

УДК 621.31

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**Галешкин А.С., студент гр. ЭА-221, IV курс; Стадникова С.В., кандидат
экономических наук, доцентФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова», г. Белгород, РоссияФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, Россия

Цифровизация эксплуатации промышленного оборудования в энергетике представляет собой комплексное внедрение современных информационных и коммуникационных технологий. Эти технологии интегрируются в процессы технического обслуживания, мониторинга состояния, планирования ремонтных работ и управления активами энергетических объектов. Этот процесс охватывает широкий спектр решений, начиная от автоматизированных систем диспетчерского управления (SCADA) и промышленного интернета вещей (IIoT), и заканчивая передовыми технологиями, такими как цифровые двойники и предиктивная аналитика, основанная на алгоритмах машинного обучения.

Основная цель данного исследования заключается в анализе ключевых направлений цифровизации эксплуатации промышленного оборудования в энергетической отрасли. Мы также оценим достигнутые практические результаты и выявим существующие проблемы, которые препятствуют широкому внедрению цифровых решений в этой сфере.

Первым и наиболее распространенным направлением является применение систем SCADA. Эти программно-аппаратные комплексы обеспечивают непрерывный удаленный мониторинг рабочих параметров оборудования, таких как температура, давление, вибрация и потребляемая мощность. Собранная информация передается в единый центр управления. Использование SCADA позволяет операторам оперативно реагировать на любые отклонения от нормы, что снижает вероятность аварийных остановов и связанных с ними потерь в производстве электроэнергии. Однако, традиционные SCADA-системы в основном ориентированы на реактивное управление, фиксируя уже произошедшие изменения. Это подчеркивает необходимость перехода к более продвинутым подходам [1].

Качественный технологический прорыв обеспечивает внедрение концепции промышленного интернета вещей. В рамках этой концепции промышленное оборудование оснащается миниатюрными датчиками и встроенными вычислительными модулями. Эти компоненты не только фиксируют рабочие параметры, но и способны автономно обрабатывать часть данных непосредственно на уровне устройства. В облачную инфраструктуру передаются только обработанные и информационно насыщенные данные.

Согласно данным, представленным в работе Добрынина С.Л. и Бурковского В.Л., реализованная авторами система мониторинга на базе IoT позволила собирать данные с частотой 1 Гц от каждой единицы оборудования. Это обеспечило адаптивное планирование профилактического обслуживания, основанное на фактическом времени использования оборудования, а не на нормативных показателях [4].

Наиболее перспективным инструментом цифровизации эксплуатации признаётся технология цифрового двойника — виртуальной динамической модели физического объекта, воспроизводящей его конструктивные и функциональные характеристики в режиме, синхронизированном с реальным объектом. В энергетике цифровые двойники создаются для турбин, трансформаторов, генераторов, силовых кабельных линий и подстанций. Интеграция данных с датчиков IoT с математическими и физическими моделями оборудования позволяет цифровому двойнику воспроизводить текущее состояние объекта и прогнозировать сценарии его деградации при различных режимах нагрузки, что принципиально меняет логику технического обслуживания — от планово-предупредительных регламентов к ремонту по фактическому состоянию [2].

Совокупность перечисленных технологий формирует основу для реализации предиктивного (прогностического) технического обслуживания — стратегии, при которой вмешательство в работу оборудования осуществляется не по календарному плану и не после фактического отказа, а на основании непрерывного прогноза состояния, выработанного интеллектуальной аналитической системой. Практическая реализация данного подхода в российской энергетике была продемонстрирована в рамках проекта Министерства энергетики Российской Федерации «Единая техническая политика — надёжность электроснабжения». В ходе пилотного проекта компанией «Мобильные газотурбинные электростанции» был создан прототип системы предиктивного анализа для газотурбинных установок серии FT8-3. Система включает распределённую обработку потоков телеметрических данных, хранилище на базе СУБД PostgreSQL и набор аналитических моделей, использующих методы деревьев решений, случайного леса и рекуррентных нейронных сетей типа LSTM [2].

Результаты тестирования моделей продемонстрировали высокую практическую эффективность: точность выявления предотказных состояний гидравлической системы составила до 99% при использовании метода случайного леса, точность прогнозирования динамических характеристик газогенератора — до 98%, а система нейросетевого прогнозирования обеспечивала предупреждение о возможном критическом событии за 5 и более минут до его наступления [2]. Подобный уровень точности позволяет существенно сократить число внеплановых остановов оборудования, снизить затраты на аварийный ремонт и повысить коэффициент готовности генерирующих мощностей.

Одновременно в промышленном секторе активно развиваются распределённые системы мониторинга, соединяющие датчики оборудования с облачными платформами обработки данных посредством беспроводных сенсорных сетей. Технология ZigBee, описанная в работе Добрынина С.Л. и Бурковского В.Л., обеспечивает надёжную передачу данных в условиях производственного цеха на расстояния свыше 100 метров, при этом архитектура системы предусматривает децентрализованную предобработку сигналов непосредственно на устройствах сбора данных, что снижает нагрузку на каналы связи и ускоряет реакцию системы на аномальные события [4].

Несмотря на очевидную технологическую готовность и доказанную экономическую эффективность, масштабное распространение цифровых решений в сфере эксплуатации промышленного оборудования в российской энергетике сталкивается с рядом системных ограничений. Одним из ключевых барьеров является наличие значительного парка устаревших энергоустановок, не оснащённых необходимой измерительной инфраструктурой и не имеющих стандартизированных интерфейсов для подключения к цифровым платформам. Интеграция цифровых решений с так называемыми «устаревшими» (legacy) системами управления требует значительных инвестиций и нередко сопряжена с необходимостью замены или глубокой модернизации существующих аппаратных комплексов [1].

Серьёзной проблемой выступает и обеспечение кибербезопасности. Энергетическая инфраструктура относится к объектам критической информационной инфраструктуры, а подключение производственных систем к внешним сетям и облачным платформам создаёт принципиально новые векторы кибератак. Гришина И.В. указывает, что цифровые системы управления энергетическими сетями нуждаются в многоуровневой защите, включающей аппаратное шифрование каналов передачи данных, многофакторную аутентификацию операторов и постоянный мониторинг сетевой активности [1]. В российском контексте данная задача решается в том числе через использование сертифицированных криптомаршрутизаторов, соответствующих требованиям ФСТЭК и ФСБ РФ [2].

Не менее значимым ограничением является дефицит кадров с необходимыми компетенциями на пересечении энергетики и информационных технологий. Специалист, способный эксплуатировать и развивать системы предиктивного анализа, должен одновременно владеть знаниями в области термодинамики энергетических машин, теории надёжности, а также методов машинного обучения и архитектур распределённых вычислительных систем. Формирование таких специалистов требует обновления образовательных программ технических вузов и интеграции в них практических компетенций работы с реальными промышленными данными [2; 5].

Перспективы цифровизации эксплуатации промышленного оборудования в энергетике определяются прежде всего дальнейшим развитием технологий искусственного интеллекта. По данным аналитического агентства McKinsey, применение ИИ-систем в управлении производственными активами

позволяет снизить затраты на техническое обслуживание оборудования на 10–40%, что для крупных генерирующих компаний соответствует многомиллиардной экономии в денежном выражении. Федеральный ведомственный проект «Цифровая энергетика», реализуемый Министерством энергетики России, закрепил цифровую трансформацию отрасли в качестве стратегического приоритета, предусмотрев целевые показатели по уровню цифровой зрелости субъектов электроэнергетики [3; 5].

Таким образом, цифровизация эксплуатации промышленного оборудования в энергетике представляет собой комплексный и необратимый процесс, охватывающий как технологическую, так и организационную составляющие деятельности предприятий. Внедрение систем IoT-мониторинга, SCADA нового поколения, технологий цифровых двойников и предиктивной аналитики формирует качественно иную парадигму управления производственными активами — переход от реактивного реагирования на отказы к проактивному управлению техническим состоянием на всём жизненном цикле оборудования. Успешная реализация этих подходов требует комплексного решения задач интеграции унаследованных систем, обеспечения кибербезопасности и формирования инженерных кадров новой квалификации, владеющих как отраслевыми, так и цифровыми компетенциями.

Список использованных источников:

1. Гришина И.В. Цифровизация энергетических сетей: проблемы и решения // Индустриальная экономика. – 2022. – № 1, Т. 5. – С. 65–73. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-energeticheskikh-setey-problemy-i-resheniya> (дата обращения: 07.03.2026).
2. Глотов А.В., Черемисинов С., Щербаков М.В. Цифровая система предиктивного анализа работы генерирующего оборудования // Энергетическая политика. – 2020. – № 9 (151). – С. 52–65. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-sistema-prediktivnogo-analiza-raboty-generiruyushchego-oborudovaniya> (дата обращения: 07.03.2026).
3. Гальберг Д.С. Развитие и внедрение цифровых технологий в энергетику // Научный лидер. – 2024. – № 1 (149). – URL: <https://scilead.ru/article/5559-razvitie-i-vnedrenie-tsifrovikh-tekhnologij-v> (дата обращения: 07.03.2026).
4. Добрынин С.Л., Бурковский В.Л. Мониторинг и предиктивная аналитика технологического оборудования на базе промышленного интернета вещей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2020. – Т. 16. – № 5. – С. 102–114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-i-prediktivnaya-analitika-tehnologicheskogo-oborudovaniya-na-baze-promyshlennogo-interneta-veschey> (дата обращения: 07.03.2026).
5. Текслер А.Л. Цифровизация энергетики: от автоматизации процессов к цифровой трансформации отрасли // Энергетическая политика. – 2018. – № 5. – С. 3–6.