

Научная статья
УДК 332.87; 338.465
doi: 10.17586/2713-1874-2024-2-15-23

ПРОАКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ В СФЕРЕ ЖКХ КАК ТРЕНД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Анастасия Алексеевна Ефимова^{1✉}, Елена Сергеевна Гаврилюк²

^{1,2}Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹lissmirr@mail.ru✉

²gavrilyukes@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3869-1578>

Язык статьи – русский

Аннотация: Работа посвящена исследованию перспектив внедрения в сферу жилищно-коммунального хозяйства проактивных методов обслуживания, опирающихся на современные алгоритмы машинного обучения. На основании обзора современных научных исследований по теме, анализа существующих решений для предотвращения аварий и снижения затрат при эксплуатации жилищного фонда, а также успешных примеров внедрения технологий машинного обучения на практике, были выделены возможности применения технологий в прогнозировании и предотвращении неисправностей, основные риски при внедрении искусственного интеллекта в ЖКХ. В статье рассматривается роль алгоритмов машинного обучения в оптимизации процессов обслуживания и управлении ресурсами за счет внедрения инновационных подходов для создания более эффективной и устойчивой жилищно-коммунальной инфраструктуры. Результаты исследования вносят вклад в понимание перспектив развития сферы жилищно-коммунального хозяйства, подчеркивая, как технологии машинного обучения могут повысить эффективность управления жилищным фондом, способствовать своевременному предотвращению аварий и повысить уровень жизни граждан. Данный материал будет актуален для руководителей управляющих компаний и исследователей, интересующихся внедрением инновационных подходов в управление жилищно-коммунальной инфраструктурой.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, инновации, машинное обучение, предиктивное техническое обслуживание

Ссылка для цитирования: Ефимова А. А., Гаврилюк Е. С. Проактивное обслуживание в сфере ЖКХ как тренд технологического развития // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 2. С. 15–23. <https://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2024-2-15-23>.

PROACTIVE SERVICE IN THE HOUSING AND UTILITIES SECTOR AS A TREND OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

Anastasia A. Efimova^{1✉}, Elena S. Gavrilyuk²

^{1,2}ITMO University, St. Petersburg, Russia

¹lissmirr@mail.ru✉

²gavrilyukes@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3869-1578>

Article in Russian

Abstract: This research is dedicated to exploring the prospects of implementing proactive maintenance methods in the housing and communal services sector, relying on modern machine learning algorithms. Based on a review of contemporary scientific research on the topic, an analysis of existing solutions to prevent emergencies and reduce costs in the operation of residential properties, as well as successful examples of implementing machine learning technologies in practice, opportunities for applying these technologies in predicting and preventing malfunctions have been identified. The main risks associated with the introduction of artificial intelligence in housing and communal services were also examined. This article delves into the role of machine learning algorithms in optimizing service processes and resource management, through the adoption of innovative approaches to create a more efficient and sustainable housing and communal infrastructure. It represents a significant contribution to understanding the development prospects of the housing and communal services sector, highlighting how machine learning technologies can enhance the efficiency of housing management, contribute to timely accident prevention, and improve citizens' quality of life. This material will be relevant for executives of managing companies and researchers interested in the implementation of innovative approaches in managing housing and communal infrastructure.

Keywords: machine learning, innovations, housing and communal services, predictive maintenance

For citation: Efimova A. A., Gavriluk E. S. Proactive Service in the Housing and Utilities Sector as a Trend of Technological Development. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2024. No. 2. pp. 15–23. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2024-2-15-23>.

Введение. Сфера жилищно-коммунального хозяйства в условиях цифровизации строительной отрасли и роста технологического прогресса претерпевает значительные изменения и оказывается под влиянием инноваций, направленных на улучшение качества жизни граждан и повышения эффективности эксплуатации и ремонта жилого фонда.

Стратегия цифровой трансформации отрасли строительства и ЖКХ, утвержденная Правительством РФ до 2030 года, разработана для обеспечения достижения национальных целей и стратегических задач развития

Российской Федерации, в числе которых создание комфортной и безопасной среды для жизни граждан, а также повышение показателей уровня цифровой зрелости Российских компаний [1].

Краткий статистический сборник «Цифровая экономика: 2024» [2] предоставляет данные о динамике изменений основных показателей, характеризующих валовые внутренние затраты на развитие цифровых технологий, вовлеченность населения и бизнеса в процессы цифровизации и деятельность организаций сектора ИКТ.



Рисунок 1 – Затраты на развитие цифровой экономики (млрд руб.)

Источник: составлено авторами на основе [3]

Наблюдается рост затрат на развитие цифровой экономики в РФ [3] (рисунок 1), а также рост количества организаций, использующих цифровые технологии (рисунок 2). Технологии искусственного интеллекта в 2020 году использовали 5,4% организаций, в 2021 году – 5,7%, а в 2022 году – 6,6% от общего числа организаций.

Технологии сбора, обработки и анализа больших данных также становятся более

популярными с каждым годом, и не только высокотехнологичный бизнес, но и государственные компании стремятся к цифровизации. Эти данные свидетельствуют о заинтересованности государства в развитии цифровых технологий, а также об актуальности внедрения алгоритмов машинного обучения в процесс создания и предоставления услуг в различных отраслях экономики.

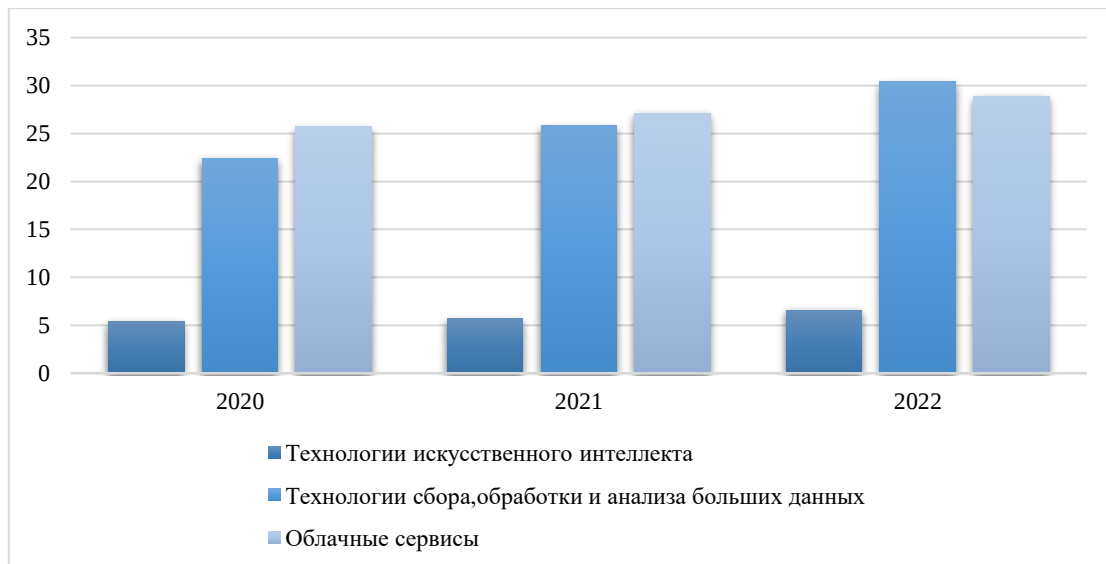


Рисунок 2 – Использование цифровых технологий в организациях (в процентах от общего числа организаций)

Источник: составлено авторами на основе [2]

На основании рейтинга GovTech Maturity Index 2022 [4], Россия вошла в ТОП-10 стран по показателю индекса зрелости GTMI, равному 0,897 баллов. Позиция, сформированная на основании четырех субиндексов в группе с А-рейтингом, позволяет расширить возможности для продвижения отечественных IT-решений и цифровых продуктов в регионы с менее развитыми технологиями и является отражением организационных и технических изменений в сфере цифровизации РФ в положительную сторону и направленности государственных программ на цифровую трансформацию.

Обзор литературы. В настоящее время вопрос трансформационных процессов экономической сферы, а также изучение цифровой трансформации сферы жилищно-коммунального хозяйства является актуальным для многих исследователей и ученых. О. А. Родин и Т. В. Кленова выделяют применение нейросетевых технологий в стратегическом планировании городского хозяйства как перспективное направление развития сферы. Несмотря на существующие риски управления при внедрении данной технологии, авторы отмечают возможность внедрения нейросетевых алгоритмов для прогнозирования спроса на ресурсы, управления транспортными потоками и оптимизации процесса аналитики данных о расходах по различным видам услуг [5].

Проблемы и современные тенденции цифровизации сферы ЖКХ рассматривает Р. Х. Мутолапов [6]. Автор обращает внимание на необходимость внедрения цифровых технологий в способы управления городской средой и жилищно-коммунальной инфраструктурой, а также выделяет направления компонентного использования искусственного интеллекта в IT-решениях для сферы ЖКХ. Прогнозный анализ, как компонент искусственного интеллекта (ИИ) обеспечивает возможность планирования проведения работ по обслуживанию и текущему и капитальному ремонту многоквартирных домов, позволяет осуществлять планирование минимальных, оптимальных и максимальных нагрузок на коммунальные сети, а также моделировать возможность возникновения внештатных и аварийных ситуаций.

Концепцию «умных городов» и внедрения «умных датчиков» для сбора информации об актуальном состоянии МКД в своих исследованиях рассматривали Zaib Ullah и Joud Al Dakheel [7, 8]. Внедрение ИИ и машинного обучения, по мнению авторов, является основой для эффективного использования ресурсов и создания безопасной среды для граждан.

Целью настоящего исследования является оценка эффективности и потенциала внедрения проактивных методов обслуживания, основанных на алгоритмах машинного

обучения, с целью предотвращения аварийных ситуаций и снижения затрат в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Методика исследования, направленная на выявление конкретных возможностей применения алгоритмов машинного обучения для улучшения проактивного обслуживания в жилищно-коммунальном хозяйстве, с учетом как технических, так и экономических аспектов внедрения, включает в себя:

1) Анализ современных тенденций в области проактивного обслуживания и цифровой трансформации сферы жилищно-коммунального хозяйства.

2) Оценку роли алгоритмов машинного обучения в предотвращении аварийных ситуаций в МКД и снижения затрат на управление и эксплуатацию.

3) Анализ эффектов внедрения алгоритмов машинного обучения.

4) Анализ зарубежного опыта внедрения ИИ в сферу жилищно-коммунального хозяйства.

Основная часть.

Жилищное хозяйство и инженерная инфраструктура: направления применения ИИ в России. На основании данных о техническом состоянии МКД, размещенных в ГИС ЖКХ, *средний процент износа* домов, введенных в эксплуатацию в 1950–2000 гг., варьируется от 26,18% до 57,34% от числа МКД, информация о которых размещена в системе [9]. Высокий процент износа многоквартирных домов свидетельствует о необходимости своевременного проведения технического обслуживания и ремонта. Инженерные сети и строительные конструкции в ветхом и аварийном жилье могут находиться в состоянии, угрожающем жизни и здоровью граждан. Обеспечение комфортной и безопасной среды проживания возможно при условии своевременного выявления и предотвращения возможных аварийных ситуаций.

Машинное обучение и прогнозный анализ применяются в различных сегментах жилищно-коммунальной сферы, но для предотвращения аварийных ситуаций стоит отметить внедрение ИИ при ремонте и обслуживании МКД и инженерных сетей, построении моделей жилых объектов и планировании ремонта и технического обслуживания.

Типовым сценарием применения ИИ для предотвращения аварийных ситуаций является прогнозирование и раннее обнаружение неисправностей во избежание внепланового отказа оборудования/системы.

Аналитический обзор «Тренды развития искусственного интеллекта в сфере ЖКХ» выделяет среди основных предпосылок для развития ИИ в жилищно-коммунальной сфере реализацию концепции «Умный город», стратегическую направленность городов на энергоэффективность и ресурсосбережение, реализацию проекта «Зеленый город», развитие распределительной энергетики и децентрализованных систем снабжения, а также персонализацию и повышение качества предоставляемых гражданам услуг [9].

Стратегии внедрения машинного обучения в предиктивное техническое обслуживание. Существует несколько стратегий внедрения машинного обучения в предиктивное техническое обслуживание, и основой для построения моделей является достаточный объем исторических данных, позволяющий собрать необходимое количество информации о событиях, приводящих к неисправности той или иной инженерной сети [10].

1) Регрессионная модель прогнозирования остаточного срока эксплуатации предполагает ответ на вопрос: «Сколько дней/жизненных циклов объекта остается до отказа системы?». К основным требованиям и допущениям корректной работы данной модели стоит отнести:

- доступность маркированных данных и измерений, выполненных в различные моменты срока службы оборудования/системы;
- набор статистических характеристик системы, исторических данных и данных о ее текущем состоянии;
- плавный характер деградации и износа системы.

Основным недостатком регрессионной модели прогнозирования является предварительное наблюдение за объектом с монотонными и малыми изменениями во времени для накопления временного ряда, что при условии нахождения объекта в аварийном состоянии может не оказать положительного влияния на предотвращение неисправностей.

2) Модель классификации для прогнозирования отказа в рамках установленного

временного окна предполагает набор данных, необходимых для регрессионной модели, но при этом отвечает на вопрос: «Выйдет ли оборудование/система из строя в N-следующих сутках/циклов?». Модель классификации подходит для систем, плавность деградации которых может быть высокой, так как она помогает определить не точное время отказа оборудования/системы, а вероятность на временном промежутке.

3) Маркировка аномального поведения основывается на наборе статистических и исторических данных, среди которых наблюдается или слишком малое количество отказов оборудования, или большое количество различных типов отказов. Несмотря на то, что модель позволяет определить, являются ли отображаемые данные нормальными, оценка данных не предполагает выявление временного промежутка, на котором произойдет полный отказ системы, а также может выделять аномалии, не приводящие к отказу оборудования/системы.

Выбор стратегии внедрения машинного обучения в предиктивное обслуживание зависит от первоначального набора данных, имеющейся технической возможности долгосрочных наблюдений, а также от постановки вопроса и задач.

Проактивное управление. Переход к проактивному управлению жизненным циклом инженерных систем многоквартирных домов обусловлен цифровой трансформацией жилищно-коммунальной сферы, а также стремлению управляющих компаний к оптимизации процессов, снижению количества возникающих аварийных ситуаций, а также к снижению затрат на содержание и эксплуатацию жилищного фонда.

Проактивное управление предполагает многоэтапный многофункциональный процесс, направленный на своевременное выявление неисправностей, оперативное реагирование и стремление к предотвращению возникновения аварийных ситуаций в будущем [11].

Проактивная стратегия технического обслуживания и ремонта (ТОиР) основывается на анализе данных о техническом состоянии элементов системы и выявлении негативной динамики в работоспособности деталей/узлов/механизмов оборудования. В общем виде проактивная стратегия, базирующаяся на оценке технического состояния оборудования, может быть представлена в форме выполнения следующего алгоритма (рисунок 3).

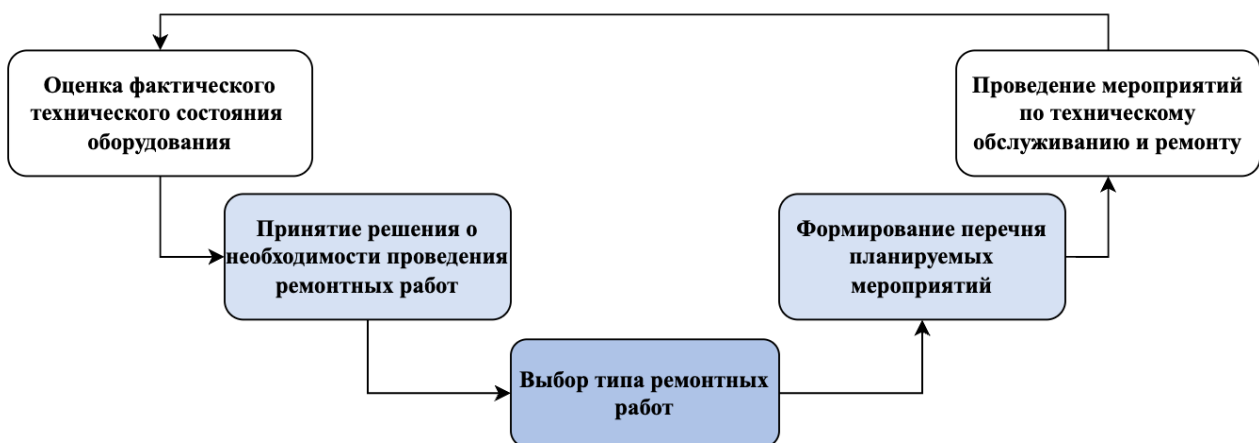


Рисунок 3 – Проактивная стратегия ТОиР оборудования

Источник: составлено авторами на основе [11]

Этап оценки фактического технического состояния оборудования может быть основан на прогнозирующем техническом обслуживании, предполагающем контроль работоспо-

собности с помощью датчиков и аналитике полученных данных с помощью одной из стратегий машинного обучения для предиктивного обслуживания (рисунок 4).

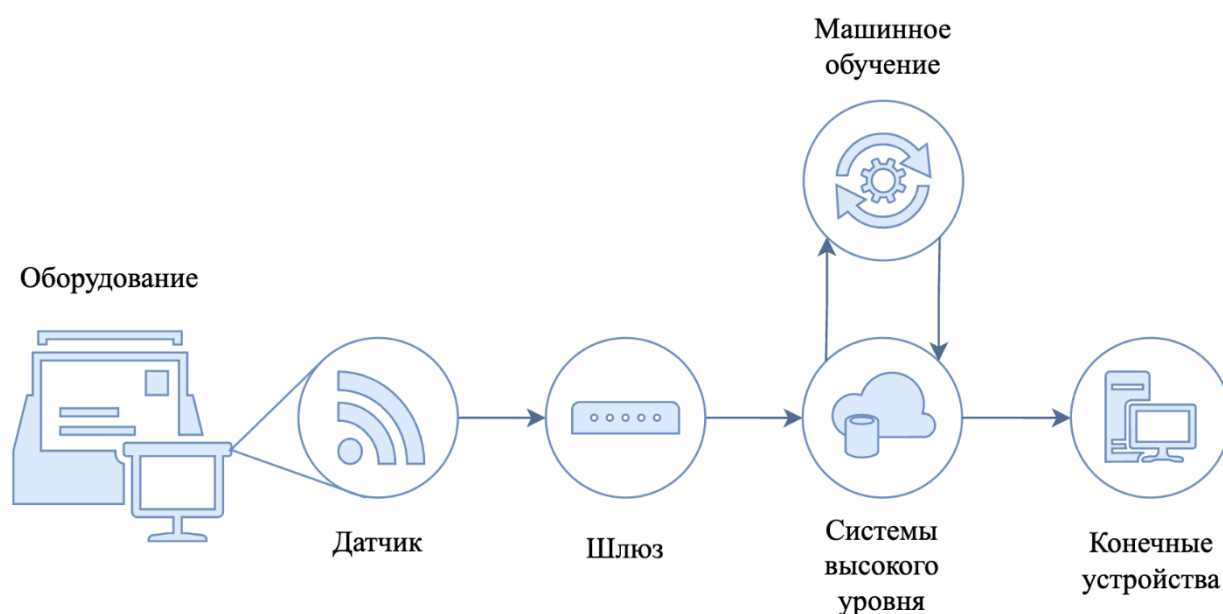


Рисунок 4 – Предиктивное техническое обслуживание, основанное на машинном обучении.

Источник: составлено авторами на основе [5]

Эффекты от внедрения алгоритмов машинного обучения. В настоящее время внедрение ИИ в жилищно-коммунальную сферу актуально не только для управляющих компаний для снижения операционных расходов организаций, но и является одной из частей развития сферы искусственного интеллекта в России в рамках реализации проекта национального проекта «Цифровая экономика». Эффект от внедрения ИИ в ЖКХ можно оценить на основании анализа существующих кейсов применения ИИ в ЖКХ.

Для оптимизации процесса управления городским хозяйством и повышения точности прогнозирования неисправностей инженерных систем применяются цифровые двойники. Система «Цифровой водоканал» российской компании «Русатом Инфраструктурные решения» позволяет обнаружить аварии в одной из наиболее уязвимых систем – системе тепло- и водоснабжения. По данным РБК [12] применение системы «Цифровой водоканал» позволило снизить потери воды на 11%, затраты на ремонтные работы – на 5%, а также сокращение энергопотребления – на 20%.

Внедрение виртуальных операторов и голосовых помощников позволяет снизить стоимость звонков в 2 раза. Эксперты Just AI [13] рассчитали влияние внедрения роботов в

процесс коммуникации между управляющими компаниями, жильцами и ресурсоснабжающими организациями, и сделали вывод о том, что при равнозначном уровне эффективности оператора колл-центра (КЦ) и робота, затраты на КЦ снизились на 40–50%.

За счет возможности с высокой скоростью анализировать большие данные и проводить прогнозный анализ, такие процессы, как выявление зон наибольших потерь, мониторинг и анализ режимов работы оборудования/системы, контроль потребления ресурсов, оценка необходимости проведения ТОиР, автоматизированный сбор, учет и анализ показаний с приборов учета потребления ресурсов, могут стать еще более эффективными, точными и наименее ресурсозатратными. Сокращение сроков выявления аварийных ситуаций, сокращение времени реагирования на неисправности, сокращение количества повторных повреждений оборудования/системы – эффекты, которых можно достичь при внедрении алгоритмов машинного обучения в сферу жилищно-коммунального хозяйства.

Потенциал экономии затрат формируется благодаря проактивному характеру предиктивного ТОиР, так как прогнозирование неисправностей и возможность в повышенной точностью определить временной промежу-

ток, в котором произойдет отказ работы оборудования/системы, позволяет компаниям грамотно распределить бюджет и создать все условия для того, чтобы оборудование работало с максимальной производительностью в течение длительного времени.

Стоит отметить, что существуют определенные при внедрении нейросетевых технологий [5]. К ним относятся:

- разработка и внедрение IT-технологий в деятельность организаций требуют большого количества финансовых затрат;

- отсутствие нормативно-правовых актов, регулирующих использование нейросетевых технологий;

- хранение и обработка больших данных для предиктивного технического обслуживания может осуществляться с помощью облачных хранилищ, что может стать причиной утечки данных;

- оптимизация рабочего процесса за счет сокращения количества рабочих мест при внедрении ИИ может стать причиной социальных конфликтов.

Зарубежный опыт внедрения ИИ в сферу ЖКХ. На данный момент некоторые алгоритмы машинного обучения и ИИ уже внедряются в других странах. Городская администрация Торонто в 2019 году совместно с Университетом Ватерлоо протестировали и установили 40 комплексов интеллектуальных звукоулавливающих датчиков для предотвращения утечек воды. С помощью алгоритмов машинного обучения, метода маркировки аномального поведения, на основании полученных с гидрофонов данных об акустических колебаниях воды система фиксирует потери воды со скоростью 17 л/мин. Данные комплексы позволяют с помощью анализа изменений давления и колебания объема воды предотвратить такую аварийную ситуацию, как разрыв труб. Это положительно влияет на уровень жизни граждан, предотвращая вероятность возникновения опасных для жизни ситуаций, а также снижает экономические издержки на водоснабжение.

Дочерняя компания Sun Hung Kai Properties, компания Hong Yip Service Company, с помощью программно-аппаратного комплекса предоставляет комплекс решений для управления более 1600 зданий. Датчики температуры и влажности в совокупности с

технологией NB-IoT (Leveraging Softward.IO's Edge Lite) позволяют производить мониторинг протечек воды и герметичности дверей на крышах домов. Основным преимуществом решения является автоматическое оповещение аварийных бригад об утечках воды и тепла в зданиях. Своевременное оповещение специальных служб о неисправности является одной из составляющих проактивного обслуживания жилищного фонда.

Выводы. На основании анализа современных тенденций в области проактивного обслуживания и цифровой трансформации сферы жилищно-коммунального хозяйства, оценки роли алгоритмов машинного обучения в предотвращении аварийных ситуаций в МКД и снижения затрат на управление и эксплуатацию, а также выделения эффектов от внедрения алгоритмов машинного обучения, был сделан вывод о том, что алгоритмы машинного обучения в проактивном обслуживании и предиктивном ТОиР являются важной составляющей для осуществления качественного обслуживания, увеличения срока эксплуатации жилищного фонда и инженерных сетей, а также для снижения затрат на эксплуатацию и ремонт. Искусственный интеллект позволяет точнее и быстрее прогнозировать вероятность возникновения неисправностей, что обеспечивает возможность быстрого реагирования компаний на аварийные ситуации и способствует обеспечению комфортной и безопасной среды проживания граждан. Применение алгоритмов машинного обучения способствует повышению надежности инфраструктуры и улучшению качества предоставляемых услуг.

Внедрение инновационных методов обслуживания с использованием современных технологий обеспечивает не только повышение эффективности работы инфраструктуры, но и повышение устойчивости к возможным непредвиденным ситуациям. Внедрение проактивного обслуживания требует решения вопросов необходимости стандартизации, обеспечения безопасности данных и разработки стратегических планов внедрения и развития технологий проактивного обслуживания.

Заключение. Проактивное обслуживание в сфере ЖКХ как один из трендов технологического развития является перспективным направлением для дальнейших

исследований. Разработка стандартов и методов управления качеством данных для обеспечения точности и достоверности информации, используемой для прогнозирования и принятия решений, анализ современных тенденций в области цифровой трансформации ЖКХ и актуального состояния жилищной сферы, дополнительные исследования в области воздействия на граждан проактивного

управления в сфере ЖКХ, позволят проанализировать влияние данного подхода к управлению на качество жизни и удовлетворенность предоставляемыми услугами, оценить экономическую эффективность внедрения инноваций и эффекты в долгосрочной перспективе, а также выделить дополнительные направления для устойчивого развития сферы жилищно-коммунального хозяйства.

Список источников

1. Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.10.2022. №3268-р // СПС «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/
2. Цифровая экономика: 2024: краткий статистический сборник / В. Л. Абашкин, Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др. // НИУ ВШЭ – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. – С. 45–61.
3. Цифровая экономика: 2023: краткий статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский и др. // НИУ ВШЭ – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2023. – С. 45–59.
4. GovTech Maturity Index (GTMI) Data Dashboard [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldbank.org/en/data/interactive/2022/10/21/govtech-maturity-index-gtmi-data-dashboard> (In Eng.).
5. Родин О. А., Кленова Т. В. Возможности и перспективы использования нейросетевых технологий в развитии городского хозяйства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 5-3 (99) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-i-perspektivy-ispolzovaniya-neyrosetevykh-tehnologiy-v-razvitii-gorodskogo-hozyaystva>
6. Мутотлапов Р. Х. Цифровизация жилищно-коммунальной сферы: современные тенденции, проблемы и мировая практика // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 40 (2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-zhilishchno-kommunalnoy-sfery-sovremennyye-tendentsii-problemy-i-mirovaya-praktika>
7. Zaib Ullah, Fadi Al-Turjman, Leonardo Mostarda, Roberto Gagliardi. Applications of Artificial Intelligence and Machine learning in Smart Cities // Computer Communications. 2020. Т. 154. С. 313–323. (In Eng.). DOI: 10.1016/j.comcom.2020.02.069.

References

1. Approval of the Development Strategy for the Construction Industry and Housing and Communal Services of the Russian Federation for the period until 2030 with a forecast until 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated October 31, 2022, No. 3268-r. SPS «KonsultantPlus». Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/ (In Russ.).
2. Abashkin V. L., Abdrakhmanova G. I., Vishnevskiy K. O., Gokhberg L. M. Digital Economy: 2024: A Brief Statistical Compilation. NIU HSE. Moscow: ISIEZ HSE. 2024. pp. 45–61. (In Russ.).
3. Abdrakhmanova G. I., Vasilkovskiy S. A., Vishnevskiy K. O. Digital Economy: 2023: A Brief Statistical Compilation. NIU HSE. Moscow: ISIEZ HSE. Moscow: HSE. 2023. pp. 45–59. (In Russ.).
4. GovTech Maturity Index (GTMI) Data Dashboard. Available at: <https://www.worldbank.org/en/data/interactive/2022/10/21/govtech-maturity-index-gtmi-data-dashboard>
5. Rodin O. A., Klenova T. V. Opportunities and Prospects of Using Neural Network Technologies in Urban Economy Development *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. 2023. No. 5-3 (99). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-i-perspektivy-ispolzovaniya-neyrosetevykh-tehnologiy-v-razvitii-gorodskogo-hozyaystva> (In Russ.).
6. Mutolapov R.Kh. Digitization of the housing and communal sector: current trends, issues, and global practices. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. 2022. No. 40 (2). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-zhilishchno-kommunalnoy-sfery-sovremennyye-tendentsii-problemy-i-mirovaya-praktika> (In Russ.).
7. Zaib Ullah, Fadi Al-Turjman, Leonardo Mostarda, Roberto Gagliardi. Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Smart Cities. *Computer Communications*. 2020. Vol. 154. pp. 313–323. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.02.069.

8. Joud Al Dakheel, Claudio Del Pero, Niccolò Aste, Fabrizio Leonforte. Smart Buildings Features and Key Performance Indicators: A review // *Sustainable Cities and Society*. 2020. Т. 61. (In Eng.). DOI: 10.1016/j.scs.2020.102328.
9. Анализ технического состояния многоквартирных домов // ГИС ЖКХ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/houses-condition/deterioration>
10. Аналитический обзор. Тренды развития искусственного интеллекта в сфере ЖКХ. Август 2020 // Агентство инноваций Москвы – городской институт развития технологического и инновационного предпринимательства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://innoagency.ru/files/AI_Uilities_AIM_August%202020.pdf
11. Салихов М. Р., Юрьева Р. А. Алгоритм прогнозирования состояния оборудования на основе машинного обучения // *Приборостроение*. 2022. № 9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-prognozirovaniya-sostoyaniya-oborudovaniya-na-osnove-mashinnogo-obucheniya>
12. Охтилев М. Ю., Охтилев П. А., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Методологические и методические основы проактивного управления жизненным циклом сложных технических объектов // *Приборостроение*. 2022. № 11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-i-metodicheskie-osnovy-proaktivnogo-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-slozhnyh-tehnicheskikh-obektov>
13. Новая коммунальная реальность: как нейросети помогают развивать ЖКХ // Росбизнесконсалтинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/02/11/2023/653fb0f39a7947d6233d7183>
14. Искусственный интеллект в ЖКХ: реальный опыт и перспективы // Just AI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://just-ai.com/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-zhkh-realnyj-opyt-i-perspektivy>
8. Joud Al Dakheel, Claudio Del Pero, Niccolò Aste, Fabrizio Leonforte. Smart Buildings Features and Key Performance Indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 61. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102328.
9. Analysis of the Technical Condition of Apartment Buildings. *GIS ZhKCh*. Available at: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/houses-condition/deterioration> (In Russ.).
10. Analytical Review. Trends in the Development of Artificial Intelligence in the Housing and Utilities Sector. August 2020. *Agentstvo innovacij Moskvyy – gorodskoj institut razvitiya tekhnologicheskogo i innovacionnogo predprinimatel'stva*. Available at: https://innoagency.ru/files/AI_Uilities_AIM_August%202020.pdf (In Russ.).
11. Salikhov M. R., Yurieva R. A. Equipment Condition Prediction Algorithm Based on Machine Learning. *Priboroostroenie*. 2022. No. 9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-prognozirovaniya-sostoyaniya-oborudovaniya-na-osnove-mashinnogo-obucheniya> (In Russ.).
12. Okhtilev M. Yu., Okhtilev P. A., Sokolov B. V., Yusupov R. M. Methodological and Methodical Foundations of Proactive Management of the Life Cycle of Complex Technical Objects. *Priboroostroenie*. 2022. No. 11. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-i-metodicheskie-osnovy-proaktivnogo-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-slozhnyh-tehnicheskikh-obektov> (In Russ.).
13. New Communal Reality: How Neural Networks Help Develop Housing and Utilities Sector. *RBC. Official site*. Available at: <https://www.rbc.ru/economics/02/11/2023/653fb0f39a7947d6233d7183> (In Russ.).
14. Artificial Intelligence in Housing and Utilities: Real Experience and Prospects. *Just AI*. Available at: <https://just-ai.com/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-zhkh-realnyj-opyt-i-perspektivy> (In Russ.).