

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
ITMO University

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
GRADUATION THESIS

Разработка метода управления системами инженерных коммуникаций в городской
среде на примере Санкт-Петербурга
(тема ВКР / Thesis topic)

Обучающийся / Student Рождественская Ольга Александровна

Факультет/институт/кластер/ Faculty/Institute/Cluster Институт дизайна и урбанистики

Группа/Group C4207

Направление подготовки/ Subject area 07.04.04 Градостроительство

Образовательная программа / Educational program Цифровая урбанистика

Язык реализации ОП / Language of the educational program Русский

Квалификация/ Degree level Магистр

Руководитель ВКР/ Thesis supervisor (ФИО, должность) Воронин Данил Валерьевич,
старший преподаватель

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1 Анализ процессов строительства инженерных коммуникаций и современных подходов к решению конфликтных ситуаций.....	4
1.1 Обзор процесса строительства инженерных коммуникаций	5
1.2 Анализ проблем и основных задач, возникающих при строительстве инженерных коммуникаций.....	7
1.3 Анализ современных подходов в решении возникающих конфликтов	11
2 Разработка метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций.....	17
2.1 Общее описание разрабатываемого метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций	17
2.2 Требования к входным данным геоинформационного метода	21
2.3 Применение метода геоинформационного анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций	25
3 Разработка метода анализа данных об авариях на инженерных сетях для выявления критических участков коммунальной инфраструктуры	30
3.1 Сбор экспериментальных данных	30
3.2 Обработка экспериментальных данных.....	35
3.3 Реализация алгоритма выявления аварий.....	45
3.3.1 Выявление причин аварий.....	45
3.3.2 Алгоритм предотвращения аварий.....	47
4 Внедрение метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга	52
4.1 Анализ препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде.....	52
4.2 План устранения препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Инженерные системы обеспечивают жизнеспособность современных городов и нужны для создания удобных условий проживания граждан. Их наличие непосредственно влияет на качество жизни людей, уровень безопасности и состояние окружающей среды.

Создание и обновление инженерных сетей - это сложная и затратная задача, которая требует комплексного подхода и эффективного управления. Для эффективного планирования, определения приоритетов, оптимизации расходов и предотвращения чрезвычайных ситуаций важно иметь полное представление о текущем состоянии инфраструктуры.

Сейчас разрабатывается значительное количество различных подходов к исследованию состояния строительства инженерных коммуникаций, однако они часто ограничены определенными аспектами или не учитывают все влияющие факторы. Поэтому разработка метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций является актуальной на сегодняшний день [1,2,3,4].

Тема выпускной квалификационной работы соответствует направлению подготовки 07.04.04 «Градостроительство».

Целью работы является разработка метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций.

Для достижения данной цели выставлены следующие задачи:

- 1) проанализировать проблемы и основные задачи, возникающих при строительстве инженерных коммуникаций,
- 2) провести анализ современных подходов в решении возникающих конфликтов,
- 3) дать общее описание разрабатываемого метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций,
- 4) определить требования к входным данным для метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций,

5) представить описание шагов и форму представления результатов метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций.

6) провести сбор данных с помощью запроса данных об авариях на инженерных сетях города в ГАТИ, прокураторе,

7) обработать полученные данные,

8) разработать алгоритм предотвращения аварий на основе обработанных данных,

9) провести анализ препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга,

10) разработать план устранения препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга.

Предметом исследования является современное состояние строительства инженерных коммуникаций.

Объектом исследования является разработка метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций.

В рамках исследования использовались такие методы, как изучение и анализ научной, учебной литературы, интернет-источников, сравнительный анализ, обобщение.

Методологической и информационной базой для исследования послужат труды зарубежных и отечественных авторов по анализу современного состояния строительства инженерных коммуникаций.

1 АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ

Анализ современного состояния строительства инженерных коммуникаций на городских территориях приобретает особую актуальность в условиях стремительного роста и урбанизации городов. Непрерывное развитие мегаполисов приводит к увеличению потребности в надежном и эффективном обслуживании инженерных сетей, обеспечивающих комфортное и безопасное проживание горожан.

Недостаток свободных участков земли в густонаселенной городской среде серьезно затрудняет проведение новых коммуникаций или реконструкцию существующих. Увеличение числа жителей в городах и увеличение потребления коммунальных услуг часто приводит к перегрузке инженерных сетей, что снижает их эффективность и приводит к перебоям в обслуживании [5].

Многие инженерные сооружения, построенные давно, устарели и нуждаются в серьезном ремонте или замене, так как уже не соответствуют современным стандартам. Инциденты, утечки, проблемы с водоснабжением, отоплением, электроснабжением вызывают неудобства для местных жителей и причиняют ущерб экономике города. Инженерные системы, которые устарели, могут вызывать загрязнение окружающей среды, утечки опасных веществ и аварийные ситуации.

Муниципалитеты часто сталкиваются с финансовыми проблемами, что влияет на объемы вложений в строительство и обновление инженерных сетей. Муниципалитеты должны рассматривать вложения в инфраструктуру как одно из основных заданий, выделяя достаточные средства на это [6].

Множество организаций занимаются проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных коммуникаций, что приводит к несогласованности в развитии сетей из-за недостаточной координации их действий.

1.1 Обзор процесса строительства инженерных коммуникаций

Инженерные системы представляют собой комплекс оборудования и устройств, обеспечивающих комфорт и жизнеспособность дома для проживания человека. Они подразделяются на внешние и внутренние коммуникации. К внешним относятся системы теплоснабжения, водоснабжения, канализации, газопроводы и электросети, а к внутренним – отопление, водоснабжение, канализация, газоснабжение, электроснабжение, вентиляция и кондиционирование [7].

Для обеспечения нормальной работы каждого здания и сооружения необходимо выполнение профессиональных проектных работ, которые зависят от типа систем, их местоположения и режима эксплуатации. Проектирование инженерных систем, будь то отопление или другие, начинается с предпроектных работ, включающих сбор данных, топографические и инженерные изыскания, а также получение разрешительных документов. После сбора исходных данных и получения технических условий наступает этап проектирования, который включает разработку плана работ и эскиза коммуникации. Эскиз необходим для строительства внешних сетей и крупных внутренних коммуникаций, таких как системы на производственных предприятиях [8].

Он представляет собой план будущей сети с указанием всех компонентов и ключевых точек. Законодательство требует одобрения государственных органов перед началом работ, и надежный чертеж минимизирует риск ошибок. После создания эскиза разрабатывается рабочий проект для наружных сетей, а внутренние системы сразу переходят к этапу комплексного проектирования рабочей документации. Рабочий проект включает описания, схемы, чертежи, сметы и другие документы, необходимые для строительства, и должен быть согласован с контролирующими органами.

На основе согласованного проекта проводится строительство инженерных коммуникаций, требующее высокой квалификации специалистов. Условия монтажа зависят от вида коммуникаций, при этом

особое внимание уделяется электрическим сетям из-за их потенциальной опасности. Инженерные системы водоснабжения состоят из водопроводной сети, водоводов и водозаборных сооружений. Водопровод может быть подключен к центральной системе или быть автономным, например, из скважины. Для наружных сетей часто используют полипропиленовые или полиэтиленовые трубы, а для внутренних – стальные, медные, металлопластиковые или ПВХ. Важна скрытая укладка труб и установка запорной арматуры, а также соблюдение противопожарных мер, включая монтаж гидрантов [9].

Отопление – ключевой элемент здания, обеспечивающий комфорт. Существуют централизованные и децентрализованные системы, включающие источник тепла, сети теплоносителя и устройства передачи тепла. При проектировании теплотрасс учитывают экономические и технические факторы, располагая магистрали ближе к центрам нагрузок. Тепловые сети могут прокладываться наземным или подземным способом. Наземный метод применяется в зонах вечной мерзлоты или при высоком уровне грунтовых вод, но он уязвим к погодным условиям и механическим повреждениям. Подземный способ чаще реализуется в траншеях, что позволяет совмещать несколько коммуникаций и снижать затраты. Бестраншейная прокладка используется на сложных участках, таких как железнодорожные пути [10].

Электроснабжение включает источники, линии передачи, распределительные станции и оборудование. Кабели укладывают подземным (в туннелях) или воздушным способом (с ограничением расстояния до зданий). Завершающим этапом строительства инженерных сетей является создание канализации, обеспечивающей санитарно-гигиенические условия. Внешняя канализация может быть автономной или подключенной к центральной системе, а внутренняя состоит из труб, отводящих отходы. При прокладке учитывают уклон труб, глубину залегания, тип труб, объем стоков и необходимость теплоизоляции.

Качество инженерных систем напрямую влияет на комфорт и эффективность труда, будь то производственные объекты или жилая среда. Грамотное проектирование и монтаж коммуникаций способствуют повышению качества жизни и производительности общества в целом.

1.2 Анализ проблем и основных задач, возникающих при строительстве инженерных коммуникаций

Строительство инженерных коммуникаций сталкивается с множеством технических и организационных сложностей, требующих комплексного решения. Особенно проблематичной является подземная прокладка тепловых сетей, которая помимо высокой стоимости предполагает использование специализированного оборудования и привлечение квалифицированных специалистов [11].

В условиях плотной городской застройки работы осложняются наличием существующих коммуникаций, сложной конфигурацией трасс и необходимостью сооружения дополнительных технологических объектов. Серьезную угрозу представляет проникновение грунтовых вод в каналы теплотрасс, приводящее к ускоренной деградации теплоизоляционных материалов. Дополнительным фактором риска выступают блуждающие токи, вызывающие коррозионные повреждения трубопроводов и нарушающие герметичность системы. Эксплуатация и ремонт засыпанных трасс сопряжены со значительными трудностями, требующими привлечения спецтехники и несоизмеримо высоких затрат по сравнению с масштабами повреждений [12].

Современные бестраншейные технологии, такие как горизонтально-направленное бурение, предлагают эффективное решение многих перечисленных проблем. Эти методы позволяют минимизировать вмешательство в городскую среду, сохраняя целостность существующей инфраструктуры и экологическое равновесие. Технологический процесс включает создание пилотной скважины с последующей протяжкой защитных футляров, причем для небольших участков возможно применение упрощенных методов прокола. Ключевые преимущества такого подхода

проявляются в значительном сокращении сроков работ, возможности глубокой прокладки до 20 метров без нарушения поверхностных объектов, существенном снижении восстановительных затрат и полном исключении риска повреждения соседних коммуникаций. Однако реализация этих передовых методов требует существенных инвестиций в специализированное оборудование и подготовку высококвалифицированного персонала [13].

Особое внимание при проектировании подземных тепловых сетей уделяется выбору трубных материалов, которые должны соответствовать жестким требованиям по температурной стойкости и механической прочности. На рынке представлен широкий спектр решений, каждое из которых имеет свои технологические и экономические особенности. Стальные оцинкованные трубы демонстрируют исключительную прочность, но их применение ограничено высокой стоимостью и сложностью монтажа.

Более доступные полипропиленовые аналоги проще в установке, но имеют ограничения по рабочим параметрам. Трубы из сшитого полиэтилена сочетают высокую надежность с технологичностью монтажа, однако их стоимость остается существенным фактором. Металлопластиковые системы, при всех своих преимуществах, требуют использования дорогостоящих соединительных элементов. В последние годы все большее распространение получают готовые изолированные трубопроводы, значительно упрощающие процесс монтажа и повышающие долговечность систем [14].

Не менее сложные задачи возникают при организации надежного электроснабжения, где даже кратковременные перебои могут привести к серьезным последствиям. Создание эффективной системы энергоснабжения требует тщательного проектирования трансформаторных подстанций, распределительных узлов и сетей различного напряжения. Особую остроту приобретает проблема своевременного и качественного оформления исполнительной документации, так как несовершенство системы учета приводит к появлению "информационных пустот" в городских геоинформационных системах. Отсутствие актуальных данных повышает

риски при проведении земляных работ, осложняет процедуры согласования и затрудняет стратегическое планирование развития инфраструктуры. Решение этих проблем требует внедрения комплексных мер контроля, цифровизации процессов документооборота и повышения ответственности всех участников строительного процесса [15].

Эффективное функционирование инженерных коммуникаций в современных условиях может быть обеспечено только при условии применения системного подхода, сочетающего передовые технологии монтажа, использование качественных материалов и создание эффективных механизмов контроля на всех этапах - от проектирования до эксплуатации.

Такой комплексный подход позволяет не только минимизировать текущие затраты, но и обеспечить долговечность и надежность создаваемых систем, что в конечном итоге способствует повышению качества жизни в городской среде и созданию комфортных условий для потребителей. Постоянное совершенствование нормативной базы, внедрение инновационных технологий и повышение квалификации специалистов являются необходимыми условиями для развития этой важнейшей сферы городского хозяйства.

Зарубежный опыт строительства инженерных коммуникаций демонстрирует ряд передовых подходов, которые могли бы быть полезно адаптированы в отечественной практике. В европейских странах, США и Японии уже давно применяются инновационные технологии, позволяющие повысить эффективность подземного строительства [16].

В Германии и скандинавских странах особое внимание уделяется комплексной прокладке коммуникаций в общих коллекторах. Такой подход позволяет объединить тепловые, водопроводные, канализационные и электрические сети в единой защищенной среде, что значительно упрощает обслуживание и ремонт.

Например, в Хельсинки более 80% подземных коммуникаций проложены в общих тоннелях, что сократило количество аварий на 40% за последнее десятилетие.

Американский опыт демонстрирует эффективность полной цифровизации подземной инфраструктуры. В таких городах как Нью-Йорк и Чикаго созданы единые геоинформационные системы, содержащие актуальные 3D-модели всех подземных коммуникаций с точностью до 5 см. Все строительные компании обязаны вносить изменения в систему в режиме реального времени, что исключает "информационные пустоты". Штрафы за несвоевременное обновление данных достигают 10 тысяч долларов в день [17].

Японские технологии прокладки коммуникаций отличаются высокой степенью автоматизации. В Токио широко применяются роботизированные комплексы для микротоннелирования, способные прокладывать трубы диаметром до 3 метров на глубине 50 метров без вскрытия поверхности. Особенно впечатляют темпы работ - до 20 метров проходки в сутки в условиях плотной городской застройки.

В Швейцарии реализована уникальная система "умных" теплосетей, где каждый участок трубопровода оснащен датчиками температуры, давления и коррозии. Данные в реальном времени поступают в диспетчерские центры, что позволяет прогнозировать и предотвращать до 90% потенциальных аварий. Срок службы таких сетей превышает 50 лет при минимальных затратах на обслуживание.

Голландский опыт гидроизоляции подземных сооружений заслуживает особого внимания. Благодаря применению многослойных полимерных мембран и электрохимической защите, срок службы подземных коммуникаций в условиях высоких грунтовых вод увеличен в 2-3 раза по сравнению с традиционными методами [18].

Важным аспектом зарубежного опыта является строгая стандартизация. В ЕС действует более 200 стандартов, регламентирующих все аспекты

строительства подземных коммуникаций - от качества материалов до методов контроля. Это обеспечивает предсказуемость и надежность всех процессов.

Финансовые механизмы также отличаются инновационностью. В Великобритании успешно применяется модель "платежей за доступ", когда все коммунальные компании вносят плату в общий фонд за использование подземного пространства, что стимулирует рациональное использование территории и совместное проектирование [19].

Адаптация этих передовых практик требует системного подхода, включающего модернизацию нормативной базы, инвестиции в современное оборудование и переподготовку специалистов. Однако, как показывает международный опыт, такие преобразования окупаются за счет значительного увеличения срока службы коммуникаций и снижения эксплуатационных затрат.

1.3 Анализ современных подходов в решении возникающих конфликтов

Сегодня особенно остро стоит проблема укладки инженерных коммуникаций на городских территориях под землей. Рассмотрим варианты решения данной проблемы (таблица 1).

Таблица 1 - Варианты решения проблема укладки инженерных коммуникаций на городских территориях под землей

Решение	Описание решения
Тщательное проектирование	Подробные исследования и вычисления для выбора наилучшего варианта строительства, учитывая имеющуюся инфраструктуру, уменьшение взаимных пересечений с другими коммуникациями. Планирование сложного маршрута с учетом рельефа, расположения зданий и иных объектов. Обеспечение удобного доступа к камерам и павильонам для обслуживания и ремонта.
Использование современных материалов и технологий	Трубы из коррозионностойких материалов (например, полиэтилен высокой плотности, сшитый полиэтилен) для предотвращения коррозии, вызываемой блуждающими токами. Эффективное уменьшение потерь тепла за счет использования материалов с низким коэффициентом теплопроводности.

Продолжение таблицы 1

	Современные способы защиты тепловых сетей от воды, проникающей из грунта и с поверхности, с помощью гидроизоляции.
Строгое соблюдение технологий строительства	Соблюдение предписаний и инструкций при проведении монтажа труб, установке арматуры и изоляции. Улучшение герметичности системы путем уплотнения стыков и соединений. Правильная укладка и уплотнение трубопроводов теплосетей для избегания их деформации.
Планирование и организация работ	Сотрудничество с другими подрядчиками для своевременного подключения к сетям. Улучшение логистики и применение специализированного оборудования для увеличения производительности процесса прокладки. Основательная подготовка участка и обеспечение безопасности работ.
Регулярное обслуживание и мониторинг	Регулярное обслуживание и проверка систем для оперативного обнаружения и устранения неполадок. Удаление воды и отходов из каналов теплотрасс. Замена поврежденных участков труб и изоляции.

Сочетание шагов, представленных в таблице 1, поможет уменьшить проблемы при установке подземных тепловых сетей [20].

Ещё одной актуальной проблемой является проблема электроснабжения. Рассмотрим варианты решения данной проблемы (таблица 2).

Таблица 2 - Варианты решения проблемы электроснабжения инженерных коммуникаций на городских территориях

Решение	Описание решения
Проектирование	Единый план, учитывающий все элементы электроснабжения здания, включая внешние и внутренние сети, подстанцию, распределительные узлы и освещение. Применение специализированных программ для анализа нагрузок, подбора оборудования и улучшения структуры сетей способствует повышению надежности электроснабжения. При соблюдении строгих норм и стандартов безопасности в электроэнергетике обеспечивается безопасная эксплуатация электросетей.

Продолжение таблицы 2

Выбор технических средств	Важно использовать высококачественное и надежное оборудование от известных производителей с официальной гарантией и сертификатами. Для снижения вероятности отключения электричества следует установить запасные источники энергии, такие как дизель-генераторы или источники бесперебойного питания (ИБП). Использование автоматических систем переключения на резервный источник при аварии обеспечивает непрерывное электроснабжение важных объектов.
Установка и эксплуатация	Для установки и поддержания электросетей требуются опытные специалисты высокой квалификации. Проведение регулярного технического обслуживания и проверка состояния электросетей помогают обнаруживать и исправлять проблемы вовремя. Установка системы наблюдения дает возможность отслеживать состояние электрических сетей в реальном времени и оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации.
Обеспечение безопасности	Профессиональное заземление оборудования является важным требованием для безопасности работы электрических сетей. Постоянное обучение персонала объекта мерам безопасности при работе с электрооборудованием уменьшает вероятность происшествий. Электротехники должны носить специальную защитную одежду и средства индивидуальной защиты.

Сочетание различных методов для решения данных проблем гарантирует безопасное и стабильное обеспечение объекта электроэнергией [21].

Перейдём к актуальной для нашего города проблеме систематичности сдачи контрольно-исполнительной съёмки (КИС) после завершения работ по строительству инженерных сетей. Рассмотрим варианты решения данной проблемы в таблице 3.

Таблица 3 - Варианты решения проблемы сдачи КИС после завершения работ по строительству инженерных сетей

Решение	Описание решения
Усиление контроля	Установить строгие меры ответственности для дизайнеров и строителей из-за задержки в сдаче КИС.

Продолжение таблицы 3

	<p>Это может означать наложение штрафов либо других видов наказаний.</p> <p>Контролировать процесс строительства объектов для отслеживания прогресса работ и соблюдения требований к передаче в эксплуатацию</p>
Упрощение сдачи КИС	<p>Разработать систему электронной доставки КИС, облегчающую загрузку материалов для проектировщиков и подрядчиков.</p> <p>Установить определенные и разумные сроки рассмотрения КИС компетентными органами.</p>
Информационная компания	<p>Организация информационных кампаний и мероприятий для повышения уровня осведомленности проектировщиков и подрядчиков о значимости предоставления КИС для обновления топографической базы данных.</p>
Координация с другими структурами	<p>Установить близкое сотрудничество с государственными органами, отвечающими за геодезическую базу данных, для обеспечения согласованности и обмена информацией.</p> <p>Обеспечить согласованность работы с инженерными службами, управляющими построенными инженерными сетями, для обеспечения своевременного получения КИС.</p>
Поощрение за своевременную сдачу КИС	<p>Исследовать варианты предоставления финансовых стимулов или привилегий проектировщикам и подрядчикам, сдающим КИС в срок.</p>

Выполнение, предложенных в таблице 3, действий поможет улучшить точность и своевременность передачи КИС, что приведет к актуализации топографической базы данных и обеспечит государственным органам достоверную информацию [22].

Невыполнение регулярной сдачи КИС после завершения строительства инженерных сетей имеет серьезные негативные последствия.

Для решения проблемы нужно усовершенствовать надзор за предоставлением КИС, автоматизировать процесс и повысить ответственность за несвоевременную передачу актуальной информации.

Международная практика демонстрирует эффективные подходы к организации подземных инженерных коммуникаций, которые могут быть

адаптированы для российских условий. В европейских странах широко применяется концепция совместных коллекторов, где различные коммуникации (тепловые, водопроводные, электрические) размещаются в единых защищенных тоннелях. Такой подход, активно используемый в Германии и скандинавских странах, позволяет сократить количество аварий на 30-40% за счет упрощения доступа для обслуживания и ремонта. Особого внимания заслуживает опыт Финляндии, где реализована система "умных" теплосетей с датчиками контроля состояния трубопроводов в режиме реального времени [23].

США демонстрируют передовые решения в области цифровизации подземной инфраструктуры. В крупных городах созданы точные 3D-модели всех подземных коммуникаций с погрешностью не более 5 см. Жесткая система штрафов за несвоевременное обновление данных (до 10 тысяч долларов в сутки) обеспечивает актуальность информации. Японские технологии отличаются высокой степенью автоматизации - роботизированные комплексы в Токио способны прокладывать до 20 метров трубопроводов в сутки на глубине 50 метров без вскрытия поверхности.

В Швейцарии успешно функционируют тепловые сети с интегрированной системой мониторинга, где каждый участок оснащен датчиками температуры, давления и коррозии. Это позволяет прогнозировать до 90% потенциальных аварий. Голландский опыт гидроизоляции в условиях высоких грунтовых вод с использованием многослойных полимерных мембран увеличивает срок службы коммуникаций в 2-3 раза. В Великобритании действует модель "платежей за доступ" к подземному пространству, стимулирующая рациональное использование территории.

Европейские стандарты (более 200 нормативов EN) строго регламентируют все аспекты строительства - от качества материалов до методов контроля. В скандинавских странах особое внимание уделяется экологичности материалов и энергоэффективности систем. Например, в Дании широко применяются трубы с улучшенной теплоизоляцией,

сокращающие потери тепла на 15-20% по сравнению с традиционными решениями. Французский опыт показывает эффективность централизованного управления подземным пространством через единые геоинформационные системы [19].

Азиатские страны, особенно Сингапур и Южная Корея, демонстрируют успешные примеры комплексного подхода к планированию подземной инфраструктуры. Здесь на этапе проектирования новых районов заранее предусматриваются резервные мощности и возможности для модернизации сетей.

Общим для всех передовых практик является сочетание жесткого нормативного регулирования, современных технологий строительства и цифровых систем управления [23].

Современное строительство инженерных коммуникаций требует комплексного подхода, объединяющего передовые технологии, качественные материалы и эффективные организационные решения. Анализ текущей ситуации выявляет ряд ключевых проблем, особенно при подземной прокладке сетей в условиях плотной городской застройки [24]. Основные сложности связаны с коррозией трубопроводов, затоплением каналов грунтовыми водами, сложностями доступа для обслуживания и ремонта, а также недостатками в системе учета и контроля подземных коммуникаций.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

2.1 Общее описание разрабатываемого метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций

Сегодня существует большое количество методов анализа состояния инженерных коммуникаций, на этапе же строительства методы анализа разработаны не так широко.

Рассмотрим методы анализа состояния инженерных коммуникаций и на основе обзора выберем метод на основе которого будем анализировать состояния инженерных коммуникаций на этапе строительства.

Часто используется сетевой анализ. Он дает возможность изучать соотношения между частями инженерной сети, такими как трубы и кабели. Используя анализ сети, можно найти наилучшие варианты для развертывания новых связей, оценить пропускную способность и нагрузку, а также выявить уязвимые точки, подверженные авариям. Для использования сетевого анализа требуются специализированные программные продукты, такие как ArcGIS Network Analyst или QGIS Network Analysis [25].

Еще одним популярным методом является многокритериальный анализ, который помогает делать выбор при неопределенности, учитывая различные противоречивые факторы. С помощью данного инструмента можно изучать различные варианты модернизации коммуникаций, определять приоритеты в области ремонта и оценивать возможные риски аварий. Для оценки нескольких критериев используются методы принятия решений и специализированные программы, такие как Expert Choice и Decision Explorer.

Также популярен метод анализа жизненного цикла (АЖЦ), в соответствии с данным методом рассматриваются все этапы жизненного цикла инженерных коммуникаций, начиная с проектирования и заканчивая демонтажем. Это позволяет повысить эффективность реализации средств на строительство и обслуживание, повысить экологическую устойчивость и

безопасность работы. Этот подход включает в себя использование системного анализа и программных пакетов, таких как AspenTech и SimaPro.

В последнее время все больше внимания уделяется методам машинного обучения и искусственного интеллекта, которые помогают анализировать большие объемы данных, обнаруживать закономерности и предсказывать состояние инженерных коммуникаций. С использованием этих подходов можно прогнозировать происшествия, оценивать скорость старения материалов и улучшать работу инженерных систем [26].

Традиционным методом является экспертная оценка, она опирается на опыт и знания специалистов при определении состояния инженерных коммуникаций и выявлении потенциальных угроз. Данный метод позволяет оценить уровень выполнения строительных работ, прогнозировать их долговечность и разрабатывать планы модернизации. Для этого применяются различные методы экспертной оценки, включая метод Дельфи и метод аналогий.

Метод геоинформационного анализа (ГИС) включает сбор и интеграцию пространственных данных, собранных с помощью ГИС-платформ, и непространственных данных, таких как проектная документация и отчеты об обследованиях, для хранения и визуализации информации о коммуникациях. Использование дистанционного зондирования, включая данные со спутников, позволяет отслеживать состояние коммуникаций и оценивать воздействие строительных работ. Информация, полученная от сенсоров на инженерных системах "умного" города, позволяет осуществлять контроль в режиме реального времени [27].

Во время обработки и изучения данных используются геопроецирование и ортокоррекция для гарантирования точности координат, пространственный анализ для выявления зон риска и изменений для выявления тенденций и деградации. Использование ГИС для моделирования позволяет разрабатывать модели инженерных систем, для предсказания их поведения при различных условиях. Данные

визуализируются с применением тематических карт, 3D-моделей, интерактивных карт и анимации, что способствует улучшению понимания структуры и изменений в инженерных системах [3].

Совмещение с другими методами включает в себя проведение технического анализа, который включает визуальное обследование и тестирование, чтобы оценить состояние связей, а также лабораторные исследования материалов.

Преимущества метода геоинформационного анализа (ГИС) включают в себя объединение различных аналитических методов для получения полной картины состояния инженерной инфраструктуры. Активное решение позволяет выявлять возможные проблемы на ранних этапах, предотвращая аварии. Поэтому разрабатываемый нами метод анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций будет относиться к методу геоинформационного анализа (ГИС) [28].

Отсутствие полной и актуальной топографической информации в государственных органах – это как ехать по шоссе с закрытыми глазами. Невозможно знать, что ждет впереди: глубокая яма, неожиданный поворот или опасный обрыв.

В городах, где "белые пятна" на картах не редкость, отсутствие точных данных о местоположении подземных коммуникаций вызывает настоящий беспорядок. Представьте себе, строители, которые прокладывают новую дорогу, не осведомлены о местонахождении газовых труб или кабельных линий. В результате происшествия возникают аварии, нарушения связи, затруднения с поставками и, главное, угроза жизни [29].

Недостаток полной информации об инфраструктуре может стать не только неудобством, но и серьезной угрозой для безопасности, экономического процветания и устойчивого развития городов.

Новейшие технологии позволяют формировать детальные цифровые карты, на которых отображены сведения о местонахождении всех инженерных коммуникаций.

Процесс геоинформационного анализа (ГИС) состоит из 5 важных этапов, каждый из которых является ключевым для изучения состояния инженерных коммуникаций [6].

Первым этапом является сбор информации. На данном этапе осуществляется сбор как пространственной, так и непространственной информации. Пространственные данные содержат информацию о видах, расположении, состоянии и свойствах инженерных коммуникаций. Непространственные сведения получают из проектной документации, отчетов об обследованиях и прочих источников.

На втором этапе происходит интеграция данных. Данные собираются и объединяются в одну информационную систему. Это включает сочетание пространственных и непространственных данных, а также использование данных дистанционного зондирования, таких как снимки со спутников и аэрофотосъемка.

На третьем этапе происходит обработка и изучение информации. Информация подвергается процессу геореференцирования и ортокоррекции для увеличения точности. Затем проводится анализ пространственных данных для выявления потенциально опасных мест и изучения изменений в области коммуникаций [7].

На четвёртом этапе происходит визуализация данных. Используются тематические карты, 3D-модели и интерактивные карты для визуализации результатов анализа, что облегчает интерпретацию данных и выявление проблемных зон.

На пятом этапе производится оценка результатов. Происходит анализ данных и выявление основных проблем. Эксперты изучают визуальные данные для принятия обоснованных решений [8].

Системы мониторинга, которые будут установлены, смогут обновлять данные о состоянии коммуникаций в режиме реального времени, что позволит быстро реагировать на изменения, позволит создать единую информационную базу и обеспечить доступ к данным для всех заинтересованных сторон.

2.2 Требования к входным данным геоинформационного метода

Для претворения геоинформационного метода в жизнь требуются:

- 1) пространственные данные,
- 2) атрибутивные данные,
- 3) данные о проведенных, текущих и планируемых работ.

Пространственные данные (spatial data) — это данные о пространственных объектах и их наборах. Координатные данные являются важным аспектом пространственных данных. Он используется для сопоставления объектов и их свойств с положением в пространстве.

В свою очередь, пространственный объект определяется как цифровая модель материального или абстрактного объекта реального или виртуального мира с указанием его идентификатора, координатных и атрибутивных данных. Совокупность пространственных данных, записанных тем или иным образом, называется пространственной базой данных.

Современные пространственные БД организовываются на платформе специализированного программного обеспечения, позволяющего сохранять накапливать и обрабатывать все компоненты пространственных данных в виде логически единой БД. [9, 10].

Перейдём к описанию требований к атрибутивным данным.

К атрибутивным данным, которые требуются для реализации метода, относятся: технические характеристики инженерных коммуникаций, их техническое состояние, данные по потреблению, планы по обслуживанию и развитию.

К техническим характеристикам инженерных коммуникаций относятся: размер внутреннего диаметра, материал трубы (сталь, чугун, пластик), уровень давления (для водо- и газопроводов), мощность электрической сети (в кВт), пропускная способность канализации (в м³/ч).

Информация о использовании ресурсов показывает объем потребления воды, газа, электроэнергии, тепла, поставляемых через инженерные коммуникации. Эти данные помогают провести анализ использования

ресурсов, определить необходимость расширения производственных мощностей и выявить неэффективное использование и потери ресурсов [30].

Планы развития включают создание новых объектов, модернизацию сетей, увеличение мощностей в рамках инфраструктурного развития инженерных коммуникаций. Эта информация помогает планировать будущее развитие сетей, определять потребности в инвестициях и учитывать изменения в потреблении ресурсов.

Атрибутивные данные помогают понять состояние и работу инженерных коммуникаций, а также способствуют планированию их развития и обеспечению безопасной эксплуатации.

Перейдём к рассмотрению требований к данным о проведенных, текущих и планируемых работах [31].

Данные о проведенных, текущих и планируемых работах должны обязательно содержать информацию о авариях, как нынешних, так и прошлых, информацию о проводимых ремонтах, планах по отключениям инженерных коммуникаций.

Аварии и инциденты представляют собой нестандартные ситуации, мешающие нормальному функционированию коммуникаций. Информация об времени, месте, причинах и последствиях аварий помогает выявлять уязвимые точки в системе. Например, если коррозия вызвала аварию, это указывает на необходимость увеличить проверки состояния труб. Изучение причин аварий способствует созданию мер предотвращения, включая внедрение современных технологий контроля, проведение профилактических мероприятий и оптимизацию эксплуатации [14].

Ремонтные мероприятия предназначены для восстановления или предотвращения аварийных ситуаций в инженерных коммуникациях. Данные о времени, месте, характере и объеме ремонтных работ помогают контролировать изменения состояния коммуникаций, выявлять участки, требующие особого внимания, и планировать последующие действия.

Плановые отключения - это спланированные мероприятия для проведения профилактических работ или ремонта инженерных сетей. Сведения о времени и местоположении запланированных отключений помогают оптимизировать проведение ремонтных работ, сокращают время простоя и обеспечивают непрерывное предоставление ресурсов после завершения работ [15].

Информационные данные помогут выявлять потенциальные угрозы, предсказывать проблемы и разрабатывать меры по предотвращению аварий и улучшению инженерных коммуникаций.

Для успешного применения геоинформационного подхода необходимо полное понимание требуемых данных, их источников и формата представления. Каждый проект необходимо сопровождать широким спектром информации, касающейся различных аспектов инженерных коммуникаций и инфраструктуры.

Систематизируем разнообразие данных для обеспечения их правильного использования на всех этапах проектирования и эксплуатации инженерных систем. Очень важно определить точные данные, необходимые для каждой задачи, и их формат для удобного доступа и анализа [16].

В таблице 4 содержится информация о минимально необходимых требованиях к данным для применение геоинформационного метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций. Для каждого типа данных указаны способы представления и измерения, что обеспечивает комплексный подход к сбору, обработке и анализу данных. Такой комплексный подход способствует не только эффективному управлению строительством инженерных коммуникаций, но также улучшает взаимодействие между всеми участниками процесса [32].

Таблица 4 - Информация о минимально необходимых требованиях к данным для применение геоинформационного метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций

Тип данных	Форма представления	Единицы измерения
Пространственные данные	—	—

Продолжение таблицы 4

Топографические карты и планы	Векторные/растрированные данные	—
Инженерные коммуникации	Географические координаты	Метры, километры
Геологические данные	Таблицы, карты	—
Информация о зданиях и сооружениях	Базы данных, схемы	—
Данные о застройке	Таблицы, карты	Квадратные метры (м ²), человек
Атрибутивные данные	—	—
Технические характеристики	Таблицы, текстовые документы	Миллиметры (мм), кВт, м ³ /ч
Данные о потреблении ресурсов	Таблицы, графики	Литры (л), кубометры (м ³)
Планы по обслуживанию и развитию	Документы, таблицы	—
Данные о работах	—	—
Информация об авариях	Таблицы, отчеты	Дата/время, место
Ремонтные работы	Таблицы, графики	Дата/время, объем работ (м ³)
Плановые отключения	Календарь, таблицы	Дата/время

Требования к составу данных и их единицам измерения позволяют эффективно собирать, обрабатывать и анализировать информацию, что, в свою очередь, способствует безопасному и эффективному строительству инженерных коммуникаций. Использование этих данных является ключом к успешному проектированию и модернизации инженерных систем коммуникаций [18]. Стандартизация данных является ключом к успешному проектированию, строительству, эксплуатации и модернизации инженерных систем коммуникаций, что, в свою очередь, обеспечивает устойчивое развитие территорий.

2.3 Применение метода геоинформационного анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций

Ранее описанные этапы реализации геоинформационного метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций для удобства восприятия приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Этапы реализации геоинформационного метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций

Этап	Описание	Основные действия
1. Сбор информации	Сбор пространственной и непространственной информации. Пространственные данные содержат сведения о видах, расположении, состоянии и свойствах инженерных коммуникаций.	Сбор данных из различных источников
2. Интеграция данных	Объединение собранных данных в одну информационную систему, сочетание пространственных и непространственных данных, использование данных дистанционного зондирования.	Объединение данных, обработка снимков
3. Обработка и изучение информации	Геореференцирование и ортокоррекция данных для повышения точности. Анализ пространственных данных для выявления потенциально опасных мест и изменений.	Геореференцирование, анализ данных
4. Визуализация данных	Создание тематических карт, 3D-моделей и интерактивных карт для визуализации результатов анализа, что упрощает интерпретацию данных.	Разработка визуальных материалов
5. Оценка результатов	Анализ визуальных данных для выявления основных проблем и принятия обоснованных решений.	Оценка данных, формирование выводов

Распишем подробно алгоритм работы на каждом из пяти этапов [19].

Первым этапом в геоинформационном методе анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций является сбор информации. Этот этап включает в себя как пространственные, так и непространственные данные, которые являются основой для дальнейшего анализа и принятия решений.

Топографические карты и планы застройки предоставляют сведения о наличии и местоположении коммуникаций. Эта информация способствует формированию полного представления о существующей инфраструктуре [20].

Информация добывается путём изучения проектной документации. В ней хранится информация о запланированных и текущих инженерных коммуникациях, что позволяет сопоставлять проектные решения с учётом текущего положения дел. Также информация добывается из различных информационных систем, включая ГИС, которые предназначены для обработки и анализа пространственных данных.

Информация пространственных данных описывает виды, местоположение, состояние и характеристики инженерных коммуникаций. Рассматриваются различные аспекты, такие как размещение трубопроводов, линий электропередач, систем водоснабжения и канализации. Эта информация помогает составить всестороннее представление о текущей инфраструктуре, что способствует оптимизации размещения новой инфраструктуры, сокращая возможные риски и расходы.

Непространственные данные собираются из проектных документов, отчетах о проверках, технической спецификации. Эти данные расширяют пространственные данные, дополняя важные технические детали, информацию о состоянии систем и их эксплуатации.

После окончания сбора информации производится тщательный анализ результатов. Первый этап создаёт основу, которая необходима для будущей обработки и анализа данных.

Интеграция данных играет важную роль в геоинформационном анализе, объединяя пространственную и непространственную информацию для более полного представления об инженерных коммуникациях [33].

Основные способы интеграции данных: соединение пространственных и непространственных данных (геометрия, местоположение, свойства коммуникаций комбинируются с техническими характеристиками, состоянием, историей ремонтов, расходом ресурсов).

Требования к результатам интеграции включают точность и полноту данных, совместимость данных и их доступность.

Последовательность анализа результатов:

- 1) отображение информации,
- 2) изучение пространственной структуры,
- 3) создание модели,
- 4) разработка решения.

Данные о местоположении, типе, степени износа и дате последнего ремонта трубопроводов могут будут отображены на карте, это позволит выявить участки с высоким риском аварий [7].

Слияние данных - важная часть анализа геоинформации, которая помогает получить полное представление о состоянии инженерных сетей. Информация, полученная в процессе слияния, помогает выявить проблемные зоны, предсказать риски, улучшить использование и разработать планы развития инженерных коммуникаций.

Обработка и изучение информации следует после второго этапа геоинформационного анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций. Этап включает в себя процессы геореференцирования и ортокоррекции данных, что значительно повышает точность пространственных данных и их пригодность для анализа.

Геореференцирование - это процесс привязки информации к физическим географическим точкам. Это необходимо для точного

сопоставления информации о коммуникациях из разных источников с картами и другими пространственными данными [12].

Четвёртый этап визуализирует результаты, делает данные более репрезентативными и помогает принимать решения по строительству инженерных коммуникаций.

Итоговая оценка геоинформационного анализа на заключительном этапе включает в себя:

- 1) интерпретацию данных,
- 2) выявление проблем,
- 3) принятие решений,
- 4) планирование [10].

Основные методы оценки:

- 1) просмотр визуальных материалов,
- 2) статистический анализ данных,
- 3) создание моделей для прогнозирования различных сценариев и оценки эффективности мероприятий.

Целью итоговой оценки являются: установление основных метрик, изучение пространственных соотношений, выявление проблемных областей, разработка рекомендаций. Требованиями к итогам оценки являются: объективность, ясность, практическая значимость.

Статистический анализ выявил зависимость между частотой аварий и возрастом трубопровода. Следовательно, рекомендуется провести капитальный ремонт или замену трубопроводов на проблемных участках и запланировать профилактические работы на участках с высоким аварийным риском.

Оценка данных геоинформационного анализа необходима для перевода информации в реальные действия и принятия обоснованных управленческих решений по инженерным коммуникациям.

Для оценки состояния инженерных коммуникаций на этапе строительства нужно использовать эффективные методы, включая

геоинформационный анализ (ГИС). Этот метод позволяет собирать, объединять и отображать пространственные и непространственные данные.

Минимально необходимые данные должны быть систематизированы, чтобы обеспечить удобный доступ и анализ. Стандартизация формата данных и их представления играет ключевую роль в успешном управлении инженерными коммуникациями и способствует устойчивому развитию территорий. Использование комплексного подхода к сбору и анализу данных является основой для безопасного и эффективного строительства и эксплуатации инженерных систем.

Геоинформационный метод анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций состоит из 5 этапов.

В начале проводится сбор данных, включая пространственные и непространственные данные, это является основой для последующего анализа.

На втором этапе производится интеграция данных, объединяются разнообразные источники информации, это делает данные репрезентативными.

На третьем этапе происходит обработка и анализ информации, при этом использование геореференцирования и ортокоррекции повышает точность данных, что является критически важным для проведения анализа.

На четвертом этапе процесс анализа данных становится более доступной благодаря использованию карт и трехмерных моделей для визуализации.

В конце процесса происходит анализ результатов, включая интерпретацию данных, выявление проблем и предложение рекомендаций для будущих шагов.

Приведенные шаги геоинформационного метода анализа современного состояния строительства инженерных коммуникаций обеспечивают комплексный анализ, что помогает прогнозировать риски при строительстве инженерных коммуникаций и разрабатывать стратегии для их успешного контроля.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ДАННЫХ ОБ АВАРИЯХ НА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Современные города сталкиваются с серьезными проблемами в области инфраструктуры, особенно касающимися состояния инженерных сетей. Частые аварии и поломки вызывают значительные неудобства у населения и требуют больших средств на восстановление и поддержание работоспособности этих систем. С учетом роста урбанизации и увеличивающейся нагрузки на сети важно проводить детальный анализ аварийных ситуаций для определения наиболее уязвимых участков и улучшения качества обслуживания.

Для решения данной проблемы предлагается разработать подход, основанный на анализе данных о происшествиях на инженерных сетях. Планируется использовать информацию от Государственной административно-технической инспекции (ГАТИ) и обращения в прокуратуру по вопросу инженерных сетей для установления взаимосвязей между техническим состоянием сетей и частотой инцидентов [1,2].

3.1 Сбор экспериментальных данных

Главным источником данных выступает Государственная административно-техническая инспекция (ГАТИ).

Государственная административно-техническая инспекция (ГАТИ) — это государственный орган, который контролирует соблюдение правил благоустройства и проведение строительных, ремонтных, земляных и других работ на объектах городской инфраструктуры.

Основные задачи ГАТИ включают выдачу разрешений на выполнение работ, контроль их выполнения в соответствии с установленными нормами, выявление и пресечение нарушений, а также привлечение нарушителей к административной ответственности. В своей работе инспекция руководствуется законодательными актами, регламентами и нормативно-

правовыми документами, регулирующими порядок проведения работ в городской среде.

ГАТИ проводит плановые и внеплановые проверки, рассматривает обращения граждан, юридических лиц и организаций, а также взаимодействует с другими государственными органами и муниципальными структурами. В случае выявления нарушений инспекция выдает предписания об их устранении, налагает штрафные санкции и, при необходимости, инициирует дополнительные меры воздействия.

Кроме того, ГАТИ контролирует восстановление благоустройства после проведения работ, включая проверку качества асфальтирования, установки малых архитектурных форм, озеленения и других элементов городской среды.

Инспекция ведет учет и хранение информации о выданных разрешениях, предписаниях, выявленных нарушениях и принятых мерах в течение установленного законодательством срока. Основная цель ГАТИ — обеспечение безопасной, комфортной и эстетически привлекательной городской среды, соблюдение строительных и санитарных норм, а также предотвращение самовольного производства работ, способных нанести ущерб городской инфраструктуре и благополучию граждан.

Государственная административно-техническая инспекция (ГАТИ) контролирует соблюдение правил благоустройства и проведение работ на объектах городской инфраструктуры. Она также хранит информацию о выданных разрешениях, предписаниях и других документах.

Срок хранения этой информации в ГАТИ составляет три года, что соответствует нормативным требованиям. В течение этого времени данные о проверках, выявленных нарушениях, выданных предписаниях, разрешениях на производство работ и другие сведения, относящиеся к компетенции ГАТИ, учитываются и могут быть запрошены.

По прошествии трех лет информация может быть уничтожена или передана в архив согласно установленным правилам документооборота. Если потребуется продлить хранение отдельных данных, решение принимается в

соответствии с действующим законодательством и внутренними регламентами ГАТИ.

Метод анализа данных ориентирован на обнаружение и оценку динамики нарушений закона в Гати, используя доступные данные за период с 2022 по 2025 год. Этот процесс состоит из пяти последовательных шагов: сбор данных, предварительная обработка, анализ изменения показателей во времени, выявление общих тенденций и оценка потенциальных факторов, влияющих на эти изменения.

Для получения данных из ГАТИ тщательно готовится официальный запрос. На первом этапе определяется цель запроса, чтобы обозначить, для чего необходима информация.

В данном случае это анализ аварий на инженерных сетях для выявления проблемных участков и повышения эффективности управления инфраструктурой.

Затем составляется перечень данных, которые планируется запросить. В этот перечень включаются:

- 1) дата и время аварийного инцидента,
- 2) место происшествия с привязкой к географическим координатам и адресам,
- 3) вид инженерной сети (водоснабжение, теплоснабжение, электроснабжение и),
- 4) тип инцидента (утечка, обрыв, короткое замыкание и),
- 5) последствия аварии (масштаб затронутых территорий, количество пострадавших или отключенных домов),
- 6) текущий статус устранения проблемы (в процессе или завершено),
- 7) технические параметры сети (срок эксплуатации, история предыдущих ремонтов).

Все перечисленные пункты имеют большое значение для анализа аварий на инженерных сетях, так как они дают полное представление о природе и

масштабе проблем, а также помогают выявить закономерности и улучшить управление инфраструктурой [34].

Дата и время аварий важны, потому что они позволяют определить временные тенденции и частоту возникновения инцидентов. Эти данные особенно полезны для изучения влияния сезонных факторов или пиков нагрузки на сети.

Информация о месте происшествия с указанием координат и адресов необходима для пространственного анализа. Она помогает идентифицировать районы с наибольшим числом аварий, исследовать причины их скопления и разрабатывать целенаправленные меры по улучшению инфраструктуры в этих зонах [4].

Тип инженерной сети, на которой произошла авария (например, водоснабжение, теплоснабжение, электроснабжение), дает возможность категоризировать инциденты и сосредоточить усилия на устранении слабостей наиболее уязвимых видов сетей. Так, система водоснабжения чаще страдает от утечек, а электрические сети подвержены коротким замыканиям, что требует разного подхода к планированию и ремонту.

Характер инцидента (утечка, обрыв, короткое замыкание и т.п.) показывает природу проблемы, позволяя глубже понять её причины и принять профилактические меры. Утечки могут быть вызваны коррозией труб, а обрывы – износом кабелей или внешними повреждениями [35].

Последствия аварии, такие как охватываемая площадь и количество пострадавших или отключенных домов, демонстрируют влияние инцидента на население и городское пространство. Эти данные нужны для оценки социальных и экономических последствий аварий и выбора первоочередных мер по устранению.

Текущий статус устранения проблемы (находится ли она в процессе или уже решена) важен для отслеживания эффективности реакции на аварии. Эта информация помогает оценивать скорость работы служб, выявлять задержки и совершенствовать управление аварийными ситуациями [36].

Технические характеристики сети, такие как возраст и история прошлых ремонтов, показывают общее состояние инфраструктуры. Они способствуют определению изношенных участков и разработке планов по их модернизации и замене.

Все эти элементы взаимосвязаны и обеспечивают всесторонний анализ. Совместное их применение позволяет находить действенные способы повышения надёжности и устойчивости городской инфраструктуры [37].

Далее полученные информационные данные сводятся в Excel, чтобы эти данные было удобно использовать в дальнейшем.

После составления текста запроса он проверяется на соответствие правовым нормам, регулирующим доступ к информации. Этот шаг предполагает изучение действующих законов, касающихся обработки персональных данных и публичного доступа к информации, чтобы избежать возможного отказа в предоставлении запрошенных сведений.

В запросе присутствует четкое указание цели, полный перечень нужных данных и предпочитаемый формат их представления. Подача запроса производится с помощью заявления в электронной форме [38].

Порядок рассмотрения обращений граждан установлен Федеральным законом от 02.05.2006 № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации» [39].

После отправки запроса контролируется процесс его обработки. Такой подход гарантирует своевременное получение качественных и полных данных, необходимых для дальнейшего анализа.

Собранные и обработанные данные лягут в основу аналитической работы, что обеспечит прозрачность и оперативность в управлении аварийными ситуациями.

Сбор обращений жителей Санкт-Петербурга в прокуратуру относительно состояния инженерных коммуникаций проводился для анализа текущего положения городской коммунальной инфраструктуры, определения критически важных участков и оценки результативности деятельности

надзорных органов. Исследование основывалось на различных источниках данных и методах их сбора, обработки и последующего анализа.

Первым этапом стало определение ключевых источников обращений. Среди них оказались официальный портал прокуратуры Санкт-Петербурга, где граждане оставляли жалобы посредством системы электронных обращений, государственная информационная система «ГИС ЖКХ», сервис «Наш Санкт-Петербург» для подачи сигналов о коммунальных неполадках, а также специализированные платформы Роспотребнадзора и иных контрольных инстанций.

В ходе исследования осуществлялся мониторинг официальных обращений, включая разбор опубликованных материалов на сайтах прокуратуры и прочих надзорных структур. Анализировались открытые сведения о рассмотренных жалобах, включая ответы на официальные запросы.

3.2 Обработка экспериментальных данных

Запрос в ГАТИ был направлен по трём диапазонам данных в городе Санкт-Петербурге:

- 1) Дизельный проезд от ул. Марии Кошкиной до улицы Георгия Чернышева,
- 2) Московский пр. - Авиационная ул.- ул. Ленсовета - ул. Типанова (Московская площадь),
- 3) пересечение Полтавской улицы и Невского проспекта по пересечению Полтавской улицы с проспектом Бакунина, пересечения проспекта Бакунина и Херсонской улицы и по Исполкомскую улицу.

На данном этапе проводилась важная работа по приведению собранной информации к виду, удобному для дальнейшего анализа. В этот процесс входили такие шаги, как структурирование данных, проверка на наличие ошибок, заполнение недостающих значений и вычисление основных относительных показателей, необходимых для изучения динамики правонарушений.

Сначала данные были преобразованы в единый формат, чтобы сделать их легко читаемыми и сравнимыми. Рассматривались два вида данных: количество случаев неправомерных действий по годам и количество проверок, выполненных прокуратурой. Информация о правонарушениях была представлена в виде абсолютных чисел за каждый год, причем данные за 2025 год включали лишь первые два месяца, что потребовало специального подхода при анализе. Данные о проверках, наоборот, были доступны только за 2024 год, что тоже нужно было учитывать при сравнении.

Рассматриваемые районы являются частью старой городской застройки, где инженерные сети эксплуатируются уже много десятилетий, что существенно повышает вероятность их износа и возникновения аварийных ситуаций.

В районе от Дизельного проезда до улицы Георгия Чернышева инфраструктура представлена сетями водопровода, канализации и теплоснабжения, заложенными еще в середине XX века. С годами эти коммуникации потеряли свою надежность из-за естественного старения материалов. Основные трудности связаны с утечками воды вследствие коррозии труб, регулярными сбоями в системе отопления, особенно зимой, а также повреждением электрокабелей, приводящим к отключениям электроэнергии. Сложность выполнения ремонтных работ обусловлена плотной застройкой и высокими нагрузками на существующую инфраструктуру, что делает трудновыполнимыми даже аварийно-восстановительные мероприятия.

Другой район охватывает кварталы вокруг Московской площади, ограниченные улицами Авиационная, Ленсовета и Типанова. Это одна из самых старых жилых зон города, где системы газо-, водо- и теплоснабжения были проложены около 40–50 лет назад. Некоторые участки до сих пор используют коммуникации, оставшиеся со времен предыдущих реконструкций. Износ сетей привел к частым прорывам труб на улицах Ленсовета и Типанова, вызывающим значительные потери воды. На

Авиационной улице и соседних участках регулярно возникают проблемы с отоплением, обусловленные как старыми котельными, так и повреждениями теплотрасс [10].

Районы, окружающие пересечение Полтавской улицы и Невского проспекта, вплоть до их соединения с проспектом Бакунина, а также территории вдоль проспекта Бакунина, Херсонской и Исполкомской улиц, являются частью исторического центра Санкт-Петербурга. Здесь инженерные системы были заложены более 70 лет назад, а некоторые участки продолжают использовать сети, установленные еще во времена ранних этапов городского развития.

Износ коммуникаций приводит к частым авариям, особенно на участках около Херсонской улицы и проспекта Бакунина, где регулярно возникают протечки водопровода и разрушения канализационных систем. Вдоль Полтавской улицы, из-за обветшания газовых магистралей, случаются сбои в подаче газа, требующие оперативного ремонта. Проблемы с теплоснабжением испытывают районы Исполкомской улицы и соседних кварталов, обусловленные не только старыми котельными, но и постоянными поломками тепловых магистралей, что наиболее ощутимо зимой.

Районы испытывают высокую нагрузку на свои инженерные сети из-за плотной застройки и увеличивающегося объема потребления ресурсов, что усиливает частоту и масштаб аварий. Совместный эффект износа коммуникаций, трудностей при проведении ремонтов и большого количества жителей подчеркивает острую необходимость полной модернизации инфраструктуры, включающей замену старых сетей, укрепление систем ресурсоснабжения и внедрение современных технологий для мониторинга и предотвращения аварий [11].

Инженерные коммуникации в рассматриваемых районах, простирающихся от Дизельного проезда до улицы Георгия Чернышева и охватывающих квартал у Московской площади между улицами Авиационная, Ленсовета и Типанова, находятся в сильно изношенном состоянии.

В районе от Дизельного проезда до улицы Георгия Чернышева чугунные водопроводные трубы диаметром от 300 до 600 мм имеют средний износ порядка 75%. За последние три года здесь произошло 18 аварий, причем 12 из них были связаны с прорывами и утечками. Время ликвидации отдельных аварий доходило до 36 часов.

Канализационные сети, сооружённые в 1970-е годы, оснащены трубами диаметром от 500 до 1000 мм. В 2022 году было отмечено шесть случаев засорения, вызванных коррозионными процессами и образованием осадочных отложений внутри труб.

Состояние тепловых сетей также оставляет желать лучшего – износ центральных теплопроводов достигает 70%. За прошедшие два отопительных периода зафиксированы восемь эпизодов падения температуры в домах ниже допустимого уровня из-за дефектов труб. Электросети данного района тоже страдают от проблем, поскольку кабели, проложенные ещё в 1960-х годах, давно устарели. В период с 2021 по 2023 год произошли пять отключений электричества, каждое из которых длилось в среднем около четырёх часов.

В квартале, ограниченном Московской площадью, Авиационной улицей, улицей Ленсовета и улицей Типанова, ситуация с инженерными сетями также вызывает беспокойство.

Газовые магистрали среднего давления, построенные в 1980-х годах, имеют уровень износа около 65%. В 2023 году было зарегистрировано 3 утечки газа, устранение которых занимало от 12 до 24 часов [12].

Водопроводные сети, построенные в 1970-х годах из стальных труб, изношены на 70%. За последние три года здесь зафиксировано 15 аварийных утечек, одна из которых привела к затоплению части улицы Ленсовета. Тепловые сети района были частично обновлены в 2022 году, но значительная часть коммуникаций остается сильно изношенной, с уровнем износа до 80%. Зафиксировано 10 крупных инцидентов, связанных с нарушением подачи тепла.

Электроснабжение в районе также страдает от старения кабельных сетей, которые в основном были проложены в 1960-х и 1970-х годах. За последние два года произошло 7 крупных отключений, включая инцидент на Московской площади, где восстановление электроснабжения заняло 8 часов.

В 2023 году на перекрестке Полтавской улицы и Невского проспекта произошел серьезный прорыв водопроводной магистрали диаметром 600 мм, что привело к затоплению части дороги и нарушению водоснабжения в пяти близлежащих домах. На проспекте Бакунина, особенно на отрезке между Херсонской и Полтавской улицами, ежегодно фиксируется до четырех случаев утечек из канализационных коллекторов. В феврале 2024 года на данном участке произошло разрушение старого коллектора, построенного в 1952 году, что вызвало размыв грунта и просадку дорожного покрытия.

Регулярные проблемы наблюдаются и с газовыми сетями. Так, в октябре 2023 года на Полтавской улице, возле дома №7, была обнаружена утечка газа из-за коррозии трубы, проложенной в 1961 году. Это потребовало временной эвакуации жителей трех домов и отключения газа на 18 часов. Похожий инцидент произошел в декабре 2022 года на Исполкомской улице, когда из-за утечки в подземном газопроводе в жилом доме образовалось задымление в подвальном помещении.

Теплоснабжение района также находится в неудовлетворительном состоянии. В январе 2024 года на Херсонской улице произошел разрыв тепловой магистрали диаметром 400 мм, вследствие чего без тепла остались 12 многоквартирных домов и три социальных учреждения, среди которых был детский сад. В ноябре 2023 года на Исполкомской улице повреждение основной теплотрассы потребовало проведения экстренных ремонтных работ, длившихся 36 часов, что привело к временному прекращению подачи горячей воды в ряде районов.

Все это указывает на необходимость срочной модернизации инженерных коммуникаций в данной местности, поскольку их изношенность

вызывает частые аварии, доставляя серьезные неудобства местным жителям и создавая потенциальную опасность для их безопасности.

Данные результаты представлены на интерактивной карте (рисунок 1,2,3).

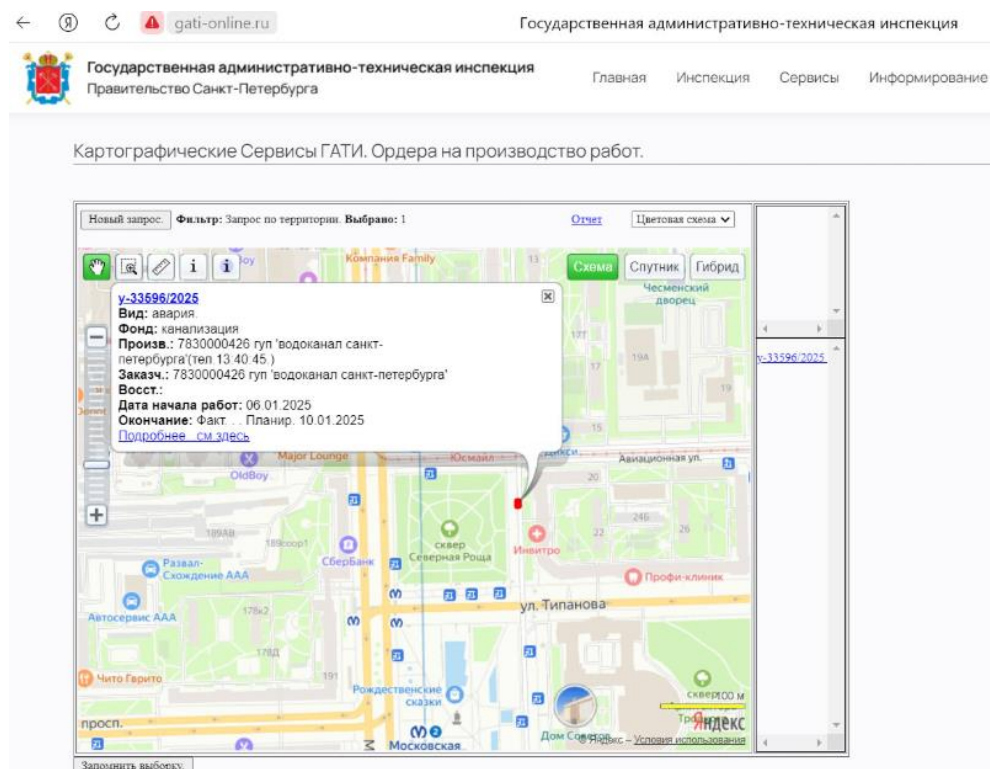


Рисунок 1 - Данные по аварии в квартале, ограниченном Московской площадью, Авиационной улицей, улицей Ленсовета и улицей Типанова

бесперебойной работы инфраструктуры и безопасности местных жителей. Канализационные сети, построенные в 1970-х годах, подвергаются коррозии и накапливают осадочные отложения, что привело к шести случаям засорения только за 2022 год. Эти факты указывают на необходимость их очистки и обновления [13].

Тепловые сети находятся в критическом состоянии, с износом магистральных теплопроводов на уровне 70–80%. За последние два отопительных сезона было зафиксировано восемь случаев резкого снижения температуры в жилых домах, что говорит о недостаточной эффективности действующей системы и настоятельной потребности в замене или капитальном ремонте тепловых магистралей.

Электросети также оставляют желать лучшего. Кабельные линии, проложенные в 1960-х годах, больше не отвечают современным стандартам надёжности и устойчивости. С 2021 по 2023 год в данных районах произошло 12 отключений электроэнергии, из которых пять пришлось на участок от Дизельного проезда до улицы Георгия Чернышева, а семь – на квартал возле Московской площади и близлежащих улиц. Продолжительность восстановления электроснабжения колебалась от 4 до 8 часов, что является существенным временем, особенно в холодное время года [12, 13].

Исходя из проведённого анализа, можно заключить, что инженерные сети в этих районах требуют безотлагательных мер по модернизации, таких как замена изношенных коммуникаций, внедрение передовых технологий мониторинга и проведение регулярного профилактического обслуживания. Эти действия помогут существенно сократить число аварий, повысить качество оказываемых услуг и гарантировать стабильную работу городской инфраструктуры.

Таким образом, районы имеют серьезные проблемы с инженерными коммуникациями, что подчеркивает необходимость их модернизации. Износ материалов, регулярные аварии и сложности с устранением повреждений

делают эту задачу приоритетной для обеспечения стабильной работы инфраструктуры и повышения качества жизни населения.

Тепловые сети находятся в критической ситуации, с уровнем износа основных теплопроводов достигающим 70-80%. За последние два отопительных периода было зарегистрировано восемь случаев резкого падения температуры в жилых зданиях, что свидетельствует о низкой эффективности существующей системы и острой необходимости замены или капитального ремонта тепловых магистралей.

В отличие от водопроводных и газовых сетей, где аварии обычно имеют локальный характер и устраняются сравнительно оперативно, повреждения теплотрасс вызывают продолжительные перебои с отоплением целых районов, особенно в холодное время года. Значительный износ теплопроводов ведет к частым утечкам теплоносителя, увеличивая нагрузку на систему и снижая её производительность. Экстренные ремонтные работы требуют больших финансовых вложений и часто затягиваются из-за трудностей с доступом к подземным коммуникациям.

Кроме того, старая инфраструктура теплоснабжения способствует высоким потерям тепла, что отрицательно влияет на потребление энергии и увеличивает эксплуатационные расходы. С учетом высокого риска дальнейшего усугубления проблем, модернизация тепловых сетей становится первоочередной задачей, необходимой для обеспечения надежного и непрерывного теплоснабжения населения, сокращения числа аварий и повышения энергетической эффективности системы.

После завершения сбора всех обращений в прокуратуру по инженерным коммуникациям, была проведена их классификация по ряду критериев. Обращения распределялись в зависимости от типа проблемы — аварии на системах водоснабжения, теплоснабжения, электросети, канализации и газоснабжения. Затем они были сгруппированы по географическому принципу, что помогло выявить районы Санкт-Петербурга, где инженерные коммуникации находились в наиболее неудовлетворительном состоянии.

Дополнительно было проведено разделение по степени срочности: на экстренные обращения, связанные с авариями, и системные, отражавшие хронические сложности эксплуатации и ремонта сетей. Важная составляющая анализа заключалась в изучении реакции прокуратуры на полученные жалобы, включая быстроту отклика, виды предпринятых мер и их практический эффект.

Проанализированные данные позволили выявить тенденции, связанные с частотой и характером обращений в разных частях города. Были замечены повторяющиеся проблемы, а также расхождения между официальной информацией о состоянии коммунального хозяйства и фактической ситуацией, отраженной в жалобах граждан. Особое внимание уделялось оценке эффективности работы прокуратуры: исследовалась доля удовлетворённых обращений, продолжительность их рассмотрения, а также конкретные меры и их воздействие на реальное положение инженерных сетей.

По итогам исследования были сформулированы выводы о состоянии инженерных коммуникаций Санкт-Петербурга, а также о качестве работы надзорных органов и коммунальных организаций. Результаты анализа легли в основу рекомендаций по улучшению работы прокуратуры и коммунальных служб, направленных на ускорение реагирования на жалобы граждан. Предложены также меры по обновлению инженерных сетей, включая перечень участков, нуждающихся в первоочередном ремонте и реконструкции.

Таким образом, сбор и анализ обращений в прокуратуру Санкт-Петербурга помогли идентифицировать ключевые трудности городской инженерной инфраструктуры, оценить работу надзорных учреждений и разработать предложения по оптимизации системы управления коммунальным хозяйством.

3.3 Реализация алгоритма выявления аварий

3.3.1 Выявление причин аварий

Основные причины аварий на теплосетях включают износ оборудования, коррозию трубопроводов, гидравлические удары, нарушение теплового режима, ошибки в эксплуатации и нехватку финансирования на ремонт и модернизацию.

Срок службы трубопроводов и других элементов теплосети обычно составляет 25–30 лет, но многие участки теплотрасс эксплуатируются уже более 40–50 лет без замены. Это приводит к усталостным явлениям в металле, ослаблению сварных соединений и появлению микротрещин, которые могут привести к крупным разрывам. Особо подвержены износу магистральные трубопроводы, работающие под высокими температурами и давлениями, что ускоряет процессы старения.

Коррозия трубопроводов – ещё одна серьёзная проблема, она может быть внутренней и внешней. Внутренняя коррозия возникает из-за содержания кислорода и примесей в теплоносителе, разрушающих стенки труб. Некачественная подготовка воды ведёт к образованию отложений, препятствующих нормальной циркуляции теплоносителя и способствующих локальному разрушению труб. Внешняя коррозия вызвана воздействием грунтовой влаги, химических реагентов, применяемых против гололеда, а также разрушением изоляционного слоя. В зонах с высокой влажностью и вблизи магистралей, где применяются агрессивные химические вещества, скорость коррозии существенно возрастает [14].

Гидравлические удары представляют собой другую частую причину аварий. Они проявляются в виде резких колебаний давления в системе, возникающих при быстром изменении объема теплоносителя, внезапном перекрытии или открытии клапанов, а также при включении насосов. Эти удары способны разрушать стенки труб, повреждать уплотнения соединений и выводить из строя запорную арматуру. Гидроудары особенно опасны в

старых сетях, где трубы уже ослаблены коррозией, а запорные устройства изношены и не рассчитаны на такие нагрузки.

Нарушения теплового режима также играют важную роль в возникновении аварий. Перегрев теплоносителя, когда его температура превышает допустимые нормы, усиливает температурное воздействие на трубы, ускоряя старение металла и разрушение изоляции. Напротив, пониженные температуры могут способствовать образованию конденсата, повышая влажность и стимулируя внешнюю коррозию. Неравномерное распределение тепла по причине неполадок в циркуляции или неправильных настроек системы создает зоны перегрева и недогрева, что дополнительно ухудшает состояние сети. [15].

Эксплуатационные ошибки и недостатки в проведении ремонтных работ также оказывают значительное влияние на частоту аварий на теплосетях. Среди распространенных проблем можно выделить применение низкокачественных материалов или устаревших технологий при замене труб, дефекты сварки, создающие слабые места на соединениях, а также несоблюдение правил заполнения системы теплоносителем, что может привести к образованию воздушных пробок и локальным перегревам.

Недостаточное финансирование ремонта и модернизации теплотрасс приводит к длительной эксплуатации труб сверх установленного срока, а аварийные работы выполняются фрагментарно, без полноценного обновления всей системы. Средства чаще направляются на ликвидацию последствий аварий, чем на их предотвращение, что лишь усугубляет проблему и увеличивает операционные издержки. [16].

Эти факторы в совокупности снижают надежность системы теплоснабжения, увеличивают потери тепла и повышают количество аварий. Чтобы предотвратить дальнейшее ухудшение ситуации, требуется комплексная модернизация теплотрасс, внедрение современных методов защиты от коррозии, улучшение качества ремонтных работ и оптимизация управления тепловыми нагрузками.

3.3.2 Алгоритм предотвращения аварий

После тщательной проверки и приведения данных к нужному формату, был выполнен расчет относительных показателей, помогающих глубже понять динамику правонарушений и их связь с прокурорскими проверками. Первым делом было определено среднеемесячное количество нарушений для каждого года. Это достигалось путем деления общего числа нарушений в течение года на количество месяцев данного периода. Так, для 2022 года средний месячный показатель составил $62/12 \approx 5,17$ случая, для 2023 года — $54/12 = 4,5$ случая, а для 2024 года — $85/12 \approx 7,08$ случая. В 2025 году данные охватывали только два первых месяца, и среднее значение за месяц составило $24/2 = 12$ случаев. Эти показатели дали возможность сравнивать уровень выявляемых нарушений в разные временные отрезки вне зависимости от длительности периода.

Затем было произведено вычисление процентного изменения количества нарушений по годам, что позволило установить общие тенденции увеличения или уменьшения числа правонарушений.

Среднее количество нарушений в месяц рассчитывается по формуле 1.

$$N_{\text{сргод}} = N_{\text{общ}} / M \quad (1)$$

Для 2022 года формула 2:

$$N_{\text{ср2022}} = 62 / 12 \approx 5,17 \quad (2)$$

Для 2023 года формула 3:

$$N_{\text{ср2023}} = 54 / 12 = 4,5 \quad (3)$$

Для 2024 года формула 4:

$$N_{\text{ср2024}} = 85 / 12 \approx 7,08 \quad (4)$$

Для 2025 года (по имеющимся данным за 2 месяца) формула 5:

$$N_{\text{ср2025}} = 24 / 2 = 12 \quad (5)$$

Процентное изменение количества нарушений по годам рассчитывается по формуле 6:

$$\Delta N = (N_{\text{текущий}} - N_{\text{предыдущий}}) / N_{\text{предыдущий}} \times 100\% \quad (6)$$

Для 2023 года относительно 2022 года формула 7:

$$\Delta N_{2023} = (54 - 62) / 62 \times 100\% = -12,9\% \quad (7)$$

Для 2024 года относительно 2023 года формула 8:

$$\Delta N_{2024} = (85 - 54) / 54 \times 100\% = 57,4\% \quad (8)$$

Соотношение числа выявленных нарушений к количеству проверок прокуратуры в 2024 году составило по формуле 9:

$$K_{нар2024} = 85 / 15 \approx 5,67 \quad (9)$$

Поскольку данные за 2025 год охватывают только два месяца, предположим, что темпы выявления нарушений сохранятся на протяжении всего года. Тогда можно рассчитать прогнозируемое годовое значение, умножив имеющиеся данные на шесть, и сравнить его с показателями предыдущих лет.

Также был произведен расчет соотношения количества выявленных нарушений к числу проверок прокуратуры, что дало представление об эффективности проверок. В 2024 году было проведено 15 проверок, в результате которых обнаружено 85 нарушений. Таким образом, один осмотр выявлял примерно 5,67 нарушения. Если бы информация о проверках за другие годы была доступна, можно было бы проследить динамику этой метрики и выяснить, увеличивалась или снижалась эффективность проверок.

Затем был проанализирован общий тренд изменения числа нарушений по годам. В 2022 году было зарегистрировано 62 случая правонарушений, в 2023 году их количество упало до 54, а в 2024 году произошло резкое увеличение до 85. Этот всплеск мог быть вызван различными факторами: увеличением реального числа нарушений, усилением активности прокуратуры (что привело к большему числу выявлений), либо изменениями в методике обнаружения правонарушений. Чтобы подтвердить любую из этих гипотез, потребовались бы дополнительные данные, такие как объем проверок за прошлые годы, информация о методиках выявления нарушений и внешние условия, способные повлиять на ситуацию.

Кроме того, был выполнен расчет процентного изменения количества выявленных нарушений по годам. В 2023 году число нарушений сократилось

на 12,9% по сравнению с 2022 годом, тогда как в 2024 году произошел заметный рост — на 57,4% по отношению к предыдущему году. Такой резкий подъем мог быть как результатом действительного увеличения числа нарушений, так и следствием активизации усилий прокуратуры.

Также был рассмотрен показатель выявленных нарушений за первые два месяца 2025 года. За этот период было зарегистрировано 24 случая, что в пересчете на полный год при условии сохранения текущих темпов составило бы прогнозируемое по формуле 10:

$$N_{2025} = 24 / 2 \times 12 = 144 \quad (10)$$

Этот прогноз указывал бы на дальнейшее увеличение числа выявленных нарушений, хотя без данных о количестве проверок за 2025 год невозможно было точно сказать, связано ли это с усилением контроля или с фактическим ростом числа правонарушений.

Затем данные были классифицированы, и проблемные зоны были разделены на несколько категорий: нарушения, зарегистрированные ГАТИ — участки, по которым есть официальные данные о правонарушениях; обращения в прокуратуру — случаи, по которым поступили жалобы, но факт нарушения еще не подтвержден; пересечения данных — участки, по которым есть как обращения в прокуратуру, так и зафиксированные нарушения со стороны ГАТИ. Эти случаи требовали первоочередного внимания, так как вероятность реального нарушения здесь была наивысшей.

После классификации была произведена оценка степени подтверждения каждой проблемы. Если информация об участке содержалась в нескольких источниках (например, она фигурировала как в обращениях, так и в предписаниях ГАТИ), это повышало его значимость и указывало на необходимость дополнительного анализа.

Все собранные сведения были занесены в Excel-файл для систематизированного хранения и дальнейшего анализа. Таблица могла включать такие столбцы, как: адрес или координаты участка, источник информации (ГАТИ, прокуратура, оба), тип нарушения, статус

(подтверждено/не подтверждено/на рассмотрении), дата поступления информации.

После заполнения таблицы данные переносились в слои ГИС, что позволяло визуализировать проблемные участки на карте и выявить их географические закономерности. Это помогло определить районы с наибольшим числом нарушений и предпринять соответствующие меры.

Результатом этого этапа стала не только база данных проблемных зон, но и их пространственное отображение, что облегчило последующий анализ и принятие решений.

Аварийность на теплосетях серьезно отражается на функционировании систем теплоснабжения и качестве жизни людей, поэтому крайне важно уделять пристальное внимание состоянию инженерной инфраструктуры. Регулярный аудит, диагностика и анализ состояния трубопроводов, наряду с разработкой программ модернизации и профилактического обслуживания, помогут обнаружить и устранить потенциальные риски до их превращения в масштабные аварии.

В рамках настоящего исследования был проведён анализ теплосетей по трём диапазонам данных в городе Санкт-Петербурге:

1) Дизельный проезд от ул. Марии Кошкиной до улицы Георгия Чернышева,

2) Московский пр. - Авиационная ул.- ул. Ленсовета - ул. Типанова (Московская площадь),

3) пересечение Полтавской улицы и Невского проспекта по пересечению Полтавской улицы с проспектом Бакунина, пересечения проспекта Бакунина и Херсонской улицы и по Исполкомскую улицу.

Внедрение современных технологий мониторинга значительно улучшат надежность систем теплоснабжения, позволяя оперативно реагировать на возникающие проблемы. Финансирование и инвестиции в обновление теплосетей также играют решающую роль, ведь недостаток средств может существенно затормозить процессы модернизации и профилактики.

Разработка резервных схем и планов на случай аварий сократит возможные негативные последствия, обеспечивая стабильное снабжение теплом потребителей.

Анализ выявленных нарушений в работе инженерных сетей не только зафиксировал количественные изменения, но и предоставил более глубокое понимание их природы. В исследовании отмечено снижение числа зарегистрированных нарушений в 2023 году на 12,9% по сравнению с 2022 годом, однако в 2024 году ситуация изменилась, и количество нарушений выросло на 57,4%. Прогноз на 2025 год, составленный на основе данных за два месяца, показывает возможное продолжение роста числа нарушений, что может быть обусловлено как усилением контроля, так и реальным ухудшением состояния сетей.

Кроме того, была выполнена классификация данных, разделившая выявленные нарушения на категории: зафиксированные официальными органами (ГАТИ), обращения граждан в прокуратуру и случаи совпадений данных, требующие первоочередного внимания. Такой подход не только упорядочил информацию, но и помог выявить участки с высокой вероятностью нарушений.

Применение табличных инструментов (Excel) и геоинформационных систем (ГИС) для визуализации данных не только упростило их обработку, но и позволило обнаружить пространственные закономерности. Это способствовало определению районов с наибольшим количеством нарушений, что имеет важное значение для разработки мер по их устранению.

Таким образом, выполненная работа существенно помогла в понимании текущей ситуации с эксплуатацией инженерных сетей и выявлением нарушений. Созданная база данных и её пространственный анализ могут использоваться для дальнейшего мониторинга и принятия управленческих решений, направленных на улучшение состояния городской инфраструктуры.

4 ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Актуальность внедрения современного метода управления системами инженерных коммуникаций в Санкт-Петербурге обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов, требующих незамедлительного решения. В условиях мегаполиса с развитой, но значительно изношенной инфраструктурой наблюдается ряд системных проблем: более 60% тепловых сетей города эксплуатируются свыше нормативного срока в 25-30 лет, до 40% водопроводных и канализационных сетей требуют срочной замены, а ежегодные потери в распределительных сетях достигают 15-20%.

За последние пять лет количество аварий на инженерных сетях увеличилось на 35%. Существующие системы управления демонстрируют свою неэффективность, проявляющуюся в отсутствии единой цифровой платформы мониторинга, аварийном характере обслуживания и разрозненности данных между обслуживающими и эксплуатирующими организациями.

4.1 Анализ препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург, подобно другим крупным городам, располагает устаревшими инженерными сетями, нуждающимися в больших инвестициях для обновления. Применение современных технологий предполагает необходимость сопряжения с действующей инфраструктурой [1,2].

Особое препятствие представляет отсутствие единых норм регулирования инженерных сетей, осложняющее внедрение инновационных решений ввиду разнообразия существующих коммуникационных структур и их несхожести между собой [3,4].

Внедрение современных методов управления требует значительных финансовых вложений, это может повлечет дополнительную нагрузку на городской бюджет [5].

Управление инженерными сетями распределено среди множества муниципальных и частных компаний, что усложняет согласование усилий и препятствует эффективному применению инноваций [6].

Важным препятствием выступает обязательное соблюдение требований российского Градостроительного кодекса № 190-ФЗ, согласно которому любые изменения в инженерной инфраструктуре предполагают внесение соответствующих изменений в проектную градостроительную документацию [7,8].

Значительным ограничением выступают действующие технические нормы и стандарты проектирования, такие как СП 31.13330.2012 и СП 42.13330.2011, определяющие правила строительства водопровода, канализации, отопления и энергоснабжения. Данные регламенты обновляются медленно и зачастую не содержат предписаний относительно внедрения цифровых инструментов вроде умных датчиков, онлайн-мониторинга и автоматизации процессов [9,10].

Ещё одной сложностью становится применение Федерального закона № 44-ФЗ о государственных закупках, накладывающего жёсткие условия на процедуры приобретения оборудования. Согласно этому закону, допустимо применять лишь официально сертифицированные технологии, что существенно замедляет адаптацию новаторских решений, пока не прошедших сертификацию. Более того, требование проведения конкурсов также удлиняет процесс принятия решений и уменьшает оперативность выбора поставщиков услуг [11,12].

Таким образом, наиболее серьезными препятствиями по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга являются законодательные.

4.2 План устранения препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в городской среде на примере Санкт-Петербурга

Составим план устранения выявленных препятствий по внедрению метода управления системами инженерных коммуникаций в Санкт-Петербурге.

Первое, необходимо актуализировать действующие технические нормы и стандарты проектирования, такие как СП 31.13330.2012 и СП 42.133330.2011, с учетом современных технологий.

Второе, требуется совершенствование законодательства, регулирующего государственные закупки (Федеральный закон № 44-ФЗ). Необходимо предусмотреть механизмы ускоренной сертификации инновационных технологий и оборудования, а также возможность использования пилотных проектов с введением упрощенных процедур для малого объема закупок, а именно до 10 млн рублей.

Третье, создать единую систему регулирования инженерных сетей, которая объединит требования к различным коммуникационным структурам. Это позволит стандартизировать процессы и упростить внедрение инноваций.

Четвёртое, увеличение финансирования модернизации теплосетей и других инженерных систем за счет привлечения частных инвестиций, предоставление налоговых льгот компаниям, участвующим в обновлении сетей.

Пятое, создать единую информационную платформу, которая будет объединять данные от муниципальных и частных компаний. Использование ГИС-технологий для визуализации проблемных участков и анализа данных позволит эффективнее распределять ресурсы и принимать решения.

Анализ показал, что ключевыми проблемами являются: критический износ инфраструктуры (свыше 60% тепловых сетей эксплуатируются более 30 лет), раздробленность управления между различными организациями, устаревшая нормативная база (СП 31.13330.2012, СП 42.133330.2011),

жесткие требования законодательства о госзакупках (44-ФЗ) и недостаточное финансирование модернизации.

Реализация предложенного нами плана позволит преодолеть основные препятствия и создать условия для успешного внедрения метода управления системами инженерных коммуникаций в городе Санкт-Петербург.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аварийность на теплосетях представляет серьезную угрозу для функционирования систем теплоснабжения и качества жизни населения, что подчеркивает необходимость пристального внимания к состоянию инженерной инфраструктуры. Регулярный аудит, диагностика и анализ состояния трубопроводов, а также разработка программ модернизации и профилактического обслуживания являются ключевыми мерами для выявления и устранения потенциальных рисков до их эскалации в масштабные аварии.

В рамках исследования был проведен анализ теплосетей в трех диапазонах данных Санкт-Петербурга, выявив как количественные изменения, так и глубокие закономерности в природе нарушений. Несмотря на снижение числа зарегистрированных нарушений в 2023 году на 12,9% по сравнению с 2022 годом, ситуация в 2024 году ухудшилась: количество нарушений выросло на 57,4%, а прогноз на 2025 год указывает на возможное продолжение этой тенденции. Это может быть связано как с усилением контроля, так и с реальным износом сетей.

Классификация данных позволила разделить выявленные нарушения на категории, требующие первоочередного внимания, и определить участки с высокой вероятностью проблем. Применение современных технологий мониторинга, таких как ГИС и табличные инструменты, значительно упростило обработку данных и помогло обнаружить пространственные закономерности, что имеет важное значение для разработки мер по устранению нарушений.

Однако анализ показал, что внедрение современных методов управления инженерными коммуникациями в Санкт-Петербурге сталкивается с рядом препятствий, включая критический износ инфраструктуры (более 60% тепловых сетей эксплуатируются свыше 30 лет), раздробленность управления между организациями, устаревшую нормативную базу, жесткие требования

законодательства о госзакупках и недостаточное финансирование модернизации.

Для решения этих проблем предложен пятиэтапный план, включающий актуализацию технических стандартов с учетом цифровых технологий, совершенствование законодательства о закупках для упрощения процедур реализации инновационных проектов, создание единой системы регулирования инженерных сетей, привлечение частных инвестиций через налоговые льготы и разработку единой информационной платформы на основе ГИС-технологий.

Выполненное исследование и полученные результаты соответствуют направлению подготовки 07.04.04 «Градостроительство».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов, Н.С. Инженерное оборудование крупных городов / Н.С. Абрамов. - М.: Стройиздат, 2020. - 352 с.
2. Александров, А.В. Инженерные сети и сооружения городов и промышленных районов / А.В. Александров, А.П. Фомин. - СПб.: Изд-во ПГУПС, 2019. - 432 с.
3. Баранов, В.Д. Городские инженерные сети: проектирование, строительство, эксплуатация / В.Д. Баранов [и др.]. - М.: АСВ, 2018. - 544 с.
4. Васильев, А.А. Моделирование функционирования инженерных сетей городской территории / А.А. Васильев, Е.В. Зайцева // Вестник МГСУ. - 2021. - № 2. - С. 105-112.
5. Виноградов, В.Н. Инженерное обеспечение городских территорий / В.Н. Виноградов, С.И. Демьянов. - М.: Academia, 2022. - 288 с.
6. Гинзбург, А.С. Инженерные системы и оборудование городов / А.С. Гинзбург, С.А. Грабовский. - М.: Стройиздат, 2020. - 400 с.
7. Городское хозяйство Санкт-Петербурга: состояние и перспективы развития. Материалы научно-практической конференции / Под ред. А.С. Черняева. - СПб.: СПбГАСУ, 2021. - 512 с.
8. Ермолаев, В.В. Управление развитием систем инженерной инфраструктуры городов / В.В. Ермолаев. - М.: Изд-во АСВ, 2019. - 320 с.
9. Инженерные сети и сооружения городов: опыт проектирования, строительства и эксплуатации в Санкт-Петербурге. Сборник статей / Под ред. А.В. Колобова. - СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2020. - 384 с.
10. Информационные технологии в управлении городским хозяйством. Материалы международной научно-практической конференции / Под ред. В.А. Кудрявцева. - СПб.: СПбПУ, 2022. - 448 с.
11. Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления: Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 121 с.

12. Геоинформационные системы в дорожном строительстве: курс лекций для студентов строительных специальностей 270205 / сост. В.А. Шнайдер. – Омск: СибАДИ, 2021. – 81 с.

13. Грабовый П.Г. Основы организации и управления жилищно-коммунальным комплексом / П.Г. Грабовый // Учебно-практическое пособие. - М.: Изд-во «АСВ», 2022 г.

14. Еремченко Е. Новый подход к созданию ГИС для небольших муниципальных образований/ Е. Еремченко. - ArcReview, 2023. - № 2 (32).

15. Григорьев С.К., Устинов Д.В. Геоинформатика в градостроительстве: Учебное пособие – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2021. – 78 с.

16. Ларионов Е.Б. Методология анализа пространственных данных: Учебное пособие – Уфа: БашГУ, 2020. – 87 с.

17. Пушкарь А.А. Применение ГИС в водоснабжении: Курс лекций для специалистов – Челябинск: ЧГСХА, 2021. – 66 с.

18. Тихонов М.С., Смирнова А.К. Информационные технологии в управлении территорией: Учебное пособие – Тверь: Тверской гос. университет, 2023. – 130 с.

19. Яковлев Ф.Г. Геоинформационные системы для анализа городских экосистем: Монография – Калуга: КГУ, 2023. – 115 с.

20. Богданов А.П., Кузнецов Д.И. Геоинформационные системы в планировании и управлении территорией: Учебник – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2021. – 140 с.

21. Захаров П.А., Фокин А.В. Геоинформационные системы в картографии: Учебник – Москва: МИИГАиК, 2021. – 135 с.

22. Казаков М.А., Семенов С.В. Геоинформационные системы в геодезии и кадастре: Учебное пособие – Новосибирск: НГУ, 2022. – 125 с.

23. Громов П.Л., Долгушев И.А. Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления инженерными сетями в городах // Городские исследования. — 2021. — № 3. — С. 34–42.

24. Прохоров М.С., Белоусов Р.Ю. Устойчивое развитие городской инфраструктуры: вызовы и решения // Транспорт и город. — 2021. — № 2. — С. 56–65.

25. Филатов А.Г. Информационные технологии в управлении городскими инженерными системами // Журнал информационных технологий. — 2019. — № 1. — С. 23–29.

26. Рыбакова Н.М., Черкасов А.В. Умный город: современные технологии мониторинга инженерных сетей // Управление городским развитием. — 2022. — № 3. — С. 45–52.

27. Яковлева Т.Н. Разработка мобильных приложений для управления городской инфраструктурой // Журнал цифровых технологий. — 2020. — № 1. — С. 30–36.

28. Костина Е.В., Нестеров С.А. Интеллектуальные системы управления для мониторинга инженерных сетей // Научные труды университета. — 2021. — № 2. — С. 77–84.

29. Кудрявцева А.И. Анализ аварийности в городской инфраструктуре: причины и следствия // Журнал городского хозяйства. — 2021. — № 2. — С. 18–27.

30. Нестеренко В.П., Фомичев К.В. Инновационные подходы к модернизации городских инженерных сетей // Городская экономика. — 2019. — № 4. — С. 66–74.

31. Славина О.И., Лебедев Ю.С. Устойчивое управление ресурсами в городах: применение цифровых технологий // Экономика и управление. — 2020. — № 1. — С. 24–33.

32. Михайлов А.Н. Роль ГИС в управлении городскими инженерными сетями // Современные технологии и управление. — 2018. — № 2. — С. 12–19.

33. Тихомирова С.Д. Профилактика и ликвидация аварий в городской инфраструктуре // Вестник инженерных наук. — 2021. — № 3. — С. 50–58.

34. Станкевич В.А. Управление качеством коммунальных услуг в городах // Журнал социальной политики. — 2021. — № 1. — С. 21–29.

35. Кузьмин П.Ф., Жукова Т.Е. Инженерные коммуникации: проблемы и пути их решения // Городская среда. — 2020. — № 3. — С. 11–19.
36. Филимонов А.Р. Актуальные вопросы разработки стратегий устойчивого городского развития // Журнал экологических исследований. — 2021. — № 2. — С. 55–63.
37. Овчинников Д.В. Проблемы и перспективы цифровизации городской инфраструктуры // Научные исследования и разработки. — 2020. — № 2. — С. 43–50.
38. Самсонова Л.М. Применение IoT в управлении городскими коммунальными системами // Технологии и инновации. — 2022. — № 1. — С. 34–42.
39. Багров А.И., Ковалевская Н.С. Технологические решения для модернизации городской инфраструктуры // Журнал городских исследований. — 2021. — № 1. — С. 14–23.