

Научная статья
УДК 004.056
DOI: [10.34759/trd-2023-131-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-131-23)

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ РАСШИРЕННОГО МОНИТОРИНГА И ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УМНЫХ ГОРОДАХ

Николай Николаевич Касатиков^{1✉}, Олег Михайлович Брехов², Елена Олеговна Николаева³

^{1,2,3}Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Nick925@yandex.ru✉

Аннотация. В данной работе рассмотрена технология и шаги в сфере соединения технологий искусственного интеллекта и Интернета вещей для контроля, мониторинга и оптимизации объектов в умных городах, в частности на объектах энергетики. Изучены технологии применения в гражданской авиации. Рассмотрен перечень примеров ситуаций применения. Проведены оценки теоретических сценариев с применением нейронных сетей, где они берут данные IoT-технологий для мониторинга роста пикового спроса. Авторы смоделировали варианты разнообразных климатических условий при расчете уровня отклика спроса. Рассмотрены вариации спроса энергетики на тестовых данных.

Ключевые слова: Интернет-вещей, умный город, искусственный интеллект, умные приборы, умные датчики, нейронные сети

Для цитирования: Касатиков Н.Н., Брехов О.М., Николаева Е.О. Интеграция технологий искусственного интеллекта и интернета вещей для расширенного мониторинга и оптимизации энергетических объектов в умных городах // Труды МАИ. 2023. № 131. DOI: [10.34759/trd-2023-131-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-131-23)

Original article

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE INTERNET OF THINGS FOR ADVANCED MONITORING AND OPTIMIZATION OF ENERGY FACILITIES IN SMART CITIES

Nikolay N. Kasatikov¹, **Oleg M. Brekhov²**, **Elena O. Nikolaeva³**

^{1,2,3}Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Nick925@yandex.ru

Abstract: Energetics is one of the most important and state-of-the-art topics of the contemporaneity. Energy facilities monitoring and optimization play decisive role in ensuring effective energy consumption and sustaining stable infrastructure in the fast-developing cities.

Energy facilities optimization with the artificial intelligence (AI) and Internet of things (IoT) technologies plays an important role in ensuring effective energy consumption and sustaining stable infrastructure in the fast-developing cities. New innovative

technologies allow data collecting in the real-time mode, performing enhanced analytics and accomplish intellectual decision making, which leads to the energy efficiency enhancing, operational costs reduction and stability increasing.

One of the energy facilities monitoring advantages using AI and Iot consists in the possibility for energy consumption optimization based on the demand, weather conditions and other factors. The AI algorithms are able to analyze collected data and predict energy requirements, which allows reducing electricity bill and negative impact on the environment. The algorithms may simplify the air traffic controllers tasks while civil aircraft landing or departure.

The IoT units, i.e. sensors and intellectual counters, are being installed at the energy facilities and civil aviation industry objects for real time data collection on various parameters, such as temperature, pressure, voltage and output power. These units transmit data to the central monitoring system, allowing operators surveying the energy facilities operation and indicating any deviations from the normal operation conditions.

The AI algorithms, machine learning and deep learning models can analyze the data collected by the IoT units to detect anomalies and anomalous regularities. The researchers may study the normal operating behavior the energy facilities by training the AI models using the test data. When the collected data deviate significantly from the expected values, the AI system may issue warnings to notify operators about potential problems or malfunctions requiring their attention.

AI and neural networks may be employed for predicting demands for servicing and preventing unexpected damage at the energy facilities and civil airports. By the data analysis from the IoT sensors and units, the AI models can reveal regularities pointing out potential

failures or productivity reduction. It allows operators planning technical servicing in advance of repairing equipment prior to the failures and minimizing the downtime.

The AI algorithms can as well optimize operation of the energy facilities and enterprises of civil aviation trend by the real time data analyzing and revealing the possibilities for the efficiency enhancing. The AI, for example, may analyze the energy consumption schemes, the data on the equipment productivity and external factors, such as weather conditions, for energy systems optimal control and energy consumption reduction.

Thus, the Ai and IoT technologies application for energy facilities and civil aviation objects monitoring and optimizing demonstrate many advantages, including energy efficiency enhancing, power consumption costs reduction, stability improving and reducing negative impact on the environment. These innovative approaches help municipal companies, power suppliers and objects managers make justified decisions, develop strategies and ensure long-term stability of energy facilities in the rapid-developing cities.

Keywords: Internet of things, smart city, artificial intelligence, smart devices, smart sensors, neural networks

For citation: Kasatikov N.N., Brekhov O.M., Nikolaeva E.O. Integration of artificial intelligence and the internet of things for advanced monitoring and optimization of energy facilities in smart cities. *Trudy MAI*, 2023, no. 131. DOI: [10.34759/trd-2023-131-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-131-23)

Введение

Мониторинг и оптимизация энергетических объектов играют решающую роль в обеспечении эффективного энергопотребления и поддержании устойчивой

инфраструктуры в современных быстро развивающихся городах. С появлением умных городов интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) и Интернета вещей (IoT) произвела революцию в способах мониторинга и управления энергетическими объектами. Эти инновационные технологии обеспечивают сбор данных в режиме реального времени, расширенную аналитику и интеллектуальное принятие решений, что приводит к повышению энергоэффективности, снижению эксплуатационных расходов и повышению устойчивости.

Искусственный интеллект, в частности машинное обучение и нейронные сети, стал мощным инструментом мониторинга энергетических объектов. Эти алгоритмы ИИ могут анализировать огромные объемы данных, собранных с различных датчиков, счетчиков и устройств, развернутых в энергетической инфраструктуре. Изучая закономерности и взаимосвязи в данных, модели ИИ могут обнаруживать аномалии, прогнозировать сбои и оптимизировать потребление энергии, обеспечивая оптимальную работу объектов. Для сравнения взяты результаты применения IoT-технологий при развитии авиационных технологий в зарубежных странах, где тоже сталкиваются с контролем загрязнения природы. В наших трудах мы уже упоминали про стремительно развивающееся сотрудничество двух технологий. [1]

Технологии Интернета вещей обеспечивают необходимые возможности подключения и сбора данных для эффективного мониторинга энергетических объектов. Устройства IoT, такие как интеллектуальные счетчики, датчики и приводы, развернуты по всей инфраструктуре для сбора данных в режиме реального времени о потреблении энергии, условиях окружающей среды, производительности оборудования и других соответствующих параметрах. Затем эти данные передаются

на централизованную платформу, где они обрабатываются, анализируются и визуализируются для получения ценной информации о работе энергетических объектов.

Интеграция технологий искусственного интеллекта и Интернета вещей позволяет создать комплексную систему мониторинга энергетических объектов в умных городах. Данные в режиме реального времени с устройств IoT передаются в модели ИИ, которые могут выявлять аномальные закономерности, выявлять неэффективность и оптимизировать использование энергии. Благодаря постоянному мониторингу энергетических объектов потенциальные неисправности и сбои могут быть обнаружены на ранней стадии, что позволяет проводить упреждающее обслуживание и минимизировать время простоя [2].

Возможности мониторинга объектов энергетической инфраструктуры

Преимущества мониторинга энергетических объектов с использованием технологий искусственного интеллекта и Интернета вещей выходят за рамки повышения эффективности и технического обслуживания [3]. Потребление энергии может быть оптимизировано на основе структуры спроса, погодных условий и других факторов, что приводит к снижению затрат на энергию и уменьшению воздействия на окружающую среду[4]. Кроме того, доступность данных и аналитики в режиме реального времени позволяет муниципальным компаниям, поставщикам энергии и управляющим объектами принимать обоснованные решения и разрабатывать стратегии для обеспечения долгосрочной устойчивости. Устройства IoT, такие как датчики и интеллектуальные счетчики, могут быть развернуты по всей электростанции для сбора данных в режиме реального времени о различных

параметрах, включая температуру, давление, напряжение и выходную мощность [5]. Эти устройства непрерывно передают данные в центральную систему мониторинга, что позволяет операторам следить за работой электростанции и выявлять любые отклонения от нормальных условий работы [6]. Алгоритмы искусственного интеллекта, такие как модели машинного обучения и глубокого обучения, могут анализировать данные, собранные устройствами IoT, для обнаружения аномалий или аномальных закономерностей. Обучая модели ИИ с помощью исторических и данных за последние несколько лет, они могут изучить нормальное рабочее поведение электростанции [7]. Когда собранные данные значительно отклоняются от ожидаемых шаблонов, система ИИ может выдавать предупреждения, чтобы уведомить операторов о потенциальных проблемах или неисправностях, требующих внимания [8]. ИИ и нейронные сети также можно использовать для прогнозирования потребностей в обслуживании и предотвращения неожиданных поломок оборудования электростанции. Анализируя данные датчиков с устройств IoT, модели ИИ могут выявлять закономерности, указывающие на потенциальные сбои или снижение производительности. Это позволяет операторам заранее планировать техническое обслуживание, заменять или ремонтировать оборудование до возникновения сбоев и минимизировать время простоя [9]. Алгоритмы ИИ могут оптимизировать работу электростанции, анализируя данные в реальном времени и выявляя возможности для повышения эффективности. Например, ИИ может анализировать схемы энергопотребления, данные о производительности оборудования и внешние факторы, такие как погодные условия, чтобы предлагать корректировки в выработке электроэнергии, балансировке нагрузки или

распределении энергии. Это может привести к повышению эффективности работы, сокращению потерь энергии и экономии средств [10]. Технологии искусственного интеллекта и Интернета вещей играют решающую роль в обеспечении кибербезопасности электростанций [11]. Устройства IoT могут отслеживать сетевой трафик и собирать данные о потенциальных угрозах безопасности. Алгоритмы ИИ могут [12] анализировать эти данные для обнаружения аномалий или признаков кибератак, данная проблематика имеет особую значимость в наше время, таких как необычные сетевые шаблоны или попытки несанкционированного доступа. Оперативно выявляя угрозы кибербезопасности и реагируя на них, операторы электростанций могут предотвратить сбои и защитить целостность своих систем. Применение технологий Интернета вещей в авиационной отрасли привело к значительному прогрессу в обслуживании и безопасности воздушных гражданских судов. Оснащая самолет устройствами IoT, можно собирать и анализировать данные в режиме реального времени о различных параметрах, таких как производительность двигателя, расход топлива и состояние компонентов. Эти данные позволяют осуществлять профилактическое обслуживание, позволяя командам по техническому обслуживанию выявлять потенциальные проблемы до того, как они станут критическими, тем самым снижая риск отказов в полете и повышая общую безопасность. Кроме того, технологии Интернета вещей облегчают удаленный мониторинг, позволяя командам по техническому обслуживанию получать доступ к информации в режиме реального времени из любого места, оптимизировать процессы устранения неполадок и ускорить ремонт, что в конечном итоге минимизирует время простоя самолета и оптимизирует эффективность эксплуатации.

Еще одно ключевое применение Интернета вещей в авиационной отрасли — повышение качества обслуживания пассажиров. Устройства IoT развертываются в аэропортах и самолетах, чтобы обеспечить пассажирам более удобный и персонализированный опыт путешествий. Например, интеллектуальные дисплеи и мобильные приложения с поддержкой Интернета вещей могут в режиме реального времени предоставлять информацию о рейсах, изменениях выхода на посадку и информацию об отслеживании багажа, обеспечивая информирование пассажиров на протяжении всего путешествия. Кроме того, носимые устройства IoT, такие как смарт-часы или посадочные талоны с поддержкой RFID, обеспечивают беспроблемную регистрацию и посадку, сокращая время ожидания и повышая удобство. Кроме того, авиакомпании могут использовать Интернет вещей, чтобы предлагать бортовые развлекательные системы, персонализированный контент и возможность подключения на борту, что позволяет пассажирам оставаться на связи и развлекаться во время полета, прочие базовые применения показаны на ниже(рис. 1). Эти усовершенствования с поддержкой IoT способствуют общему улучшению обслуживания пассажиров и удовлетворенности клиентов в авиационной отрасли.

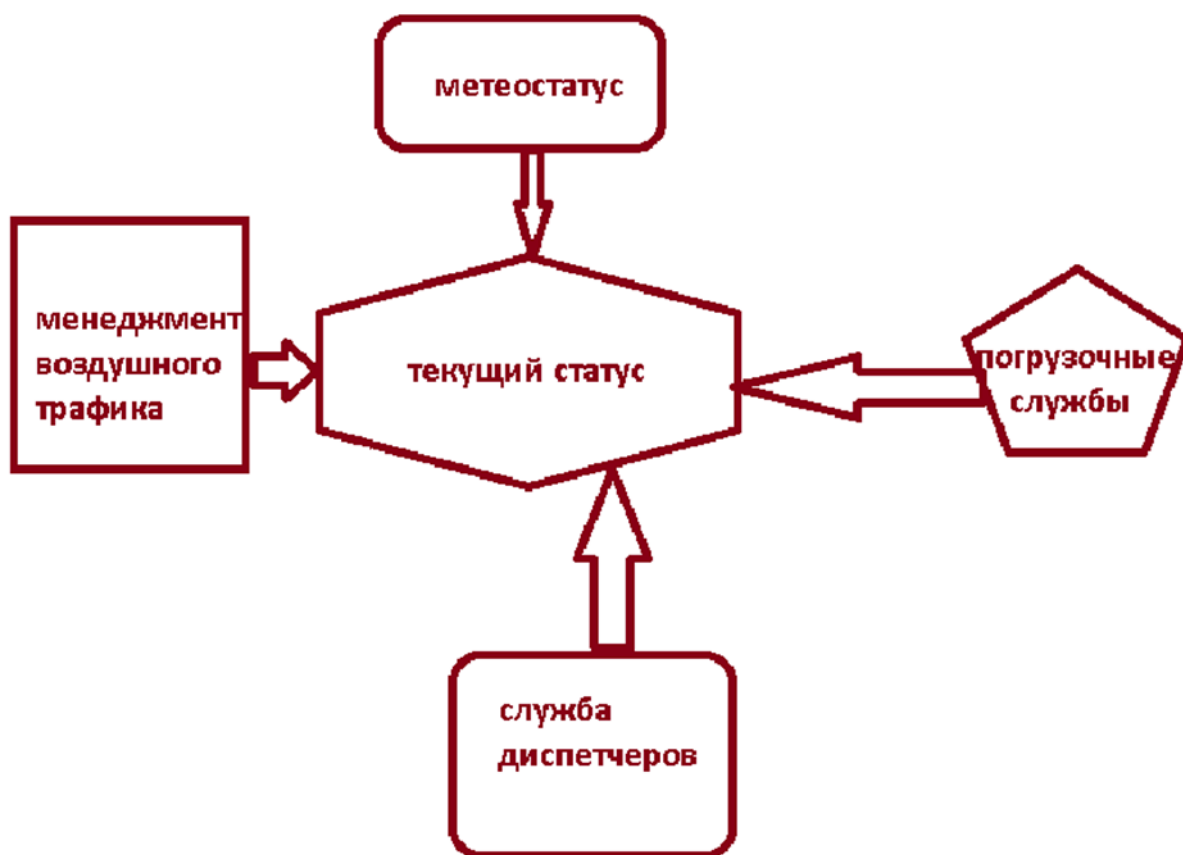


Рис. 1. Базовая схема применения Iot в гражданской авиации

Анализ теоретического выхода из эксплуатации умных устройств

Прогнозы изъятия устройств из обращения, также называемые на предприятиях гражданской авиации, как прогнозы выхода устройств из эксплуатации или окончания срока службы, необходимы для управления жизненным циклом электронных устройств и обеспечения их надлежащей утилизации или переработки [13]. На процесс прогнозирования влияют несколько факторов, в том числе технологические достижения, поведение потребителей, нормативные требования и экологические соображения [14]. Для более наглядного примера, варианты использования ниже:

Технологическое устаревание. С быстрым темпом технического прогресса электронные устройства могут быстро устареть или быть заменены более новыми моделями. Прогнозирование вывода устройств из эксплуатации включает в себя отслеживание рыночных тенденций, оценку технологических достижений и оценку срока службы конкретных продуктов или категорий [15]. Понимая скорость, с которой новые технологии выходят на рынок и завоевывают популярность у потребителей, производители и заинтересованные стороны могут предвидеть вывод из эксплуатации старых устройств.

Жизненный цикл продукта. Электронные устройства проходят определенные этапы в своем пути жизнеобеспечения, включая внедрение, рост, зрелость и упадок. Прогнозирование изъятия устройств включает анализ исторических данных о продажах, насыщенности рынка и текущей стадии жизненного цикла продукта. Этот анализ помогает определить, когда устройство, скорее всего, достигнет конца своего рыночного срока службы и будет снято с производства [16].

Поведение потребителей и спрос. Предпочтения потребителей, модели покупок и спрос на новые функции существенно влияют на прогнозы выхода устройств из эксплуатации. Такие факторы, как модернизация потребительских товаров, изменение технологических предпочтений и доступность альтернативных продуктов, влияют на срок службы устройств на рынке. Анализируя поведение потребителей, опросы и исследования рынка, производители могут оценить, когда произойдет значительное снижение спроса на конкретное устройство, свидетельствующее о необходимости его изъятия [17].

Нормативные требования: нормативно-правовая база, регулирующая управление электронными отходами и экологическую устойчивость, способствует изъятию устройств из обращения [18]. Правительства во всем мире внедряют правила и директивы, которые требуют ответственной утилизации, переработки или восстановления электронных устройств. Соблюдение этих уставов часто требует от производителей изъятия устройств из обращения по истечении определенного периода или при соблюдении определенных критериев, например, санкций [19].

Экологические аспекты. Воздействие электронных отходов на окружающую среду требует точных прогнозов выхода из эксплуатации. Одним из важнейших пунктов, является переработка и правильная утилизация устройств, которая помогает свести к минимуму воздействие на окружающую среду, связанное с электронными отходами [20]. Прогнозирование позволяет производителям планировать утилизацию или восстановление устройств до того, как они устареют или будут представлять значительный экологический риск.

Стратегии вывода устройств из эксплуатации. Прогнозирование вывода устройств из эксплуатации позволяет производителям разрабатывать эффективные стратегии вывода устройств из оборота. Эти стратегии могут включать программы возврата, варианты обмена, инициативы по ремонту или партнерские отношения с предприятиями по переработке [21]. Прогнозируя изъятие устройств, производители могут согласовать свои стратегии, чтобы обеспечить устойчивое управление выведенными из эксплуатации устройствами и оптимизировать восстановление ресурсов.

Надо иметь в виду, что точность прогнозов выхода устройств из эксплуатации может варьироваться в зависимости от множества факторов, включая динамику рынка, технологические достижения и поведение потребителей. Производители, регулирующие органы и заинтересованные стороны в отрасли постоянно отслеживают и обновляют свои прогнозы на основе последней информации и тенденций, чтобы обеспечить эффективную и ответственную практику вывода устройств из эксплуатации [22].

Проект связи искусственного интеллекта и Интернета вещей

Нейронные сети и технологии IoT могут сыграть существенную роль в оценке качества работы и ожидаемого срока службы энергетических объектов. Используя данные с устройств IoT и применяя расширенную аналитику с помощью нейронных сетей, можно оценить различные аспекты производительности энергетического объекта. Вот важные примеры:

1) Нейронные сети могут анализировать данные, собранные с датчиков IoT, установленных на энергетических объектах, для прогнозирования потребностей в обслуживании и выявления потенциальных отказов оборудования. Выявляя шаблоны и аномалии в данных датчиков, нейронные сети могут заранее предупреждать об ухудшении производительности оборудования или надвигающихся отказах. Это позволяет операторам заранее планировать техническое обслуживание, оптимизировать методы обслуживания и минимизировать незапланированные простои оборудования.

2) Нейронные сети могут анализировать данные в режиме реального времени с устройств IoT для оценки энергоэффективности энергетических объектов. Отслеживая такие параметры, как потребление энергии, температура, давление и скорость потока, нейронные сети могут выявлять возможности для оптимизации и рекомендовать стратегии энергосбережения. Это помогает повысить общую эффективность энергетических объектов, позволяет сократить потери энергии и повысить устойчивость.

3) Нейронные сети могут анализировать данные датчиков для оценки состояния и производительности критического оборудования на энергетических объектах. Отслеживая такие факторы, как вибрация, температура и энергопотребление, нейронные сети могут обнаруживать отклонения от регулярных условий работы. Это позволяет инженерам выявлять потенциальные проблемы с оборудованием, такие как изношенные компоненты или неэффективная работа, и предпринимать корректирующие действия для обеспечения надежной и эффективной службы [24].

4) Так как нейронные сети можно обучить всему при правильной выборке данных [23], их также, возможно, научить оценивать оставшийся срок полезного(правильного) использования оборудования на энергетических объектах. Анализируя исторические данные, показания датчиков и записи об обслуживании, нейронные сети могут прогнозировать ожидаемый срок службы оборудования. Эта информация помогает операторам своевременно планировать замену или ремонт оборудования, избегая непредвиденных сбоев и оптимизируя управление активами.

5) Нейронные сети могут анализировать данные датчиков для обнаружения и диагностики неисправностей или отклонений от нормы на энергетических объектах.

Сравнивая показания датчиков в реальном времени с ожидаемыми шаблонами, нейронные сети могут выявлять отклонения, которые указывают на потенциальные неисправности, сбои [25]. Это позволяет операторам быстро выявлять и устранять проблемы, сводя к минимуму сбои и повышая общую надежность энергетических объектов [26].

На основе написанных выше возможностей в сфере синтеза IoT и ИИ, напрашивается заключение, что интеграция нейронных сетей и технологий IoT на объектах энергетики обеспечивает упреждающий мониторинг, то к чему мы и стремимся, а совершенствование методов технического обслуживания, повышение энергоэффективности и оптимизацию управления этими активами. Используя возможности расширенной аналитики, эти технологии способствуют оценке качества объекта, оптимизации производительности и оценке срока службы, что приводит к более надежной и устойчивой эксплуатации энергоресурсов.

Перечень базовых категорий и сфер применения

Применение IoT-технологий в умных городах, решает огромное количество затруднений, с которыми сталкиваются жители. Сейчас применение цифровых решений на первых полосах в большинстве технических и архитектурных проектах. Создание новых станций метро, школ. Без участия Интернета вещей не обходится не одно крупное строительство и совершенствование образа инфраструктуры. Мы остановимся на тех вариантах применения, которые видим допустимыми в работе с объектами энергетики и гражданско-авиационной промышленности.

Разумеется, в концепции создания умных зданий. Нейронные сети и Интернет вещей можно использовать для создания умных датчиков, которые оптимизируют потребление энергии, повышают безопасность и повышают комфорт жильцов. Приборы Интернета вещей могут отслеживать занятость, температуру, освещение и другие факторы окружающей среды, а нейронные сети анализируют данные, чтобы в режиме реального времени вносить коррективы для повышения энергоэффективности и комфорта. Например, система может автоматически регулировать параметры отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) в зависимости от посещаемости и погодных условий.

Управление дорожным движением: Нейронные сети и устройства IoT могут использоваться для интеллектуального управления дорожным движением в городах. Интегрируя камеры, датчики и светофоры с алгоритмами нейронной сети, можно собирать и анализировать данные о дорожном движении в режиме реального времени. Это позволяет оптимизировать синхронизацию сигналов светофора, обнаруживать заторы на дорогах и прогнозировать модели трафика. Затем система может динамически регулировать время сигнала, чтобы уменьшить заторы, улучшить транспортный поток и повысить общую эффективность транспортировки.

Управление отходами: Нейронные сети и технологии IoT могут революционизировать процессы управления отходами. Умные мусорные баки, оснащенные датчиками IoT, могут контролировать уровень заполнения, а нейронные сети могут анализировать данные для оптимизации маршрутов и графиков сбора

мусора. Это гарантирует, что услуги по вывозу мусора выполняются эффективно, сокращая количество ненужных поездок и улучшая распределение ресурсов.

Мониторинг окружающей среды: Нейронные сети и устройства IoT могут использоваться для мониторинга окружающей среды в городских районах. Датчики, развернутые по всему городу, могут измерять качество воздуха, уровень шума и другие параметры окружающей среды. Нейронные сети могут анализировать эти данные для обнаружения горячих точек загрязнения, оценки воздействия различных факторов на окружающую среду и предоставления информации для городского планирования и экологической политики.

Управление водными ресурсами: Нейронные сети и IoT могут применяться для улучшения управления водными ресурсами на гражданских объектах. Датчики Интернета вещей могут контролировать использование воды, давление и качество, а нейронные сети анализируют данные для выявления утечек, обнаружения отклонений и оптимизации распределения воды. Это помогает сократить количество отходов воды, предотвратить ущерб от утечек и улучшить общее управление водными ресурсами.

В категории общественной безопасности: Нейронные сети и технологии IoT могут повысить общественную безопасность гражданских объектов, например для предотвращения чрезвычайных ситуаций. Камеры и датчики видеонаблюдения могут быть интегрированы с алгоритмами нейронных сетей для обнаружения подозрительных действий, распознавания лиц или выявления потенциальных угроз безопасности. Анализ собранных данных в режиме реального времени может

запускать автоматические оповещения и уведомления для органов власти, что позволяет быстро реагировать на потенциальные инциденты безопасности.

Нейронные сети и технологии IoT могут быть применены к объектам энергетики, авиационной промышленности, но что нельзя не отметить, что и в других сферах возможности применения колоссальны. Потенциал их реализации достаточно велик и может способствовать повышению эффективности, устойчивости и качества жизни в различных городских условиях.

Энергетический мониторинг и оптимизация

В умных зданиях интегрированы передовые технологии, в том числе устройства IoT и нейронные сети, для оптимизации энергопотребления, повышения комфорта жильцов и повышения общей производительности здания.

В нашей работе мы изучали способ мониторинга потребления энергетики, в умном здании нейронные сети могут анализировать данные с устройств IoT, чтобы прогнозировать периоды пикового спроса и соответствующим образом корректировать потребление энергии. Например, в периоды высокого спроса второстепенное оборудование может быть временно отключено или спрос может быть смещен на непиковые часы [27].

Реакцию спроса можно измерить по формуле: $DR = (\text{базовая нагрузка} - \text{фактическая нагрузка}) / \text{базовая нагрузка} \times 100\%$. Базовая нагрузка представляет

собой ожидаемую нагрузку в течение определенного периода, а фактическая нагрузка представляет собой нагрузку в течение периода отклика.

Таким образом, реализуя стратегии реагирования на спрос, основанные на анализе нейронных сетей, умные здания могут эффективно управлять спросом на энергию, снижать нагрузку на сеть и способствовать более устойчивой энергетической системе.

Кроме того, в нашем примере с умным зданием мы рассматриваем сценарий, в котором базовая нагрузка на определенный период оценивается в 1000 киловатт (кВт). Нейронная сеть умного здания прогнозирует период пикового спроса на основе анализа данных. В течение этого периода фактическая нагрузка снижается до 800 кВт за счет действий по реагированию на спрос. Мы можем рассчитать уровень отклика спроса, используя формулу:

$$DR = (\text{Базовая нагрузка} - \text{Фактическая нагрузка}) / \text{Базовая нагрузка} \times 100\%$$

Подставляем значения из нашего примера:

$$DR = (1000 \text{ кВт} - 800 \text{ кВт}) / 1000 \text{ кВт} \times 100\% = 200 \text{ кВт} / 1000 \text{ кВт} \times 100\% = 0,2 \times 100\% = 20\%$$

Уровень реагирования спроса составляет 20%.

Чтобы получить более подробное математическое решение, мы продолжаем формулу дальше:

Мы проводим расчет снижения нагрузки:

Снижение нагрузки = базовая нагрузка - фактическая нагрузка = 1000 кВт - 800 кВт = 200 кВт

Далее мы рассчитываем уровень отклика спроса:

Уровень реагирования на спрос = (снижение нагрузки / базовая нагрузка) × 100% = (200 кВт / 1000 кВт) × 100% = 0,2 × 100% = 20%

Как мы видим, уровень отклика спроса снова определен равным 20%.

Этот расчет показывает, что в период пикового спроса на тестовых данных умный дом успешно сократило потребление энергии на 20 % благодаря действиям по реагированию на спрос по сравнению с ожидаемой базовой нагрузкой. Это сокращение энергопотребления позволяет снизить нагрузку на сеть и способствует созданию более устойчивой энергетической системы [28]. Что доказывает, что используя нейронные сети для прогнозирования периодов пикового спроса и реализации стратегий реагирования на спрос, умные здания могут эффективно управлять потреблением энергии, оптимизировать использование ресурсов и достигать целей энергоэффективности.

Так же надо отметить, что при применении данных решений в городах, находящихся в климате с отчетливо чередующимися временами года соображения и результаты могут быть адаптированы к зимним условиям с учетом конкретных задач и условий зимнего сезона. Вот некоторые дополнительные моменты, которые следует учитывать: потребность в отоплении, анализ погодных ситуаций, стратегии

переключения нагрузки на объектах в частности в отпускное летнее время, комфорт людей/пользователей и другие.

Чтобы учесть сложные климатические условия при расчете уровня отклика спроса, в формулу целесообразно добавить и включить данные о погоде. Вот расширенная версия формулы, учитывающая климатические факторы:

$$DR = [(Базовая\ нагрузка - Фактическая\ нагрузка) / Базовая\ нагрузка] \times [1 - (Климатический\ фактор \times Воздействие\ погоды)]$$

Путем включения в формулу климатического фактора и воздействия погоды расчет уровня реагирования спроса учитывает конкретные проблемы, связанные со сложными климатическими условиями. Это позволяет более точно оценивать эффективность стратегий реагирования на спрос при управлении энергопотреблением в умных зданиях с учетом как внутренних факторов (базовая нагрузка, фактическая нагрузка), так и внешних факторов (климат и погода).

Для уточнения подсчетов данных было принято решение добавить расстояния Махалабониса. Расстояние Махаланобиса — это статистическая мера, используемая для количественной оценки расстояния между точкой и распределением. Он учитывает ковариационную структуру данных, что делает его особенно полезным при работе с многомерными наборами данных. Расстояние Махаланобиса часто используется в таких приложениях, как обнаружение выбросов, кластерный анализ и распознавание образов.

В контексте мониторинга энергетических объектов в умных городах расстояние Махаланобиса может применяться для оценки сходства или отклонения моделей энергопотребления от эталонного распределения. Рассчитывая расстояние Махаланобиса, мы можем выявить и количественно оценить аномальное поведение в энергопотреблении, указав на потенциальные проблемы или отклонения в работе энергетических объектов.

Представим наши следующие тестовые значения:

Базовая нагрузка = 1000 кВт (ожидаемая нагрузка в течение определенного периода)

Фактическая нагрузка = 800 кВт (нагрузка в период срабатывания)

Климатический фактор = 0,8 (представляющий влияние климатических условий на спрос на энергию)

Влияние погоды = 0,9 (представляющее влияние погодных условий на потребление энергии)

Расстояние Махаланобиса = 0,15 (значение, рассчитанное на основе отклонения от эталонного распределения)

$DR = [(Базовая\ нагрузка - Фактическая\ нагрузка) / Базовая\ нагрузка] \times [1 - (Климатический\ фактор \times Воздействие\ погоды) \times (1 - Расстояние\ Махаланобиса)]$

$DR = [(1000\ кВт - 800\ кВт) / 1000\ кВт] \times [1 - (0,8 \times 0,9) \times (1 - 0,15)]$

$DR = (200\ кВт / 1000\ кВт) \times [1 - (0,72) \times (0,85)]$

$$DR = 0,2 \times [1 - 0,612]$$

$$DR = 0,2 \times 0,388$$

$$DR = 0,0776$$

Реакция спроса (DR) рассчитывается как 0,0776 или 7,76%.

В данном расчете учитывается отклонение от Базовой нагрузки, а также влияние климатических условий и погодных факторов. Расстояние Махаланобиса, рассчитанное на основе исторических данных, отражает отклонение от эталонного распределения и включается в формулу для соответствующей корректировки реакции спроса.

Выводы

В заключение считаем необходимым отметить, что интеграция нейронных сетей и технологий Интернета вещей в технологию умных зданий представляет собой огромный потенциал для оптимизации энергопотребления и повышения энергоэффективности. Анализируя, данные с устройств IoT, и используя нейронные сети, умные здания могут эффективно прогнозировать периоды пикового спроса и реализовывать стратегии реагирования на спрос для соответствующей корректировки энергопотребления.

Сделанные расчеты и формулы, такие как формула уровня реагирования спроса, обеспечивают количественную оценку успеха данных расчетов. Точно измеряя снижение нагрузки, достигнутые в периоды пикового спроса, умные здания

могут активно способствовать стабильности сети, снижать нагрузку на энергетическую инфраструктуру и способствовать устойчивости.

Кроме того, при рассмотрении сложных климатических условий включение таких факторов, как климатические явления и воздействие погоды, позволяет провести более полную оценку уровня реагирования на спрос. Благодаря учету влияния погодных условий на потребление энергии расчеты становятся более точными и адаптируемыми к изменяющимся условиям окружающей среды.

Успешное внедрение этих технологий и стратегий в новые жилые комплексы, энергетическую инфраструктуру в крупных городах может привести к значительным преимуществам. Также IoT-технологии вносят большое развитие в сферу гражданской авиации. К ним относятся оптимизированное использование энергии, снижение затрат, повышенная надежность сети и повышенный комфорт пользователей. Используя нейронные сети, устройства IoT и расширенную аналитику, умные здания могут активно способствовать переходу к более устойчивым и энергоэффективным технологиям и их процессу развитию.

В нашем исследовании мы приходим к выводу, что сочетание нейронных сетей, технологий Интернета вещей и строгих математических расчетов позволяет умным зданиям разумно управлять потреблением энергии, адаптироваться к изменяющимся условиям и положительно влиять как на окружающую среду и природу, так и на благополучие жителей.

Список источников

1. Касатиков Н.Н., Фадеева А.Д., Брехов О.М. Мультиагентная система для контроля объектов энергетического комплекса // Труды МАИ. 2023. № 130. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=174622>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-23)
2. Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4. С. 33–48.
3. Акимов О.Е. Дискретная математика: логика, группы, графы, фракталы. - М.: Издатель Акимова, 2005. - 656 с.
4. Андреев В.А. Многомодовые оптические волокна: Теория и приложения на высокоскоростных сетях связи. - М.: Радио и связь, 2004. - 246 с.
5. Андреев В.А., Бурдин В.А., Попов Б.В., Польшников А.И. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. - М.: Радио и связь, 1995. - 198 с.
6. Железняков А.О., Сидорчук В.П., Подрезов С.Н. Имитационная модель системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронного оборудования // Труды МАИ. 2022. № 123. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=165538>. DOI: [10.34759/trd-2022-123-26](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-26)
7. Бабанов Н.Ю., Шахтанов С.В. Циклические свойства орбит перестановок когнитивной карты перестановочного декодера систем реального времени // Проектирование и технология электронных средств. 2020. № 4. С. 37-43.
8. Кондрашин М.А., Арсенов О.Ю., Козлов И.В. Применение технологии виртуализации и облачных вычислений при построении сложных распределенных

моделирующих систем // Труды МАИ. 2016. № 89. URL:
<http://trudymai.ru/published.php?ID=73411>

9. Осипов Н.А., Шавин А.С., Тарасов А.Г. Методика идентификации помех, действующих в канале передачи информации робототехнических систем // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=81085>

10. Бараковский Ф., Ванцов С., Васильев Ф. Струйный метод получения проводящего рисунка печатной платы // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2020. № 3 (194). С. 108-113. DOI: [10.22184/1992-4178.2020.194.3.108.112](https://doi.org/10.22184/1992-4178.2020.194.3.108.112)

11. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. - М.: Горячая линия - Телеком, 2017. - 284 с.

12. Травин А.А., Калашников Е.А., Бакрадзе Л.Г. Совершенствование диагностики механизмов машин с использованием методов неразрушающего контроля // Труды МАИ. 2022. № 127. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=170352>. DOI: [10.34759/trd-2022-127-23](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-23)

13. Бурдин А.В. Моделирование маломодовых оптических волокон с уменьшенной дифференциальной модовой задержкой в «С»-диапазоне длин волн // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. С. 32-37.

14. Бурдин А.В., Бурдин В.А., Андреев В.А. Моделирование кварцевых многомодовых оптических волокон транспортных сетей связи нового поколения // Прикладная фотоника. 2014. № 2. С. 24-47.

15. Васильев А.Б., Воронин В.Г., Камынин В.А., Лукиных С.Н., Наний О.Е. Механизмы потерь в одномодовых волоконно-оптических линиях связи. – М.: МГУ, 2016. – 43 с.

16. Васильев К.К. Методы обработки сигналов. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. - 78 с.
17. Васильев К.К., Глушков В.А., Дормидонтов А.В., Нестеренко А.Г. Теория электрической связи. - Ульяновск: УлГТУ, 2008. - 286 с.
18. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи. - Ульяновск: УлГТУ, 2010. - 128 с.
19. Вернадский В.И. Биосфера: Мысли и наброски. - М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001. - 244 с.
20. Вернер М. Основы кодирования. - М.: Техносфера, 2004. - 288 с.
21. Вечканов В.В., Киселев Д.В., Ющенко А.С. Адаптивная система нечеткого управления мобильным роботом // Мехатроника. 2002. № 1. С. 20-26.
22. Витерби А.Д., Омура Дж.К. Принципы цифровой связи и кодирования: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1982. - 536 с.
23. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Основы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики. - М.: Эхо Тредз, 2005. - 392 с.
24. Ганин Д.В., Тамразян Г.М., Шахтанов С.В., Саид Б., Бакурова А.Д. Процедура поиска множества вырожденных матриц в системе перестановок двоичного блочного кода // Автоматизация процессов управления. 2019. № 4 (58). С. 82-89.
25. Ганин Д.В., Шахтанов С.В. Перестановочное декодирование в системе производства избыточных кодов // III Научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» ТТТ-2019 (Казань, 18-22 ноября 2019): сборник трудов. - Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. Т. 1. С. 145-147.
26. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. - М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1967. - 575 с.

27. Перри Ли. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2019. - 454 с.

28. Способы определения градиента целевой функции в СЭР. URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOZIN/teaching/Tab3/Lecture2.pdf>

References

1. Kasatkov N.N., Fadeeva A.D., Brekhov O.M. *Trudy MAI*, 2023, no. 130. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=174622>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-23)
2. Kumaritova D.L., Kirichek R.V. *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 33–48.
3. Akimov O.E. *Diskretnaya matematika: logika, gruppy, grafy, fraktaly* (Discrete Mathematics: Logic, Groups, Graphs, Fractals), Moscow, Izdatel' Akimova, 2005, 656 p.
4. Andreev V.A. *Mnogomodovye opticheskie volokna: Teoriya i prilozheniya na vysokoskorostnykh setyakh svyazi* (Multimode optical fibers: Theory and applications on high-speed communication networks), Moscow, Radio i svyaz', 2004, 246 p.
5. Andreev V.A., Burdin V.A., Popov B.V., Pol'nikov A.I. *Stroitel'stvo i tekhnicheskaya ekspluatatsiya volokonno-opticheskikh linii svyazi* (Construction and technical operation of fiber-optic communication lines), Moscow Radio i svyaz', 1995, 198 p.
6. Zheleznyakov A.O., Sidorchuk V.P., Podrezov S.N. *Trudy MAI*, 2022, no. 123. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=165538>. DOI: [10.34759/trd-2022-123-26](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-26)
7. Babanov N.Yu., Shakhtanov S.V. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv*, 2020, no. 4, pp. 37-43.
8. Kondrashin M.A., Arsenov O.Yu., Kozlov I.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 89. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=73411>

9. Osipov N.A., Shavin A.S., Tarasov A.G. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=81085>

10. Barakovskii F., Vantsov S., Vasil'ev F. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes*, 2020, no. 3 (194), pp. 108-113. DOI: [10.22184/1992-4178.2020.194.3.108.112](https://doi.org/10.22184/1992-4178.2020.194.3.108.112)

11. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. *Nechetkie modeli i seti* (Fuzzy Models and Networks), Moscow, Goryachaya liniya - Telekom, 2017, 284 p.

12. Travin A.A., Kalashnikov E.A., Bakradze L.G. *Trudy MAI*, 2022, no. 127. URL:

<https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=170352>. DOI: [10.34759/trd-2022-127-23](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-23)

13. Burdin A.V. *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*, 2016, vol. 2, no. 1, pp. 32-37.

14. Burdin A.V., Burdin V.A., Andreev V.A. *Prikladnaya fotonika*, 2014, no. 2, pp. 24-47.

15. Vasil'ev A.B., Voronin V.G., Kamynin V.A., Lukinykh S.N., Nanii O.E. *Mekhanizmy poter' v odnomodovykh volokonno-opticheskikh liniyakh svyazi* (Loss mechanisms in single-mode fiber-optic communication lines), Moscow, MGU, 2016, 43 p.

16. Vasil'ev K.K. *Metody obrabotki signalov* (Methods of signal processing), Ul'yanovsk, UIGTU, 2001, 78 p.

17. Vasil'ev K.K., Glushkov V.A., Dormidontov A.V., Nesterenko A.G. *Teoriya elektricheskoi svyazi* (Theory of electrical communication), Ul'yanovsk, UIGTU, 2008, 286 p.

18. Vasil'ev K.K., Sluzhivyi M.N. *Matematicheskoe modelirovanie sistem svyazi* (Mathematical modeling of communication systems), Ul'yanovsk, UIGTU, 2010, 128 p.

19. Vernadskii V.I. *Biosfera: Mysli i nabroski* (Biosphere: of thought and sketches), Moscow, Izdatel'skii dom «Noosfera», 2001, 244 p.

20. Verner M. *Osnovy kodirovaniya* (Fundamentals of coding), Moscow, Tekhnosfera, 2004, 288 p.
21. Vechkanov V.V., Kiselev D.V., Yushchenko A.S. *Mekhatronika*, 2002, no. 1, pp. 20-26.
22. Viterbi A.D., Omura Dzh.K. *Printsipy tsifrovoi svyazi i kodirovaniya* (Principles of digital communication and coding), Moscow, Radio i svyaz', 1982, 536 p.
23. Volkov L.N., Nemirovskii M.S., Shinakov Yu.S. *Osnovy tsifrovoi radiosvyazi: bazovye metody i kharakteristiki* (Fundamentals of digital radio communication: basic methods and characteristics), Moscow, Ekho Tredz, 2005, 392 p.
24. Ganin D.V., Tamrazyan G.M., Shakhtanov S.V., Said B., Bakurova A.D. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya*, 2019, no. 4 (58), pp. 82-89.
25. Ganin D.V., Shakhtanov S.V. *III Nauchnyi forum «Telekommunikatsii: teoriya i tekhnologii» TTT-2019: sbornik trudov*. Kazan', KNITU-KAI, 2019, vol. 1, pp. 145-147.
26. Gantmakher F.R. *Teoriya matrits* (Matrix Theory), Moscow, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury, 1967, 575 p.
27. Perri Li. *Arkhitektura interneta veshchei* (Architecture of the Internet of things), Moscow, DMK Press, 2019, 454 p.
28. *Sposoby opredeleniya gradienta tselevoi funktsii v SER*. URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOZIN/teaching/Tab3/Lecture2.pdf>

Статья поступила в редакцию 06.06.2023

Одобрена после рецензирования 22.06.2023

Принята к публикации 28.08.2023

The article was submitted on 06.06.2023; approved after reviewing on 22.06.2023; accepted for publication on 28.08.2023