

ПЕРЕХОД К ЦИФРОВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ

Хвостиков А.С.

*ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: knastu@list.ru*

В настоящее время стоит важная задача цифровизации энергетической отрасли. Цифровые технологии управления и мониторинга состояния позволяют сократить число аварий, выполнить мгновенные переключения электрических сетей, что значительно повышает надежность обслуживания. В статье проведен обзор достижений в области перехода к цифровому управлению тепловой электрической станцией. Цель исследования состоит в анализе путей, по которым идет развитие энергетики в развитии цифровых технологий и выработки основных направлений внедрения в области перехода к цифровому управлению электрической станцией. Исследование проведено на основании анализа предпосылок перехода к цифровому управлению электрической станцией, трудностей в развитии проекта в России и задач, стоящих перед разработчиками. Выявлено, что цифровые технологии управления и мониторинга состояния позволяют сократить число аварий, выполнить мгновенные переключения электрических сетей, что значительно повышает надежность обслуживания. Повышение автоматизации направлено на снижение затрат на управление, повышение качества управления, в том числе со снижением ошибок человеческого фактора. Среди основных требований к разрабатываемой умной электрической станции: способность к умному реагированию, управление с позиции самовосстановления или мягкого отключения, разработка системы автоматической диагностики, самодиагностика датчиков, исполнительных механизмов и оборудования, внедрение управления технологическими активами и обеспечение удаленного доступа к информации специалистам различного уровня с постоянным сбором, мониторингом, анализом информации в режиме реального времени. Проанализировав задачи, решаемые внедрением в тепловые электрические станции, можно сделать вывод о том, что достигнуть цели создания умных электрических станций возможно на основе искусственного интеллекта.

Ключевые слова: управление, умная электростанция, диагностика, умное реагирование, удаленный доступ, цифровые двойники, искусственный интеллект

STUDY OF ALUMINUM ALLOY ROLLING OIL ANTIFRICTION PROPERTIES BY ULTIMATE REDUCTION METHOD

Khvostikov A.S.

Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: knastu@list.ru

Currently, there is an important task to digitalize the energy industry. Digital control and condition monitoring technologies make it possible to reduce the number of accidents and perform instantaneous switching of electrical networks, which significantly increases the reliability of service. The article provides an overview of the achievements in the field of transition to digital management of a thermal power plant. The purpose of the study is to analyze the ways in which energy is developing in the development of digital technologies and to develop the main directions of implementation in the field of transition to digital management of an electric power plant. The study is based on an analysis of the prerequisites for the transition to digital control of an electric power plant, the difficulties in the development of the project in Russia and the challenges facing the developers. It has been revealed that digital control and condition monitoring technologies can reduce the number of accidents, perform instantaneous switching of electrical networks, which significantly increases the reliability of service. Increasing automation is aimed at reducing management costs and improving the quality of management, including reducing human error. Among the main requirements for the smart power plant being developed are: The ability to respond intelligently is self-healing or soft shutdown management, development of an automatic diagnostic system, self-diagnosis of sensors, actuators and equipment, implementation of technological asset management and provision of remote access to information to specialists at various levels with constant collection, monitoring, and analysis of information in real time. After analyzing the tasks solved by the introduction of thermal power plants, it can be concluded that it is possible to achieve the goal of creating smart power plants based on artificial intelligence.

Keywords: management, smart power plant, diagnostics, smart response, remote access, digital twins, artificial intelligence

Введение

В настоящее время активно идет развитие в области цифровизации общества. По прогнозу компании Skyquest, объемом глобального рынка интернета вещей (IoT) в период с 2025 по 2032 г. составит 318,8 млрд долл. Активно цифровые технологии внедряются в промышленность. Цифровые технологии используют для об-

работки данных, управления процессом посредством подключения к интернету, происходит обмен данными, диагностика, прогнозирование развития дефектов и упрощение эксплуатации. Развитие цифровых технологий в энергогенерирующей отрасли идет с существенным отставанием не только от многих других стран, но и от смежных отраслей экономики [1]. В статье рассмо-

трим преимущества, которые несет переход к цифровым технологиям энергетической отрасли, причины, тормозящие развитие, и основные пути развития.

Умные технологии уже прочно вошли в нашу жизнь в виде умных устройств, бытовых приборов и даже домов. Использование в таких устройствах искусственного интеллекта, интернета вещей и других передовых технологий позволяет значительно упростить обслуживание сложных устройств, взаимодействие между ними и, как следствие, их обслуживание и безопасность.

В сфере энергетики значительный успех имеют проекты умные сети (Smart Grid) и цифровая подстанция. Цифровые технологии управления и мониторинга состояния позволяют сократить число аварий, выполнить мгновенные переключения электрических сетей, что значительно повышает надежность обслуживания. Активно развиваются в России проекты «умный город», реализация которых невозможна без реализации проекта «умная электростанция».

В настоящее время стоит важная задача по цифровизации энергетической отрасли. Основным сдерживающим фактором развития умной электростанции являются различные принципы управления электростанции (турбины, котельное оборудование, топливоподача, водоподготовка, электроцеха). При этом управление процессами ограничивается требованиями соблюдения экологических норм [1].

Цель исследования состоит в анализе путей, по которым идет развитие энергетики в развитии цифровых технологий и выработки основных направлений внедрения в области перехода к цифровому управлению электрической станцией.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовались преимущественно теоретические методы: изучение литературы по проблеме исследования, сравнительный анализ методологий, обобщение. В качестве материалов исследования выступили научные статьи и книги, посвященные проблеме внедрения цифрового управления электрической станции и предикативной аналитики энергетического оборудования.

Результаты исследования и их обсуждение

Высокотехнологичные предприятия нуждаются для обеспечения объемов и качества продукции усиливать автоматизацию производственным процессом. Повышение автоматизации направлено на снижение затрат на управление, повышение качества

управления, в том числе со снижением ошибок человеческого фактора [2].

Переход к цифровым технологиям сдерживают информационные ограничения. Так, многие дефекты невозможно диагностировать даже в условиях длительного накопления исследуемых данных. Так, например, возникновение пульсаций в камерах газовых турбин настолько быстро развивающийся дефект, что при существующем наборе датчиков не поддается прогнозированию. Между тем, согласно литературному обзору, количество диагностируемых дефектов непрерывно растет. Что дает надежную основу для внедрения автоматической системы диагностирования для внедрения умных электростанций [1].

В доктрине энергетической безопасности [1] раскрыты в том числе и вызовы, представляющие опасность национальным интересам, в том числе от перехода к цифровым технологиям в энергетике. Таковыми вызовами, по мнению разработчиков, являются:

– Несоответствие технологического уровня отечественных предприятий современным мировым требованиям и зависимость от импорта. Чрезмерная зависимость деятельности отечественных предприятий от импорта оборудования, технологии, материалов, услуг, программного обеспечения [1]. В последнее время эта зависимость выросла в связи с невозможностью западных предприятий обслуживать энергетическое оборудование из-за санкций. В связи с этим необходимо развитие, прежде всего, отечественных предприятий производителей энергетического оборудования.

– Недостаточная инновационная активность предприятий, ориентация на импорт технологий. Как уже неоднократно отмечалось, в России наблюдается значительный износ электрогенерирующего оборудования [3]. При этом эксплуатация изношенного оборудования гораздо более затратна по сравнению с использованием прогрессивных технологий. Развитие технологий ограничивается ориентацией на импорт технологий.

– Состояние нормативно-правовой базы сдерживает развитие цифровых технологий в сфере энергетики. Использование умных электростанций требует значительного изменения нормативной документации. Такие изменения активно внедряются в российское законодательство и нормативные акты. Внесены изменения в федеральные законы и стандарты, регламентирующие эксплуатацию по состоянию, создание цифровых моделей, удаленное управление и другие изменения.

– Недостаточные темпы разработки и внедрения антитеррористической инфраструктуры. Недостаточный уровень защищенности инфраструктуры топливно-энергетической отрасли. Удаленное управление электростанции требует развитой системы информационной защиты.

Внедрение умной электрической станции активно разрабатывается для отечественных и зарубежных систем управления. Рассмотрим основные требования, предъявляемые к таким разработкам. Во-первых, это способность к умному реагированию. Под умным реагированием понимается, прежде всего, управление с технологической, экологической и экономической точек зрения. Важно отметить, что эти принципы управления зачастую противоречат друг другу. Например, с точки зрения необходимости полного сгорания топлива требуется увеличение коэффициента избытка воздуха, что влечет за собой затраты энергии на подогрев воздуха и, следовательно, снижение экономических показателей. По-прежнему важно, что выберут в качестве основного критерия производитель. Как отмечают в [4], основные направления модернизации управления энергетическими системами, как в процессе добычи, так и преобразования энергоресурсов направлены на снижение экологического воздействия. Поэтому основные направления модернизации будут скорее всего направлены на снижение энергетических выбросов. Системы управления должны обладать способностью к совершенствованию и приспособляться к изменению технических показателей оборудования. Для этого в таких системах предусматривается система непрерывного самообучения [1].

Важным требованием с позиции надежного обеспечения энергетическими ресурсами является самовосстановление или мягкое отключение, обеспечиваемое переключением на резервное оборудование при авариях или выходе из строя элементов электрических станций. Такую функцию электрической станции дублирует система умной подстанции [1].

Следующее требование оперативного реагирования включает в себя системы автоматической диагностики, самодиагностика датчиков, исполнительных механизмов и оборудования. Постоянный мониторинг, диагностика и самообучение позволяют оперативно реагировать на внештатные ситуации [5].

Перед умными электростанциями ставится задача управления технологическими активами. Это обеспечивается не только централизацией и управлением закупкой

запасных частей и резервируемым оборудованием, но и переходом к обслуживанию оборудования по состоянию.

Для обеспечения вышеуказанных требований необходимо обеспечить обучение обслуживающего персонала электрических станций. К компетенциям персонала должны предъявляться требования не только компетенций по обслуживаемому оборудованию, но и по системам управления выполняющих планирование ремонта и диагностики этого оборудования.

Изменение подхода к диагностированию оборудования заключается в определении периода оптимального с позиции рентабельности ремонта оборудования. Умные технологии диагностирования позволяют предположить выход из строя оборудования и, учитывая график нагрузки, найти время ремонта [6].

Также требуется обеспечение удаленного доступа к информации специалистам различного уровня с постоянным сбором, мониторингом, анализом информации в режиме реального времени. Расширение функционала требует обеспечения безопасного доступа к критически важным системам управления.

В настоящее время системы управления электрической станцией состоят из трех уровней. На нижнем уровне располагаются контрольно-измерительные приборы, запорно-регулирующая арматура, приборы собственных нужд. Датчики давления, температуры, расхода и др. измеряют параметры работы основного оборудования по каналам ввода-вывода передаются на средний уровень. Средний уровень состоит из модулей ввода вывода и программно-логических контроллеров, которые производят предварительную обработку сигнала и отдают сигналы управления исполнительным механизмам. Основная обработка производится на верхнем уровне, в которую входят операторские станции, серверы и шлюзы передачи данных. Управление осуществляют операторы, наблюдающие за показаниями сигналов датчиков и средств сигнализации.

Исходя из рассмотренных требований к умным электростанциям, рассматриваются и разрабатываются состав основных элементов таких систем управления. Основные разработки ведутся в рамках программы Energy Net – программы комплексного преобразования энергетики. В состав основных систем управления должны входить интеллектуальная система управления технологическими процессами. Управление технологического процесса происходит с помощью нейронных сетей на основе опытной эксплуатации основного оборудо-

вания. В процессе управление на основе собранных данных о работе оборудования формируется управляющее воздействие на регулирующие органы для достижения оптимального функционирования оборудования с позиции принятых критериев.

Критерии управления электрическими станциями с позиции технологических, экономических и экологических критериев противоречивы. В последнее время достижение экологических критериев превалирует над энергетическими затратами. Вопросы обеспечения надежности электростанции до сих пор остаются приоритетными. Критерии управления, которые будут приняты для управления умной электрической станцией, зависят от стратегии, принятой государством. Интеллектуальное управление технологическими процессами должно включать также управление режимов работы. Управление технологическими процессами должно быть перестроено в соответствии с новой нормативной базой, разрабатываемой на основе доктрины энергетической безопасности РФ и энергетической стратегии.

Для расширения функционала контроль уровня параметров заменяется сравнением измеренных параметров с расчетными. Расчетные параметры формируются на основе интеллектуальных цифровых двойников. Цифровые двойники формируются при производстве высокотехнологичного оборудования, и в процессе эксплуатации на основе обучения нейронных сетей происходит изменение математической модели [2].

Следующий блок умной электростанции включает в себя интеллектуальное управление техническим обслуживанием, ремонтом и бизнес-процессами. На основе интеллектуального автоматического контроля параметров и диагностики собирается информация о состоянии оборудования электростанции. Одновременно происходит учет наработки по всем единицам оборудования. На основе полученной информации происходит определение всех воздействий над технологическим оборудованием, планирование ремонта, закупки оборудования и комплектующих и другими экономическими процессами. На основе самодиагностики оборудования и систем управления упрощаются ремонт и техническое обслуживание. На основании работы системы управления происходит автоматическое формирование технико-экономических отчетов и первичной документации.

Блоки цифровых двойников и управление техническим обслуживанием, ремонтом и бизнес-процессом работают удаленно. Вследствие чего создается интеллектуаль-

ная система кибербезопасности и система управления физическим доступом транспорта и персонала

В России развитие систем умной электростанции появляется поэтапно. Первые системы предикативной аналитики внедрены на атомных и гидравлических электростанциях [5, 7]. В настоящее время активно ведется разработка систем умного управления электрическими станциями. Лидерами в области программного обеспечения являются зарубежные производители: SPPA D3000 plant Monitor Simens, General Electric digital twin, Aveva predictive analytics и др. В России внедрение систем умного управления находится на этапе разработки собственного и замены иностранного программного обеспечения. Поэтому на данном этапе важно определиться с основными подходами в обработке диагностических сигналов. Система прогностики на базе программного комплекса «Прана» позволяет реагировать на отклонение параметров в режиме реального времени с временем реакции на отклонение параметра 1 секунда, позволяя выявлять большинство возникающих дефектов за месяц до их возникновения. Система «Прана» является одним из лидеров в области диагностики энергетического оборудования.

Создание системы умного управления невозможно без развития нейронных систем управления. Принципы создания систем управления на основе нечетких множеств описаны в [8]. В настоящее время применение систем управления на основе нечетких множеств позволяет создавать системы управления для реализации сложных законов регулирования. Нечеткие алгоритмы управления в совокупности с использованием классических способов и методик регулирования позволяют существенно улучшить ряд динамических характеристик развитых систем автоматизации, упростить синтез процедур управления такими системами, а также расширить возможности учета и компенсации детерминированных и недетерминированных возмущающих воздействий.

Модернизация включает в себя не только изменение аппаратной системы, активно развивается система обработки. Система умного реагирования направлена на изменение подхода за контролем параметром. В классическом подходе ведется контроль за превышением сигнала от уставки. В системе предиктивной аналитики контроль параметров ведется за отклонением от расчетного сигнала, определяемого на основании математического моделирования объекта диагностирования. Расчетный сиг-

нал разрабатывается на основе разработки цифрового двойника. Принципы проектирования описаны в [2]. Цифровое моделирование входит в систему предиктивной аналитики. Разрабатываемые модели во время производства энергетического оборудования во время эксплуатации претерпевают изменения, и в процессе работы на основе обучения нейронных сетей происходит изменение модели цифрового двойника. Обработка ведется на основе нейронных сетей [9].

Обработка сигналов датчиков также претерпевает изменение за счет изменения подходов к обработке. Остро стоит вопрос по обеспечению кадров для выполнения заявленных задач. С 2022 г. проходит конкурс в области специалистов по диагностике электрических станций. В числе основных задач стоит умение обработки датасетов и выявления момента обнаружения изменений, ведущих к аварии, разделение режимов работы оборудования, выявление аномалий. Лучшие решения появляются с использованием инструментов нечеткой логики. Искусственные нейронные сети предлагается применить для решения задач, где формализация процедур решения либо достаточно сложная, либо по определенным причинам невозможна.

Заключение

Проведя анализ литературных источников по проблеме внедрения цифровых технологий в управление тепловыми электрическими станциями, можно сказать, что в России достигнут определенный успех в области внедрения умных электростанций. При этом имеются определенные сложности в наличии отечественного программного обеспечения для реализации проекта и соответствия законодательства в области управления электрической станцией.

На основании требований, разработанных для создания умных электрических станций, были проанализированы методы их достижения. Проанализировав задачи, решаемые внедрением в тепловые электрические станции, можно сделать вывод

о том, что достигнуть цели создания умных электрических станций возможно на основе искусственного интеллекта. Большинство требований, предъявляемых к умным электростанциям, состоит в наличии возможности самообучения, что также возможно решить только с помощью нейросетевых технологий.

Список литературы

1. Мартынов В., Зорченко Н., Панфилов Д. «Умные электростанции» – цифровое будущее энергетики // Энергетическая политика. 2021. № 9 (163). С. 86–95. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_9163_86. EDN USNQID.
2. Горькавый М.А., Егорова В.П., Соловьев В.А., Горькавый А.И., Мельниченко А.И. Разработка архитектуры системы управления роботизированным производственным процессом на базе технологии цифрового двойника // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2023. № 1 (65). С. 40–46. DOI: 10.17084/20764359-2023-65-40. EDN RXYVAN.
3. Гаак В.К., Гаак А.В. Износ оборудования – возрастающая проблема теплоэнергетики // Национальные приоритеты России. 2017. № 1 (23). С. 99–102.
4. Степанов Л.А. Энергетика будущего: прогнозы и перспективы (краткий обзор) // Современная наука и образование: проблемы, решения, тенденции развития: сборник статей III Международной научно-практической конференции (Петрозаводск, 18 января 2024 г.). Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. С. 276–280. EDN BMEUWJ.
5. Семенихин А.В., Саунин Ю.В., Жук М.М. Опробование системы диагностики входной информации СВРК на энергоблоке № 1 Нововоронежской АЭС-2 // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. № 3. С. 88–97. DOI: 10.26583/nre.2017.3.08.
6. Кораблев Ю.А. Прогнозирование неисправностей в технических системах на основе модели сходства оставшегося полезного срока службы // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 6 (242). С. 142–155. DOI: 10.18522/2311-3103-2024-6-142-155. EDN MENUZY.
7. Липатов М. Первый в России комплекс предиктивной аналитики для энергетического и промышленного оборудования // Экспозиция Нефть Газ. 2016. № 3 (49). С. 82–83.
8. Хрульков В.Н., Черный С.П. Особенности реализации нечетких алгоритмов управления на базе программируемых логических контроллеров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 1 (57). С. 52–62. DOI: 10.17084/20764359-2022-57-52.
9. Ермоленко Д.В., Азаров П.С. Применение современных информационных технологий в энергетике // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 71. С. 12–16. EDN TQHQDG.