета напорно-безнапорных режимов на все возможные случаи появления засоров. Расчеты выполняются заранее и формируются как заготовки в системе диспетчерского управления. При выходе стоков на поверхность земли в каком-либо из колодцев, компьютерная система распознает и выдает диспетчеру колодцы и участок сети, в которых произошел засор. Диспетчер дает команду аварийной бригаде выехать на ликвидацию засора в то место, где он произошёл. При этом время на поиск места засора практически не затрачивается, а время его ликвидации сокращается в разы.

Как показали проведенные исследования, в первую очередь переполняются колодцы в пониженных точках рельефа местности. Поверхностные стоки, попадая в колодцы на возвышенностях отметках, перемещаются по коллекторам (возможно даже в обратном направлении к уклону трубопровода) и выливаются из колодцев в пониженных отметках. При этом система водоотведения перестает работать как единая и ее пропускная способность уменьшается до минимальной. С целью предотвращения такого явления предлагается в колодцах с пониженными отметками поверхности земли устраивать блокирующие сооружения, типа «обратного клапана». Такие конструкции позволяют на некоторых участках сети перевести движение стоков в напорный режим и тем самым значительно увеличить пропускную способность системы и нормализовать работу всей системы водоотведения. Реализация такого подхода позволяет избежать выхода стоков на поверхность земли и затопления территории, и является мало затратным мероприятием [12–14].

7. Методические основы повышения управляемости систем водоотведения за счет перехода на кольцевые структуры и установки шиберных устройств

В ходе развития городской территории и уплотнения жилищного строительства в системах водоотведения наблюдаются такие режимы, когда одни коллектора становятся перегруженными, другие недогруженными. Поэтому возникает задача управления потоками сточной жидкости с целью равномерного их распределения и движения по всей системе водоотведения, с допустимыми не заливающими скоростями. Для оптимального управления потоками сточной жидкости (по критерию минимальных затрат электроэнергии) разработана методика, основанная на методе поиска максимального потока минимальной стоимости. При этом для каждого ча-

са формируются графики включения, или отключения насосов, открытия и прикрытия шиберных устройств [4, 12, 15]. Такая система управления реализована на коллекторах водоотведения г. Ангарска Иркутской области и показала значительную экономическую эффективность. Предлагаемая методика позволяет не только оптимально управлять потоками сточной жидкости, но и формировать оптимальные структуры сооружений для управления: места установки и параметры насосных станций перекачки стоков, количество и места установки шиберных устройств. Эта методика использовалась при разработке перспективной схемы водоотведения г. Ангарска.

8. Методика обоснования параметров транспортирующих сооружений и регулирующих емкостей на основе многорежимного характера движения сточной жидкости

Отличительной особенностью безнапорных систем водоотведения является то, что изменение расхода транспортируемых сточных вод происходит со скоростью их движения (0,7–3 м/с). В напорных системах изменение расхода происходит со скоростью звука в воде. В напорно-безнапорных системах изменение расхода представляет сложный процесс трансформации и требует специальных вычислений. Учитывая многорежимный характер поступления сточных вод в систему водоотведения, разработана методика формирования режимов их движения по коллекторам и сооружениям. Разработана кинематическая модель движения сточных вод в напорно-безнапорном режиме [4, 16, 17]. Эта модель позволяет учитывать регулирующие резервуары, которые могут быть при канализационных насосных станциях и в отдельных районах водоотведения.

9. Развитие теоретических и методических основ оптимального проектирования и реконструкции систем водоснабжения и водоотведения

С учетом законодательных основ и градостроительной деятельности, предлагается новая методика управления реконструкцией и развитием СВВ, которая воплощает принципы многоэтапности, адаптивности, и принятия решения с минимальной заблаговременностью. Сущность данной методики заключается в том, что проектируемая система и ее избыточная схема разбиваются на очередности ввода в эксплуатацию. Для первой очереди формируются всевозможные варианты строительства с учетом последующих очередей. Оценивается и выбирается лучший вариант. Осуществляется строительство. Уточняется

информация о параметрах второй очереди и все процедуры ее обоснования повторяются и т.д.¹ [4, 18]. Этот подход не противоречит сложившейся технологии реализации СВВ и дополняет ее моделями и методами, основанными на цифровизации всего жизненного цикла развивающихся СВВ.

10. Эффективность оценки стоимости жизненного цикла вариантов развития СВВ.

Как показали проведенные исследования эксплуатационные затраты в системы водоснабжения и водоотведения в 30-50 раз превышают единовременные капиталовложения. Поэтому любой вариант развития системы и организацию ее эксплуатации надо оценивать через критерий затрат жизненного цикла. Этот критерий утвержден на законодательном уровне и является основой для обоснования проектных решений. Используя гидравлические соотношения и укрупненные цены на проектирование и строительство систем водоснабжения и водоотведения, получены зависимости затрат жизненного цикла как функции объемов транспортируемой воды и сточной жидкости. Исследования данных зависимостей позволило получить новые экономически обоснованные значения скоростей движения воды и сточной жидкости. Доказано, что оптимальные скорости не зависят от протяженности трассы, а зависят от расхода транспортируемой воды и стоков и от стоимости электроэнергии района строительства [19]. Использование значений оптимальных скоростей обеспечивает наименьшие эксплуатационные расходы за период жизненного цикла системы водоснабжения и водоотведения. Рекомендовано полученные зависимости включить в соответствующие СП.

11. Обоснование области применения автомобильного транспорта в районных системах водоснабжения и водоотведения

Ассенизационные машины уже давно используются в сельской местности, в садоводствах и коттеджных поселках для вывоза сточных вод из выгребных ям и септиков на централизованные очистные сооружения. Для небольших населенных мест, где нет качественных источников водоснабжения, чистая вода привозится из других населенных мест, либо от водопроводных очистных сооружений или непосредственно от источников качественной воды. Альтернативным вариантом является строительство трубопроводных СВВ. Однако, как показала история строительства групповых трубопроводов, они оказались ка-

питалоемкими и затратными и уже отслужили свой срок и требуют восстановления на новые. На выполнения этих работ так же требуются значительные капитальные затраты. Возникает проблема консервации и вывода из строя неэффективных в эксплуатации участков и сооружений, либо замена их на автомобильный транспорт. Однако технико-экономическое обоснование применения автомобильного транспорта по дальности и объемам перевозимых воды и стоков никто не проводил. Такая работа была выполнена [20] и на основании совместных функций СЖЦ по трубопроводным и автомобильным участкам транспорта сточных вод определены области применения автомобильного транспорта в зависимости от дальности и объемов перевозимых стоков, от стоимости электроэнергии и сейсмичности районов строительства. Разработаны методика формирования проектных схем и новые методы оптимизации районных систем водоотведения на основе минимизации СЖЦ. Методы позволяют в комплексе обосновать структуру сооружений и трассу из трубопроводных и автомобильных участков РСВ. Разработанная методика позволяет обосновывать структуры районных систем водоотведения при их поэтапном развитии и консервации.

12. Развитие методика схемно-структурной оптимизации для выбора трассы трубопроводов, обоснования мест водозаборов, водопроводных очистных сооружений

Предлагается методика схемно-структурной оптимизации для выбора трассы трубопроводов, обоснования мест водозаборов, водопроводных очистных сооружений на основе избыточных схем, которые формируются путем наложения альтернативных вариантов развития систем водоснабжения и водоотведения. При этом задача будет состоять в отбраковке неэффективных связей и узлов. Для этого реализованы и исследованы два метода [21]:

– первый основан на преобразовании избыточного графа в транспортную сеть с одной вершиной входа и одной вершиной выхода потоков и решении на ней задачи линейного программирования по схеме потоковых моделей;

– второй основан на поиске в избыточном графе структуры в виде дерева, соответствующего минимуму затрат жизненного цикла (метод покоординатной, относительно контур-

¹Чупин В.Р. Оптимизация развивающихся систем подачи и распределения воды: автореф. дисс. д-ра техн. наук. М.: ВНИИВОДГЕО, 1991. 41 с.

ных переменных, минимизации).

Первый метод позволяет оптимизировать развивающиеся системы водоснабжения и водоотведения с учетом обоснования участков автомобильного транспорта, а также на основе автомобильного транспорта производить их консервацию. Второй метод эффективен для оптимизации новых сетей и сооружений систем водоснабжения и водоотведения древовидной структуры. Проведенные расчеты районных систем водоснабжения и водоотведения показали, что применение автомобильного транспорта существенно меняет трассы и структуру сооружений систем водоснабжения и водоотведения и делает их экономичнее по сравнению с трубопроводным транспортом на 30–50% (а это экономия сотен млн. руб. по каждому объекту).

13. Развитие методики схемно-параметрической оптимизации для обоснования диаметров трубопроводов, параметров насосных станций, объемов регулирующих емкостей

Схемно-параметрическая оптимизация относится к классу задач целочисленного программирования, когда из стандартного набора диаметров трубопроводов, типоразмеров насосного оборудования, водопроводных и канализационных типовых сооружений требуется выбрать лучшее, например, по критерию СЖЦ. Для решения этой задачи реализован и адаптирован к трубопроводным системам метод динамического программирования [19]. Этот метод приспособлен для оптимизации новых и реконструируемых СВВ разветвленной и кольцевой структуры, для напорных и самотечных участков сети.

14. Разработка методики многоступенчатой оптимизации для обоснования параметров многоуровневых систем транспорта и распределения воды, сбора и отведения сточных вод.

Современные системы водоснабжения и водоотведения это сложные, многоуровневые и распределенные на местности сооружения. При этом выделяются внутриквартальные системы, уличные сети, магистральные трубопроводы, межрайонные, районные и групповые системы, коллектора и трубопроводы глубокого заложения. Очевидным является рассмотрение и проектирование их как единых системы. Для таких объектов предложен метод многоступенчатой оптимизации объединяющий методы схемно-структурной и схемно-параметрической оптимизации СВВ [22].

15. Новый подход к управлению развитием систем водоснабжения и водоотведения в

условиях неопределенности перспективного потребления воды.

Новый подход основан на принципах постоянного, непрерывного и адаптивного управления развитием систем водоснабжения и водоотведения. При этом реализация проекта осуществляется поэтапно. В начале производится обоснование параметров первого этапа с учетом всех возможных сценариев развития последующих этапов. Для этого исследуются возможные интервалы водопотребления и рассчитываются стоимостные показатели различных вариантов развития. Используя нечеткое представление потребления воды, строится матрица стоимостных рисков. Далее, на основе методов теории принятия решения выбирается предпочтительный вариант и осуществляется строительство первого этапа. По мере реализации происходит снятие неопределенности в водопотреблении и, с учетом достигнутых показателей первого этапа, производится (по аналогии с первым этапом) обоснование параметров системы для второго этапа и т.д. [23]. Методика была применена в проектах развития систем водоснабжения и водоотведения населенных мест Иркутского района.

16. Методика формирования и оценки вариантов развития СВВ в условиях ограниченного финансирования

На современном этапе организации эксплуатации и развития СВВ финансирование всех мероприятий происходит за счет жителей и промышленных предприятий, для которых устанавливаются основные тарифы и плата за подключения для вновь вводимых в строй абонентов. По этой причине инвестиций хватает только на решение текущих проблем и задач, а на решения долгосрочных и стратегических проблем, их практически нет, или их недостаточно. Поэтому возникает задача оптимального распределения ограниченных инвестиций в строительство новых и реконструкцию существующих СВВ. Для этих целей предлагается подход, основанный на динамическом программировании и многошаговом процессе анализа различных вариантов строительства и реконструкции исходя из заданных объемов финансирования [24]. После наращивания всех возможных траекторий развития выбирается лучшая из них и обратным ходом восстанавливается траектория и соответствующие параметры строительства новых и реконструкции существующих элементов системы по этапам ее строительства. Методика была применена при обосновании параметров групповых

водопроводов Черемховского, Заларинского и Куйтунского районов Иркутской области.

17. Оптимизация СВВ с учетом уменьшающегося удельного водопотребления и численности населения

За 20 последних лет XXI в. удельное водопотребление в жилищном секторе уменьшилось почти в 2 раза. СВВ стали работать в нерациональных режимах с заиливающими скоростями и с образованием застойных зон в трубопроводных системах водоснабжения. Очевидно, требуется перекладка трубопроводов на меньшие диаметры, либо вывод из строя определенных участков СВВ, которые повышают производительность других, или увеличивают скорость движения воды и стоков до нормативных значений. Для решения этой задачи предлагается потоковая модель, которая на схеме существующих трубопроводов определяет такие участки и сооружения, которые максимизируют скоростной режим воды и сточных вод и минимизирует все эксплуатационные затраты [25]. Участки и сооружения, по которым поток не будет обозначен, требуется вывести из эксплуатации. Для районных систем водоотведения и для групповых водопроводов может быть не найдено решение (по всем участкам скорости движения воды могут быть меньше нормативных значений), потребуются их перекладка на меньшие диаметры, либо организация транспортирования автомобильным транспортом. Аналогичные проблемы возникают и при развитии СВВ, когда требуется при обосновании параметров первой очереди учесть нагрузки, которые появятся через десятки лет. Поэтому некоторое время возможна работа трубопроводов в нерациональных скоростных режимах. Как показали численные эксперименты, на этот период экономически выгодно использование автомобильного транспорта.

18. Развитие информационных технологий в области проектирования, эксплуатации и консервации СВВ

Вышеперечисленные подходы и методы реализованы в программном комплексе TRACE-VK², который показал значительную экономическую и вычислительную эффективность. В настоящее время данный программный продукт развивается и адаптируется к решению новых задач. Подобные вычислительные комплексы развиваются и за рубе-

жом, и у нас в стране. Однако все они имеют разную методическую основу, степень детализации и абстракции. На законодательном уровне не обозначены требования к программным продуктам и к внутреннему их содержанию. Очевидно происходит количественное накопление цифровых и информационных технологий в области СВВ.

Направления дальнейших научных исследований в области цифровизации СВВ связаны с решением проблем повышения надежности и управляемости СВВ на основе:

1. Использования аккумулирующих емкостей безнапорных коллекторов и канализационных колодцев.

2. Устройства блокирующих устройств в колодцах, предотвращающих выход стоков на поверхность земли.

3. Устройства резервных напорных и безнапорных трубопроводов.

4. Устройства разгрузочных коллекторов постоянного и временного действия.

5. Перехода на кольцуемые структуры из напорных и безнапорных трубопроводов.

6. Устройства аварийно-регулирующих резервуаров.

7. С поиском и построением рациональных и оптимальных СВВ, сооружаемых в особо охраняемых территориях (на примере центральной экологической зоны оз. Бакал).

8. С разработкой эффективных подходов к управлению функционированием и развитием СВВ в условиях неопределенности технических, экономических и социальных параметров и факторов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, сформулировано новое направление в области цифровых технологий организации строительной и жилищно-коммунальной сферы, а именно, разработка теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. В этом направлении получены определенные результаты, которые обобщены и внедрены в процесс проектирования, эксплуатации и консервации городских инженерных систем.

Однако предстоит еще значительная работа и исследования на пути создания интеллектуальных систем жизнеобеспечения, основанных на полной их цифровизации, автоматизации и оптимизации.

²Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2021616739 от 26 апреля 2021 г. / Чупин Р.В., Мороз М.В., Мелехов Е.С.;

Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2016615463 TRACE-VK от 25 мая 2016 г. / Мелехов Е.С., Чупин В.Р., Чупин Р.В.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2011. 323 с. EDN: TOGMNF.
2. Чупин В.Р., Малевская М.Б. Выработка рекомендаций по минимизации последствий от аварийных ситуаций в системах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 4. С. 8–9.
3. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Pressure-flow and Free-flow Discharge Modes in Closed-Loop Sewage Systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 262. P. 012079. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012079>.
4. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2015. 417 с. EDN: UOATQZ.
5. Чупин В.Р., Мелехов Е. С., Чупин Р.В. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения // Вода и экология: проблемы и решения. 2010. № 1. С. 3–11.
6. Chupin R.V., Mayzel I.V., Chupin V.R. Trajectory of Sewerage System Development Optimization // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2017. Vol. 262. P. 012080 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012080>.
7. Чупин Р.В. Напорное – безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // MOTROL. 2014. Vol. 16. No. 5. P. 3–15.
8. Чупин Р.В., Бобер А.А. Повышение надежности проектируемых и реконструируемых систем водоотведения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 113–119. EDN: PDCFZT.
9. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems. 2019. Vol. 102. P. 03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910203004>. EDN: VWEGVS.
10. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimal reconstruction of water supply network under conditions of reduced water consumption // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems. 2019. Vol. 102. P. 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910203005>. EDN: ZVVDOU.
11. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. P. 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012018>. EDN: RVXXLA.
12. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Повышение пропускной способности системы водоотведения поверхностного водостока // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 9. С. 42–48.
13. Чупин Р.В., Шиселова Т.И., Бобер А.А. Напорное – безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-6. С. 1480–1486.
14. Chupin R.V. Comprehensive optimization of water supply and sanitation // Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012050>.
15. Chupin R.V., Melekhov E.S. Justification of the parameters of developing water supply and sanitation systems based on their electronic models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012050>.
16. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие методики гидравлических расчетов систем дождевой канализации // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 4. С. 32–36.
17. Pupyrev E.I., Chupin R.V., Gogina E.S., Makisha N.A., Nechaev I.A., Pukemo M.M. Elaboration of a Regional Concept for Developing a Water Disposal System for the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory // Water Resources. 2020. Vol. 47. No. 4. P. 663–671. <https://doi.org/10.1134/S0097807820040144>.
18. Nguyen T.A., Nguyen T.N.H., Chupin R.V. Phương pháp tối ưu hóa thiết kế, sửa chữa và nâng cấp hệ thống thoát nước // Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng. 2017. No. 32 (01). P. 68–74.
19. Чупин Р.В., Мороз М.В., Бобер В.А. Обоснование диаметров трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 4. С. 52–58. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.
20. Чупин Р.В., Мороз М.В. Применение автомобильного транспорта в системах группового водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 57–64. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.
21. Мороз М.В., Витязева М.М. Оценка возможности применения расчета тепловой мощности системы отопления с помощью программного комплекса Autodesk Revit // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1 (40). С. 82–89. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-82-89>. EDN: PSGGNG.
22. Мелехов Е.С., Майзель И.В., Чупин Р.В., Опти-

мизация многоуровневых систем водоснабжения и водоотведения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 9 (56). С. 90–100. EDN: OEEVZB.
 23. Чупин Р.В., Мороз М.В., Чупин В.Р. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в условиях нечетких значений перспективного водопотребления и численности населения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 11. С. 16–25. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.
 24. Чупин В.Р., Мороз М.В. Метод поиска максимального потока минимальной стоимости в зада-

ча обоснования структуры и параметров систем группового водоснабжения и водоотведения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 11 (743). С. 63–74. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-743-11-63-74>. EDN: DTELVE.
 25. Чупин Р.В., Примин О.Г. Обоснование параметров новых и реконструируемых систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и сброса стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 36–45. EDN: ZRKPZR.

REFERENCES

1. Chupin R.V., Melekhov E.S. Development of theory and practice of modeling and optimization of water supply and sanitation systems. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2011. 323 p. (In Russ.). EDN: TOGMNF.
2. Chupin V.R., Malevskaya M.B. Development of recommendations to minimize the consequences of emergencies in water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1994;4:8-9. (In Russ.).
3. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Pressure-flow and Free-flow Discharge Modes in Closed-Loop Sewage Systems. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017;262:012079. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012079>.
4. Chupin R.V. Optimization of developing wastewater disposal systems. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2015. 417 p. (In Russ.). EDN: UOATQZ.
5. Chupin V.R., Melekhov E.S., Chupin R.V. The development of water disposal system hydraulic calculation technique. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya = Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2010;1:3-11. (In Russ.).
6. Chupin R.V., Mayzel I.V., Chupin V.R. Trajectory of Sewerage System Development Optimization. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017;262:012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012080>.
7. Chupin R.V. Pressure and without pressure motion of flows in sewage system with circular structure. *MOTROL*. 2014;16(5):3-15. (In Russ.).
8. Chupin R.V., Bober A.A. Increasing reliability of designed and reconstructed water disposal systems. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2012;9:111-119. (In Russ.). EDN: PDCFZT.
9. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption. *E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems*. 2019;102:03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910203004>. EDN: VWEGVS.
10. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimal reconstruction of water supply network under conditions of reduced water consumption. *E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems*. 019;102:03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910203005>. EDN: ZVVD0U.
11. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667:012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012018>. EDN: RVXXLA.
12. Chupin R.V., Melekhov E.S. Increasing the throughput capacity of the surface drainage system. *Vodochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2010;9:42-48. (In Russ.).
13. Chupin R.V., Shishelova T.I., Bober A.A. The pressure – non-pressure movement of drains in ring systems of water removal. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2012;11-6:1480-1486. (In Russ.).
14. Chupin R.V. Comprehensive optimization of water supply and sanitation. *Science and Engineering*. 2020;880:012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012050>.
15. Chupin R.V., Melekhov E.S. Justification of the parameters of developing water supply and sanitation systems based on their electronic models. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880:012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012050>.
16. Chupin R.V., Melekhov E.S. Development of methods of hydraulic calculations of rainwater drainage systems. *Vodochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2010;4:32-36. (In Russ.).
17. Pupyrev E.I., Chupin R.V., Gogina E.S., Makisha N.A., Nechaev I.A., Pukemo M.M. Elaboration of a regional concept for developing a water disposal system for the central ecological zone of the Baikal natural territory. *Water Resources*. 2020;47(4):663-671. <https://doi.org/10.1134/S0097807820040144>.
18. Nguyen T.A., Nguyen T.N.H., Chupin R.V.

Phương pháp tối ưu hóa thiết kế, sửa chữa và nâng cấp hệ thống thoát nước. *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng*. 2017;32(01):68-74. (In Vietnam).

19. Chupin R.V., Moroz M.V., Bober V.A. Substantiation of the diameters of pipelines of water supply and wastewater disposal systems based on minimizing the costs of their life cycle. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2022;4:52-58. (In Russ.).
<https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.

20. Chupin R.V., Moroz M.V. The use of road transport in the systems of group water supply and wastewater disposal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2021;5:57-64. (In Russ.).
<https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.

21. Moroz M.V., Vityazeva M.M. Assessment of the possibility of calculating the thermal performance of building heating systems using the Autodesk Revit software package. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):82-89. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-82-89>. EDN: PSGGNG.

22. Melekhov E.S., Maizel I.V., Chupin R.V. Optimization of multilevel systems of water supply and sewerage. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2011;9:90-100. EDN: OEEVZB.

23. Chupin R.V., Moroz M.V., Chupin V.R. Proektirovanie sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya v usloviyakh nechetkikh znachenii perspektivnogo vodopotrebleniya i chislennosti naseleniya. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2022;11:16-25. (In Russ.).
<https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.

24. Chupin V.R., Moroz M.V. Method 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 vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2020;11:63-74. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2020-743-11-63-74>. EDN DTELVE.

25. Chupin R.V., Primin O.G. Substantiation of the wastewater disposal system parameters in the context of projected water consumption and wastewater discharge uncertainty. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2017;11:36-43. (In Russ.). EDN: ZRKPZR.

Информация об авторе

Чупин Виктор Романович,

д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 18.01.2023.
Одобрена после рецензирования 16.02.2023.
Принята к публикации 20.02.2023.

Information about the author

Victor R. Chupin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Information about the article

The article was submitted 18.01.2023.
Approved after reviewing 16.02.2023.
Accepted for publication 20.02.2023.