

УДК 69.003

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-45-58

Обеспечение энергоэффективности тепловых электрических станций и тепловых сетей через цифровую трансформацию

Н. Л. Тарануха, доктор экономических наук, профессор,
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. С. Иванова, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. Н. Панков, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассматривается вопрос современного развития предприятий энергетической отрасли Российской Федерации с внедрением инновационных цифровых технологий. Актуальность исследования на выбранную проблематику обусловлена трансформационными процессами в энергетической промышленности, происходящими под влиянием внедрения цифровой экономики и развития цифровых технологий. Осуществлено исследование существующего положения и особенностей отечественной энергетической отрасли с выявлением основных факторов низкой эффективности, побуждающее энергетические компании к цифровой трансформации. Рассмотрено одно из ключевых направлений совершенствования производственной деятельности предприятий энергетической отрасли Российской Федерации по развитию системы управления энергоэффективностью благодаря процессам цифровизации. Приведены практические примеры создания, внедрения и развития цифровых технологий на действующих тепловых электрических станциях (далее ТЭС) и тепловых сетях, направленных на снижение энергоёмкости производства электрической и тепловой энергии, переход от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию оборудования: цифровые двойники ТЭС, цифровые узлы тепловых сетей, системы предиктивной аналитики и удаленного мониторинга. Рассмотрены предназначение, функционал, принципы и модели работы, получаемые эффекты от внедрения цифровых систем, перспективные направления развития цифровых технологий. Выполнен сравнительный анализ с выявлением преимуществ и недостатков зарубежных и отечественных систем цифровых двойников и предиктивной аналитики, разрабатываемых в условиях санкций недружественных стран. Приведены ключевые барьеры, препятствующие и сдерживающие процессы полномасштабной цифровой трансформации предприятий энергетической отрасли. Установлены необходимые условия и мотивирующие факторы государственной поддержки отечественного бизнеса для успешной реализации и развития цифровых технологий.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровой двойник, системы предиктивной аналитики и мониторинга, цифровой тепловой узел.

Введение

Энергетика играет одну из ключевых ролей на протяжении всей жизни человечества. Она является основой развития базовых отраслей промышленности. Функционирование и развитие любой отрасли национальной экономики связано с потреблением электрической и тепловой энергии [1]. В существенную долю себестоимости продукции, товаров и услуг входят затраты на использованные энергоресурсы. К примеру, рост цен на энергоносители в небольшой степени диктует рост цен на сырье и строительные материалы, а это ведет к увеличению стоимости строительства. Без совершенствования технологий и инновационного развития энергетической отрасли крайне сложно повысить конкурентоспособность страны, производственной инфраструктуры, влиять на качество жизни населения [2].

Российская электроэнергетика имеет свои особенности, связанные с избытком традиционных топливно-энергетических ресурсов, большой и протяженной территорией с низкой плотностью сети населенных мест, специфическими социально-экономическими факторами.

Ключевым вызовом для отрасли остается растущая неэффективность электроэнергетического сектора, приводящая к повышению тарифов и цен на электроэнергию для промышленных и коммерческих потребителей. Вызов обостряется и тем, что современные потребители становятся все более требовательными в отношении доступности, надежности и качества электроэнергии. В этом контексте следует понимать, что отрасль, базирующаяся на традиционных технологиях, не способна существенно повысить свою эффективность, а также удовлетворить новые требования потребителей без заметного роста стоимости электроэнергии.

Основным вызовом для российской электроэнергетики является дорогая мощность (постоянные затраты на функционирование энергосистемы): итоговая стоимость включает как плату за генерирующую мощность, так и плату за содержание сетей, которая не зависит от объема потребления. Субсидирование населения промышленными потребителями усугубляет проблему, так как часть затрат на мощность перекладывается с граждан на компании. В результате мощностная составляющая в цене электроэнергии для промышленности является одной из самых высоких в мире.

Высокая цена на мощность, включая цену на генерирующую мощность и тариф за эксплуатацию сетей, образуется за счет следующих факторов [3]:

- большие расстояния и низкая плотность нагрузки. На 1 кВт потребления мощности в России требуется в 1,5–3 раза больше сетевых активов, чем в большинстве других стран;

- высокая стоимость строительства, на 20–40 % выше, чем в Европе;

- низкая загрузка существующих сетевых и генерирующих мощностей. Средняя загрузка сетевых активов магистрального сетевого комплекса составляет 26 %, а распределительного – 32 %. Среднегодовой коэффициент использования установленной мощности КИУМ около 50 %;

- низкая производительность труда. На 1 МВт установленной мощности в России приходится в 10 раз больше работников отрасли, чем в США. Даже с учетом корректировки на наличие комбинированной выработки в России этот разрыв остается на уровне 5–7 раз.

Таким образом, увеличение тарифной нагрузки на потребителя за счет, например, реконструкции сетевых мощностей, необходимых для обеспечения 1 кВт потребительской мощности, приводит к 3–5-кратному превышению стоимости мощности для потребителя в России по сравнению с европейскими странами.

Дополнительным фактором низкой эффективности российской электроэнергетики является технологический уровень традиционных ТЭС, составляющих 68 % генерирующих мощ-

ностей Российской Федерации. Средний КПД ТЭС России не превышает 40 %, в то время как КПД парогазовых блоков ПГУ составляет от 50 до 60 %.

Целью настоящей статьи является исследование практических примеров повышения энергоэффективности ТЭС и тепловых сетей за счет внедрения цифровых технологий, выявление сдерживающих факторов полномасштабной цифровой трансформации, установление необходимых условий и мотивирующих факторов государственной поддержки для успешной реализации и развития цифровых технологий в энергетической отрасли.

Исследование сложившейся ситуации в сфере цифровой трансформации предприятий энергетической отрасли

При рассмотрении задачи цифрового преобразования национальной электроэнергетики необходимо принимать во внимание условия международных санкций на поставки электроэнергетического оборудования и программного обеспечения (далее ПО), отсутствия производства ряда компонентов и целых классов энергетического оборудования на территории России, высокой стоимости заемного финансирования и низкой инвестиционной активности. В стремительно меняющихся геополитических условиях российская электроэнергетика сталкивается с рядом серьезных вызовов, в том числе в области цифровизации. Зарубежные производители оборудования и ПО покидают российский рынок, разрушаются логистические цепочки, как результат – перед отечественными отраслевыми компаниями встают крайне непростые задачи по ускоренному замещению программных и программно-аппаратных комплексов или отдельных элементов в их составе [4], поэтому в концепции развития энергетики необходимо рассматривать вопросы преимущественного использования российских решений и технологий, создание стимулов для развития российского производства, а также инвестиционной привлекательности отраслевых проектов.

Пример цифровой трансформации различных сфер деятельности современной энергетической компании приведен на рис. 1.

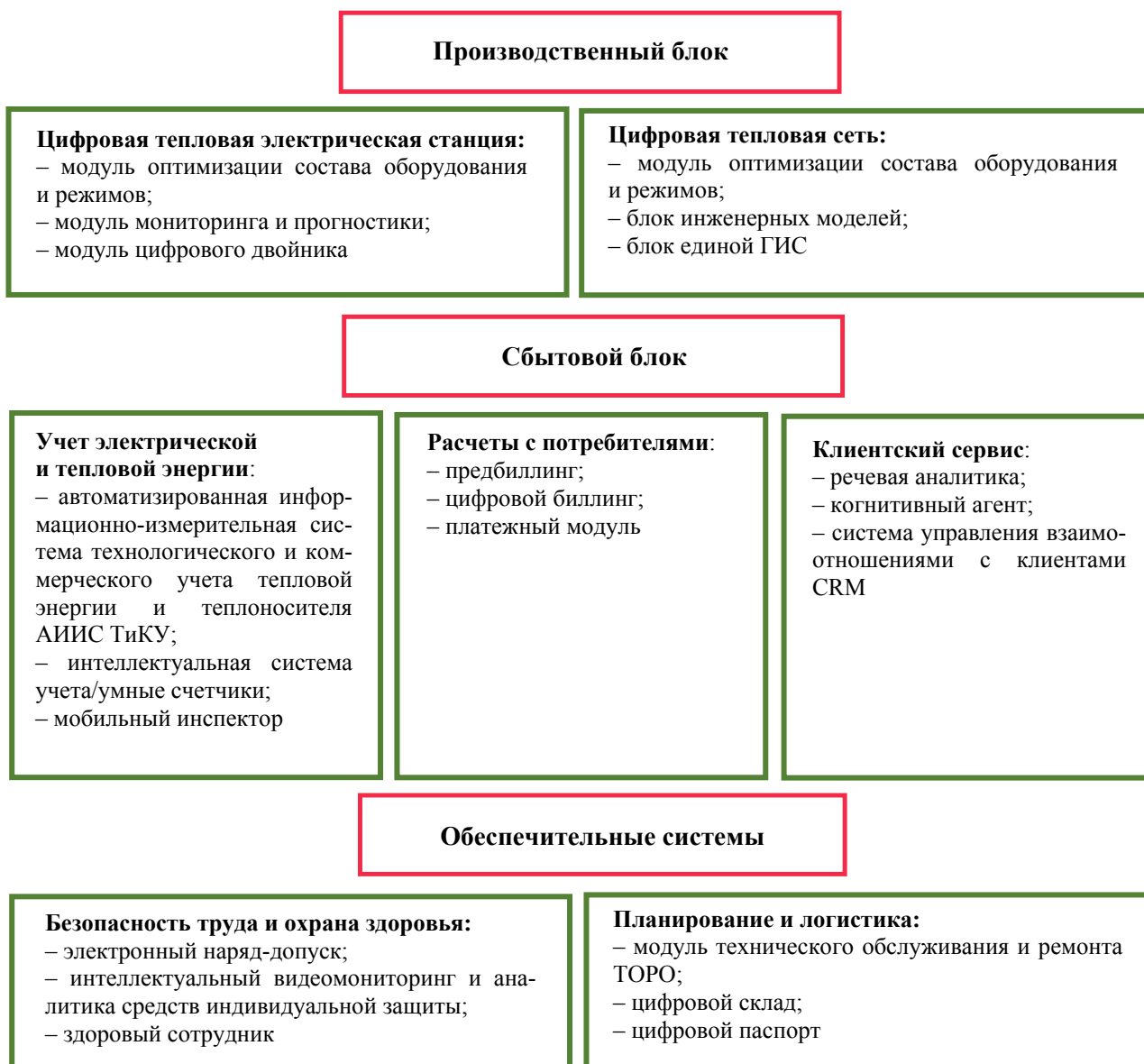


Рис. 1. Цифровизация сфер деятельности энергетической компании

Fig. 1. Digitalization of the fields of activity of the energy company

Рассмотрим пример внедрения системы «ПРАНА» предиктивной прогностики и удаленного мониторинга оборудования парогазового блока ПГУ Ижевской ТЭЦ-1. Система «ПРАНА» введена в эксплуатацию в 2016 году и имеет следующий принцип работы: текущие значения эксплуатационных параметров оборудования блока ПГУ из автоматизированной системы управления технологическим процессом (далее АСУ ТП) в постоянном режиме передаются на сервер нижнего уровня, расположенный в специальном отведенном помещении Ижевской ТЭЦ-1, далее по защищенному каналу связи информация транслируется на сервер верхнего уровня в центр прогностики и удаленного мониторинга. Система «ПРАНА» производит

обработку, анализ, сравнение полученных данных с идеальной расчетной математической моделью объекта, формирует информационные предупреждения эксплуатационному персоналу о зафиксированных отклонениях и деградиционных процессах, рассчитывает значения остаточного ресурса оборудования с определением критических элементов [5].

С помощью системы «ПРАНА» ведется мониторинг эксплуатационных параметров и прогнозирование технического состояния газовой и паровой турбины, электрических генераторов, газовой дожимной компрессорной станции блока ПГУ Ижевской ТЭЦ-1. В системе «ПРАНА» каждой единице оборудования создается ее цифровой образ – набор математических моде-

лей, описывающих идеальное поведение в различных режимах эксплуатации. Система ежедневно сравнивает текущее состояние оборудования с моделью. В случае возникновения отклонений система автоматически выстраивает 10 параметров, вносящих наибольший вклад в изменение технического состояния. Далее в работу включаются специалисты, использующие экспертные модули, которые позволяют выработать необходимые рекомендации по устранению возникшего дефекта на основе массива обработанных ранее данных [6].

Функции системы «ПРАНА»:

- построение эталонных математических моделей различных режимов работы оборудования с учетом его индивидуальных особенностей;
- автоматическая индикация и оповещение (sms, e-mail) о выходе значений параметров, характеризующих работу оборудования, за границу, заданную эталонными моделями режимов работы;
- автоматизированное аналитическое определение причин выхода значений параметров, характеризующих работу оборудования, за установленные пределы при помощи «матрицы дефектов»;
- прогнозирование вероятного срока безотказной работы оборудования;
- сравнительный анализ различных режимов работы оборудования для однотипных объектов;
- выделение опасных режимов работы оборудования;
- прогноз ресурса узлов и деталей.

Системы предиктивной аналитики и мониторинга в своем развитии способствуют качественному переходу от системы планово-предупредительных ремонтов по регламентам к системе ремонтов по фактическому техническому состоянию, то есть от нормативных, формальных сроков ремонта – к рискориентированным, реально профилактическим, когда алгоритмы системы будут в постоянном режиме оценивать реальное состояние деталей, узлов, агрегатов в целом [7].

Профессиональное экспертное сообщество по наработанному опыту эксплуатации систем прогнозтики и предиктивной аналитики пришло к выводу, что для эффективного прогнозирования сложных технических систем, таких как основное энергетическое оборудование, требуется развитие систем математических методов моделирования и анализа.

Ранние системы прогнозтики строились на основе метода регрессивного анализа наименьших квадратов для прогнозирования параметров оборудования по выборочным данным. К недос-

таткам данного метода моделирования относится использование только статистических моделей. С развитием технологий и вычислительных мощностей обработки данных появилась возможность рассчитывать модель не только единицы основного оборудования, но и каждого узла, входящего в состав оборудования, что повышает качество прогнозирования технического состояния [8]. К примеру, если всего 6 лет назад для парогазового блока ПГУ рассчитывалось 6 моделей по единицам оборудования – газовая турбина, котел-утилизатор, паровая турбина, генератор газовый и генератор паровой турбины, газовая дожимная компрессорная станция, то сейчас есть примеры развития систем мониторинга и прогнозтики с расчетом более 250 моделей отдельных узлов оборудования, обученных на фактических технических параметрах, зафиксированных на всем жизненном цикле эксплуатации. В профессиональной среде эти данные называют историческими.

В целом блок-схема современной системы мониторинга и прогнозтики технического состояния оборудования ТЭС приведена на рис. 2.

Современные модели систем прогнозтики комбинированные, гибридные: в случае нехватки точек контроля и инструментально замеренных параметров для расчета производственных процессов используется блок физического моделирования. Каждый отдельный узел представляет из себя вычислительный блок на основе заданных характеристик – карты производительности агрегата, напорной характеристики насоса, характеристики регулирования исполнительного механизма и так далее. В ходе моделирования комплекса узлов оборудования производится формирование системы уравнений невязок между входами-выходами связанных узлов и ее решением численным способом. В качестве примера на рис. 3 приведена схема физико-математического моделирования газовой турбины.

Классификатор дефектов – одна из ключевых особенностей и преимуществ современных систем прогнозтики и мониторинга. Классификатор дефектов является своего рода базовым информационным справочником, содержащим определенные виды и типы дефектов, которые происходили на оборудовании или в будущем могут произойти в зависимости от изменения технологических производственных параметров [9]. В профессиональном энергетическом сообществе считается, что классификаторы дефектов зарубежных компаний Siemens, General Electric обладают достаточно объективной и полной информацией по своему типу выпускаемого оборудования.

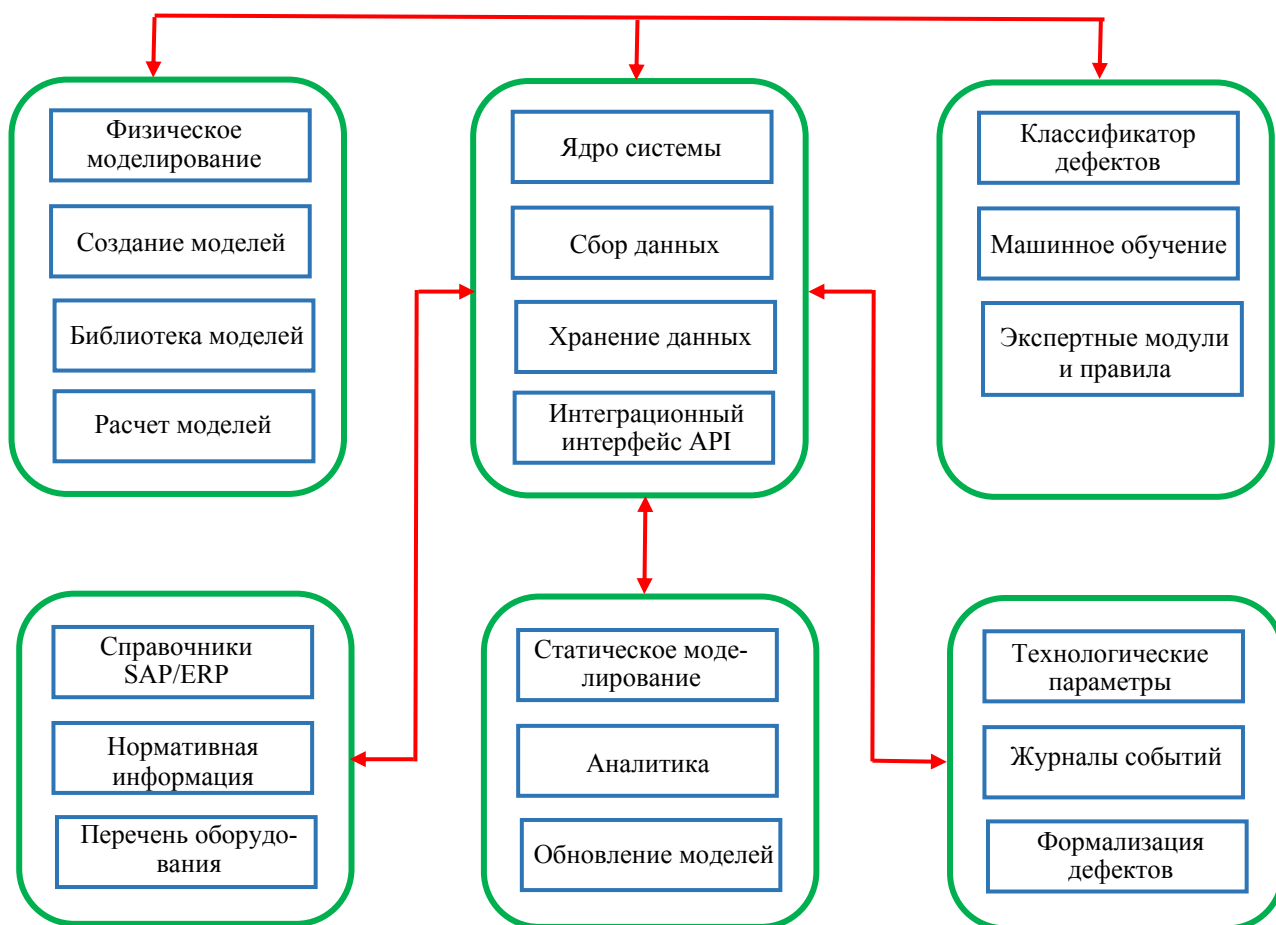


Рис. 2. Блок-схема системы мониторинга и прогностики
 Fig. 2. Block diagram of the monitoring and prognostic system

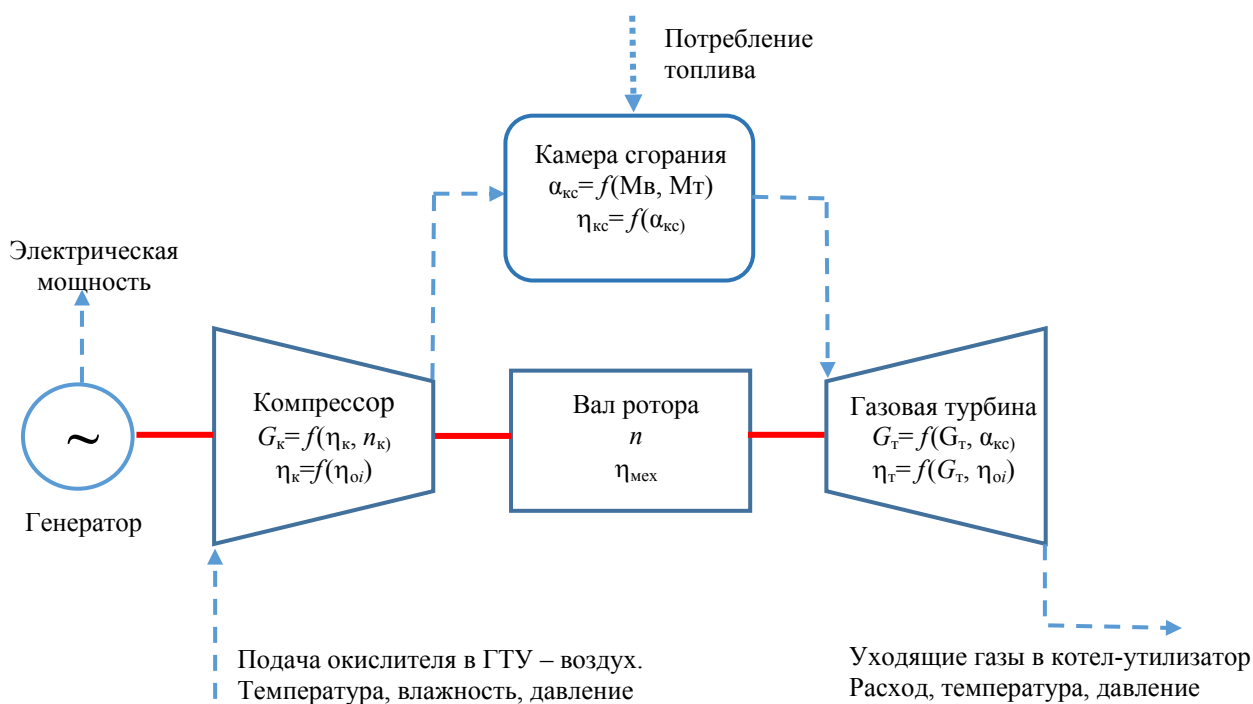


Рис. 3. Схема физико-математического моделирования газовой турбины
 Fig. 3. Scheme of physical and mathematical modeling of a gas turbine

Ведутся отечественные разработки классификаторов дефектов, чему способствует большой накопленный объем цифровых исторических данных технологических параметров паровых блоков ПГУ. К примеру, компания ПАО «Т Плюс» эксплуатирует 10 блоков ПГУ, построенных в рамках договоров на поставку мощности. ПАО «Т Плюс» обладает историческими цифровыми данными по работе каждой единицы основного оборудования порядка 60–70 тыс. часов с момента ввода блоков ПГУ в эксплуатацию. Колоссальный массив исторических данных позволяет проанализировать и классифицировать все произошедшие дефекты, создать экспертные модули и правила, которые позволят выявить негативные тенденции и деградацию параметров работающего оборудования, выдать сигнал на необходимость выполнения ремонтного обслуживания узлов оборудования по техническому состоянию, тем самым предотвратить выход из строя дорогостоящего и высокоэффективного оборудования.

Преимущество использования классификатора дефектов в возможности его наполнения данными по всему эксплуатируемому однотипному оборудованию, что гарантирует объективность и точность прогнозирования. Классификатор дефектов может оперативно дополняться и актуализироваться с описанием и зависимостями новых дефектов. Принцип работы классификатора дефектов приведен на рис. 4 на примере газовой энергетической турбины.

Требуется отметить, что разные типы оборудования имеют свои технические и конструктивные особенности, поэтому требуется создавать отдельный классификатор дефектов для каждого типа оборудования. К примеру, классификатор дефектов для газовой турбины ГТЭ-160 Siemens, имеющей две выносные камеры сгорания, не подойдет к газовой турбине Alstom GT13E2 General Electric, имеющей кольцевую камеру сгорания.

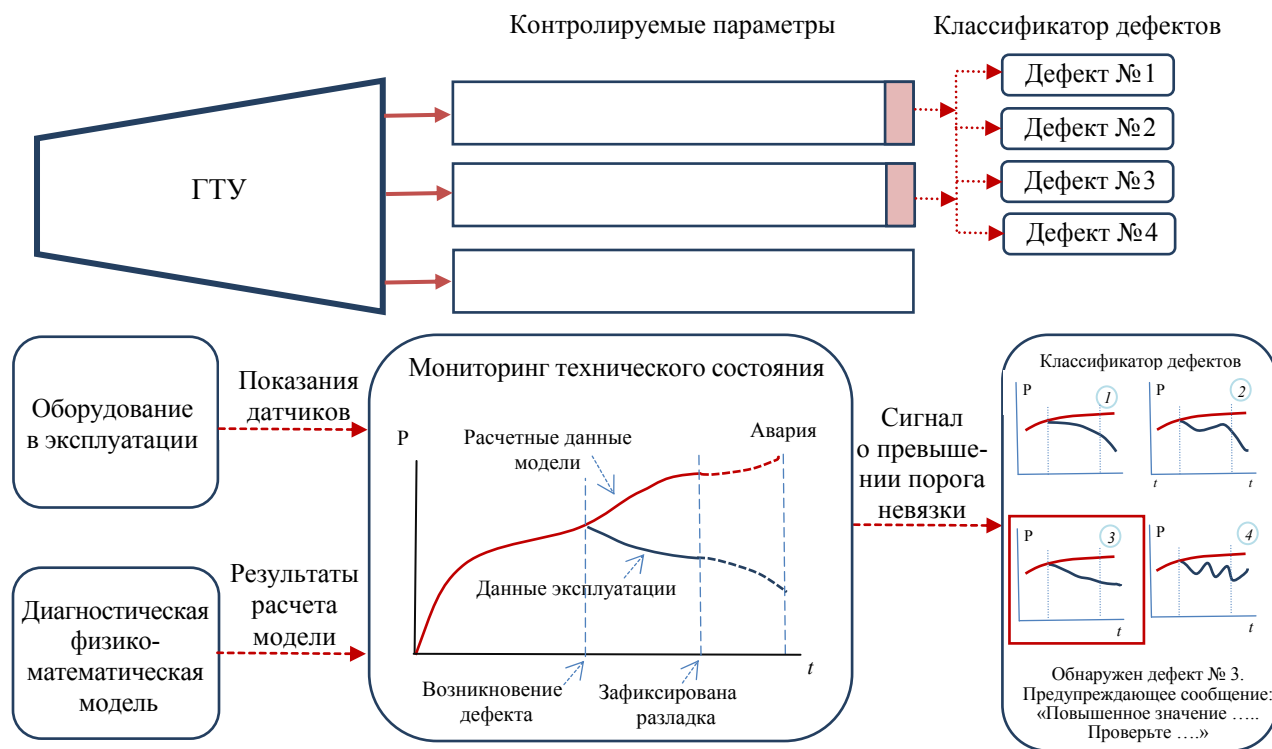


Рис. 4. Принцип работы классификатора дефектов

Fig. 4. The principle of operation of the classifier of defects

Практически все крупные отечественные генерирующие компании, включая ПАО «Т Плюс», ПАО «Интер РАО», ООО «Газпром энергохолдинг», госкорпорация «Росатом», разрабатывают собственные системы предиктивной аналитики и мониторинга.

Преимущества разрабатываемых отечественных систем прогнозности заключаются в разработке собственных компетенций и наличии российского программного обеспечения в едином реестре отечественного ПО. Установившаяся геополитическая ситуация и введенные недру-

жественными странами санкции в отношении России не позволяют приобретать специализированное западное программное обеспечение для систем прогнозтики, тем самым побуждая отечественный бизнес разрабатывать собственные программы. Первопроходцами в области разработки систем прогнозтики и мониторинга были иностранные компании-производители энергетического оборудования, такие как Siemens и General Electric. Очевиден факт обладания данными иностранными компаниями изобильным опытом построения и эксплуатации систем прогнозтики, наличия исчерпывающего классификатора дефекта. Остальные специфические особенности систем прогнозтики у отечественных и иностранных разработчиков идентичны и включают в себя:

- наличие машинного обучения;
- применение статического и физического моделирования;
- наличие библиотеки модулей узлов и оборудования;
- использование гибридных моделей оборудования;
- обеспечение бесшовной интеграции данных на основе единой базы данных с использованием существующих источников информации SAP ERP;
- развернутую аналитику и мониторинг показателей работы оборудования, динамические мнемосхемы, интеграцию со смежными системами ИТ.

Системы предиктивной аналитики и мониторинга нашли свое практическое применение на современных блоках ПГУ, построенных по договорам предоставления мощности в 2010–2020 годах и оснащенных в достаточной мере точками измерительного контроля параметров технологических процессов. Для традиционных паросиловых ТЭС, построенных в 1960–1990 годах, для контроля текущего состояния и обеспечения экономичного режима работы более актуальной является разработка инженерной модели ТЭС, так называемого цифрового двойника.

Внедрение цифрового двойника ТЭС позволяет выполнять непрерывный автоматический расчет режимов работы оборудования по фактическому состоянию, предоставляет возможность оперативной коррекции режима эксплуатации ТЭС с целью достижения минимальных топливных затрат путем оптимального распределения заданных величин тепловой, электрической и паровой нагрузок между оборудованием [10]. Цифровой двойник ТЭС позволяет рассчитывать фактический режим работы оборудова-

ния, не прибегая к историческим данным, которые зачастую отсутствуют в цифровом виде.

В настоящее время на большинстве объектов энергетики механизм по автоматическому сбору, обработке полученных данных и расчету пережогов топлива в полном объеме не реализован. Как правило, имеются разрозненные, не отличающиеся целостностью системы автоматического сбора и хранения данных. На ряде энергопредприятий до сих пор функционируют средства измерения, сбор технологических параметров с которых осуществляется вручную: бумажные ведомости, диаграммные приборные ленты. Обработка полученных первичных данных ведется персоналом производственно-технических отделов ПТО в большинстве случаев ручным способом. Расчет фактических ТЭП производится с большой дискретностью 1 раз в сутки. Подведение итогов работы ТЭС с расчетом пережогов топлива производится один раз в месяц. Возможность расчета пережогов и экономии топлива в режиме реального времени отсутствует. Это делает невозможным оперативный анализ режимов работы ТЭС по топливоиспользованию [11].

Внедрение инженерной модели ТЭС позволяет повысить эффективность использования топлива предприятий энергетики [12], в том числе:

- повысить прозрачность и достоверность, снизить трудоемкость всех расчетов ТЭС в части технико-экономических показателей (далее ТЭП);
- обеспечить возможность оперативного контроля эффективности режима работы оборудования для снижения пережогов топлива;
- исключить возможность влияния человеческого фактора на показатели эффективности процессов производства при ручном обсчете и ручном вводе данных посредством автоматизации сбора данных и проведения расчетов;
- поднять уровень оперативности представления текущей информации, что повысит эффективность управленческих решений при изменении режимов работы ТЭС;
- повысить качество планирования режимов работы за счет автоматизации расчета ТЭП с использованием автоматизированных алгоритмов оптимизации производственных процессов;
- обеспечить оперативной информацией участников процесса производства на всех уровнях управления (ТЭС – филиал – ПАО).

Принцип работы инженерной модели ТЭС приведен на рис. 5. Данная модель полностью

модулирует все физические процессы и рассчитывает все материальные и тепловые балансы ТЭС с расхождением в 1 %.

При разработке цифрового двойника ТЭС сначала создается статическая модель всех технологических процессов ТЭС с расчетом балансов, затем динамическая модель ТЭС с калибровкой на реальных данных с учетом текущего эксплуатационного режима работы оборудования. За основу берутся показания поверенных

приборов коммерческого учета и положения регулирующих исполнительных механизмов оборудования, далее модели выполняют расчет всех показателей. К проблемам разработки статической и динамической модели относится недостаточное количество штатных точек инструментального контроля параметров технологического процесса, что приводит к сверхнормативным расхождениям фактических и расчетных балансов при верификации моделей.



Рис. 5. Принцип работы инженерной модели ТЭС

Fig. 5. The principle of operation of the TPP engineering model

На основании верификации статической и динамической модели ТЭС можно сделать вывод о необходимости дооснащения датчиками с целью обеспечения инструментального контроля режима работы оборудования. Ввиду больших капитальных затрат на установку дополнительного физического инструментального контроля технологических параметров при внедрении цифрового двойника появляется ключевое преимущество использования так называемых виртуальных датчиков, моделирующих с расхождением в 1 % конкретные физические

параметры оборудования в онлайн-режиме. В таблице приведены данные о необходимости дооснащения точками контроля реально действующей ТЭС с целью внедрения инженерного модуля. Данная ТЭС с поперечными связями паросиловой схемы предназначена для работы в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, имеет установленную электрическую мощность 550 МВт в составе 5 турбоагрегатов номинальной мощностью 110 МВт каждый.

Дооснащение точками контроля ТЭС для внедрения инженерного модуля

Retrofitting of TPP control points for the introduction of an engineering module

Обозначение	Котлоагрегаты	Турбоагрегаты и генераторы	Вспомогательное оборудование	Итого
Вновь проектируемые точки контроля	954	1485	1025	3464
Дооснащение существующих точек контроля	358	338	85	781
Виртуальные датчики из цифровой модели	202	117	122	441
Итого:	1514	1940	1232	4686

По оценочным данным за счет внедрения инженерного модуля ТЭС, постоянного расчета балансов и определения пережога топлива, оптимизации режимов работы оборудования будет достигнута экономия в 2 % от снижения расхода топлива, что приведет к ожидаемому годовому эффекту для данной ТЭС в 84 млн руб. После подтверждения достигнутого экономического эффекта инженерный модуль может быть тиражирован на другие аналогичные по параметрам ТЭС. В среднем ввиду больших капитальных затрат порядка 100–220 млн руб на дооснащение дополнительными точками контроля в зависимости от установленной мощности и состава основного оборудования ТЭС, дисконтированный срок окупаемости внедрения цифрового модуля оценочно составляет от 5 до 8 лет.

К проблемам внедрения инженерного модуля ТЭС относятся:

- необходимость построения новой телекоммуникационной локальной вычислительной сети;
- ужесточение требований информационной безопасности для отдельных категорий критической инфраструктуры;
- в условиях санкций усложнение поставок приборов ИТ-инфраструктуры, что требует поиска новых партнеров с тестированием предлагаемого к поставке оборудования;
- для дооснащения датчиками требуется полный останов ТЭС, что возможно только в летний период;
- низкая экономическая привлекательность в связи с большими капитальными затратами на оснащение дополнительными точками контроля.

С целью повышения эффективности всего комплекса теплогенерирующего и теплоснабжающего оборудования современного мегаполиса требуется внедрение модуля «цифровой тепловой узел» для обеспечения целей [13]:

- снижения потерь в тепловых сетях;
- обеспечения эффективного режима работы ТЭС и котельных с соблюдением требуемого качества ресурса у потребителей при требуемой надежности системы;

- обеспечения расчетного режима работы тепловой сети;

- формирования интеллектуальной системы оптимальной загрузки тепловых источников.

Как показывает практика, расчеты загрузки тепловых источников выполняются в основном вручную, загрузка тепловых источников производится по сложившейся ситуации в районе теплоснабжения [14]. Ряд иностранных теплоснабжающих компаний, внедривших цифровые тепловые узлы централизованных систем отопления европейских городов, свидетельствует о полученном синергетическом эффекте, составлении на год вперед всех плановых режимов работы оборудования с обеспечением оптимальной загрузки наиболее эффективного оборудования с целью экономии ресурсов, планированием дополнительных ремонтных и инвестиционных воздействий к наиболее загруженному оборудованию. По оценочным данным профессионального сообщества, за счет внедрения инженерного модуля теплового узла крупного города с численностью населения более 1 млн человек будут получены эффекты, приведенные на рис. 6, включающие в себя:

- снижение тепловых и электрических потерь на 2 %;
- повышение маржинального дохода компании на 5 %;
- снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования на 12 % за счет оптимизации ремонтных воздействий, установки системы приоритетов ремонта наиболее загруженного оборудования;
- снижение затрат на сферу информационных технологий ИТ за счет оптимизации на 1 %.

Ввод в действие цифрового теплового узла является одним из основных действенных инструментов повышения производственной эффективности бизнес-процессов ТЭС, котельных, тепловых сетей как единого комплекса оборудования, работающего в непрерывном целостном режиме.



Рис. 6. Совокупный эффект от внедрения цифрового узла

Fig. 6. The cumulative effect of the introduction of a digital node

Анализ результатов исследования

Внедряемые цифровые технологии в энергетическую отрасль обеспечивают обработку большого массива экономической и технологической информации, значительно повышают скорость принимаемых решений в соответствии со складывающейся производственной обстановкой. На темп внедрения цифровых технологий оказывают влияние:

- внутренние возможности организации, такие как кадровый потенциал, технологический уровень производства и прочее;
- внешние факторы, такие как уровень конкуренции в индустрии, доступность технологий и капитала, развитие нормативно-законодательной базы.

Ключевым барьером, препятствующим полномасштабному внедрению на производстве цифровых технологий, является нехватка у предприятий финансовых ресурсов и высокая стоимость проектов в этой сфере. Сочетание

этих двух факторов делает затруднительным для компаний увеличение расходов с целью интенсивного запуска цифровой трансформации. Кроме того, существуют довольно значимые препятствия: недостаточная цифровая зрелость текущих процессов, низкий уровень автоматизации, отсутствие компетенций и низкий уровень ИТ-грамотности сотрудников, недостаточный уровень развития автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Сдерживающим фактором также является низкий уровень развития практик работы с данными. Как правило, на предприятиях данные собираются, обрабатываются и используются в сравнительно небольших объемах, не достаточных для их обработки, анализа, возможности применения для выявления закономерностей и машинного обучения. Зачастую на производственных предприятиях данные хранятся в собственных уникальных или устаревших форматах либо зашифрованы, что значительно услож-

няет или делает невозможным получение полезной информации из них, что критически затрудняет реализацию цифровой трансформации промышленности. Среди препятствий внедрения цифровой трансформации выделяется риск информационной безопасности, временное ухудшение управляемости на производстве [15, 16]. Для коммерческих компаний, как правило, причины неудач цифровой трансформации заключены:

- в отсутствии фокуса на долгосрочных целях, отсутствие конкретных целей по цифровизации;

- недостаточном внимании к основному бизнесу в ходе трансформации; отсутствии фокуса на повышение эффективности текущего бизнеса, игнорировании существующих клиентов и продуктов, стремлении развивать только новые направления;

- в недостаточно эффективном использовании имеющихся ресурсов, в том числе неэффективном использовании партнерств, стремлении все сделать самостоятельно, ориентируясь только на внутренние процессы.

Тем не менее практические примеры разумного подхода к цифровой трансформации и внедрению информационных технологий доказывают, что в них кроются настоящие прорывы во всех сферах производственной деятельности компаний, в социальной и экономической сферах деятельности городов и регионов, населения, страны в целом. Чтобы отечественный бизнес смог неограниченно раскрыть потенциал цифровой трансформации, необходимо системно на государственном уровне создавать выгодные и благоприятные условия, в том числе [17]:

1. Внедрение инноваций не должно нести больших издержек для бизнеса. При покупке и внедрении отечественных решений бизнес должен иметь возможность воспользоваться налоговыми льготами и направить дополнительные средства на технологическое обновление.

2. Должна быть обеспечена деятельность облачной инфраструктуры для программных, аппаратных инструментов и вычислительных мощностей с целью выстраивания работы с данными и сквозной цифровизации бизнес-процессов. Обеспечить развитие отечественных суверенных облачных технологий, различных платформ, сервисов, которые позволяют компаниям, гражданам и органам власти пользоваться ресурсами через интернет: работать в приложениях, хранить информацию, производить вычисления.

3. Обеспечить прочные законодательные гарантии защиты прав и свобод граждан и предпринимателей относительно доступа к массивам информации, определить специальные механизмы для защиты личной информации. Важно обеспечить бесплатный доступ к данным по разным отраслям промышленности, при этом получаемые сведения должны быть обезличены, не относиться к персональным данным, не позволять идентифицировать конкретного человека, вторгаться в его частную жизнь.

4. Поддержка отрасли информационных технологий, установление грантов за разработку новых и развитие действующих проектов цифровых технологий, на создание открытых, доступных для разработчиков библиотек лучших практик и технических решений.

5. При предоставлении компаниям бюджетных субсидий установить требования по повышению эффективности и обязательному использованию цифровых технологий. Необходимо системно контролировать ключевые показатели, такие как производительность труда, эффективность использования выделяемых государственных субсидий.

6. Оказывать всемерное методическое, консультативное содействие предприятиям и организациям, в том числе по каждой отрасли создавать центры индустриальных компетенций по практическому применению технологий интернета вещей, машинного обучения, обработки данных, а также ежегодно формировать справочник лучших решений в этой сфере.

7. Профессиональному сообществу ввести понятную для пользователей систему измерения и оценки продуктов, которые предлагают разработчики искусственного интеллекта, чтобы предприниматели, государственные органы понимали, на какие технические характеристики и параметры нужно ориентироваться при выборе конкретной технологии или программного обеспечения.

8. Фундаментальный, определяющий вопрос – наличие кадров. Необходимо внедрять элементы изучения цифровых технологий в школьные программы математики и информатики, наращивать уровень преподавания этих предметов, повышать квалификацию учителей, внедрять углубленные учебные программы в вузах для специалистов в сфере цифровизации и искусственного интеллекта.

9. Чтобы достичь по-настоящему значимых, прорывных результатов, не только государство, но и частный бизнес должен рассматривать развитие науки в качестве одного из важнейших

своих приоритетов, привлекать ученых, открывать собственные исследовательские подразделения. Создаваемые фундаментальные заделы и прикладные решения должны открывать новые направления деятельности, расширять горизонты развития бизнеса, давать компаниям дополнительные инструменты для наращивания конкурентоспособности и эффективности.

10. Нужно изучать передовой зарубежный опыт, перенимать все самое лучшее, все самые перспективные разработки, при этом предлагая свои оригинальные подходы, технологии, обеспечивающие решение задач на качественно новом уровне.

11. Развивать отечественное программное обеспечение.

12. Особое внимание уделить технологиям, которые помогают раскрыть потенциал искусственного интеллекта, – квантовые и фотонные вычисления, квантовые коммуникации, интернет вещей, другие сквозные и новые промышленные технологии.

Выводы

В современных цифровых технологиях скрыты существенные возможности для развития промышленности, страны, повышения уровня жизни людей. Положительные практические примеры внедрения систем прогностики и цифровых двойников высокотехнологичного оборудования, цифровое преобразование системы ремонтов и обслуживания убедительно свидетельствует о созидательной цифровой трансформации технологических процессов, росте профессиональных компетенций и навыков человеческого капитала энергетической отрасли. Учитывая постоянное улучшение программного обеспечения, совершенствование вычислительных мощностей, нацеленность бизнес-структур и государства на повышение эффективности производственных, экономических и социальных процессов, очевиден вывод – за цифровыми технологиями уже реальное настоящее и, без сомнения, перспективное будущее.

Библиографические ссылки

1. Тарануха Н. Л., Семенова С. В., Панков С. Н. Энергосберегающие решения при проектировании, строительстве, эксплуатации объектов жилой недвижимости // *Управленческий учет*. 2022. № 7-2. С. 345–359.

2. Тарануха Н. Л., Якушев Н. М., Панков С. Н. Обзор строительного рынка жилой недвижимости Удмуртской Республики // *Управленческий учет*. 2022. № 7-3. С. 575–587.

3. Цифровой переход в электроэнергетике России. Экспертно-аналитический доклад / А. Ю. Абрамов,

О. Г. Баркин, И. В. Данилин, Е. С. Рожкова, И. Ю. Ряпин, А. Г. Старченко, И. С. Чаусов, Р. М. Хазиахметов, В. Н. Княгинин, Д. В. Холкин. М. : Центр стратегических разработок, 2017. С. 22–26.

4. Грабчак Е. П., Медведева Е. А., Васильева И. Г. Как сделать цифровизацию успешной // *Энергетическая политика*. 2018. № 5. С. 25–29.

5. Щербатов И. А. Методологические основы создания автоматизированных систем диагностики и предиктивной аналитики объектов энергетики // *Математические методы в технологиях и технике*. 2021. № 5. С. 92–100.

6. Шабунин А. С., Чернецкий М. Ю. Физико-математические модели газотурбинных установок в системе предиктивной аналитики ПРАНА // *Научный журнал Российского газового общества*. 2022. № 4 (36). С. 72–81.

7. Создание систем предиктивной аналитики для энергетических объектов / А. В. Андрюшин, И. А. Щербатов, Г. Н. Цуриков, Ф. М. Титов // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019) : материалы Двенадцатой международной конференции / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна*. 2019. С. 452–460.

8. Шабунин А. С., Чернецкий М. Ю. Физико-математические модели газотурбинных установок в системе предиктивной аналитики ПРАНА // *Научный журнал Российского газового общества*. 2022. № 4 (36). С. 72–81.

9. Андреева О. В., Цилик А. С. Распознавание дефектов в стали с помощью нейронных сетей и задачи их классификации // *Информационные системы и технологии ИСТ-2020 : сборник материалов XXVI Международной научно-технической конференции*. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 919–923.

10. Булатов Ю. Н., Короткова К. Е. Применение технологий цифровых двойников в энергетике // *Труды Братского государственного университета*. Серия: Естественные и инженерные науки. 2021. Т. 1. С. 103–112.

11. Мясникова О. Ю. Цифровизация механизмов управления производственной системой предприятий энергетики // *Экономическая безопасность и качество*. 2020. № 2 (39). С. 94–99.

12. Дворцовой А. И., Григорьева О. К., Тихонов И. А. Оценка составляющих перерасхода топлива теплоэнергетического оборудования // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2020. № 2-3 (79). С. 109–122.

13. Верстина Н. Г., Евсеев Е. Г., Цуверкалова О. Ф. Особенности управленческих технологий в условиях освоения теплоснабжающими организациями «умных тепловых сетей» (SMART GRID) // *Управленческий учет*. 2021. № 8-3. С. 526–534.

14. Соловьев В. И. Цифровая трансформация систем теплоснабжения муниципального образования // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2019. № 2 (14). С. 52–61.

15. Осадчук Е. В. Цифровизация промышленности: барьеры на пути внедрения искусственного ин-

теллекта и предложения по их преодолению // Управление наукой: теория и практика. 2022. Т. 4, № 2. С. 201–209.

16. Мишулин Г. М., Губин А. В., Дегтярева Е. Д. Цифровая экономика как проблемная область инновационного развития: тенденции, противоречия, неопределенности // Феномен рыночного хозяйства: от истоков до наших дней. Синтез цифровых технологий и инновационных решений : сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции по экономике, посвященной памяти известного ученого и крупного организатора экономической науки на Юге России и в Средней Азии доктора экономических наук, профессора А.Ф. Сидорова. Майкоп, 2021. С. 226–240.

17. Официальный сайт президента России. Стенограмма конференции по искусственному интеллекту. URL: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-konferentsii-po-iskusstvennomu-intellektu-24-11-2022.html?ysclid=lc0enm26a1551544741> (дата обращения 09.01.2023).

References

1. Taranukha N.L., Semenova S.V., Pankov S.N. [Energy-saving solutions in the design, construction, operation of residential real estate]. Management accounting. 2022. No. 7-2. Pp. 345-359 (in Russ.).

2. Taranukha N.L., Yakushev N.M., Pankov S.N. [Review of the construction market of residential real estate of the Udmurt Republic]. Management accounting. 2022. No. 7-3. Pp. 575-587 (in Russ.).

3. A. Y. Abramov, O. G. Barkin, I. V. Danilin, E. S. Rozhkova, I. Y. Ryapin, A. G. Starchenko, I. S. Chausov, R. M. Khaziakhmetov, V. N. Knyaginina, D. V. Holkin. [Digital transition in the Russian electric power industry. Expert and analytical report]. Center for Strategic Research. Technologies. 2017. Pp. 22-26 (in Russ.).

4. Grabchak E.P., Medvedeva E.A., Vasilyeva I.G. [How to make digitalization successful]. Energy policy. 2018. No. 5. Pp. 25-29 (in Russ.).

5. Shcherbatov I.A. [Methodological foundations of creation automated diagnostic and predictive systems analysts of energy facilities]. Mathematical methods in technologies and engineering. 2021. No. 5. Pp. 92-100 (in Russ.).

6. Shabunin A.S., Chernetsky M.Yu. [Physical and mathematical models of gas turbine installations in the predictive analytics system PRANA]. Scientific Journal of the Russian Gas Society. 2022. No. 4 (36). Pp. 72-81 (in Russ.).

7. Andryushin A.V., Shcherbatov I.A., Tsurikov G.N., Titov F.M. *Sozdanie sistem prediktivnoi analitiki dlya energeticheskikh ob"ektov* [Creation of predictive analytics systems for energy facilities]. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2019) : materialy Dvenadsatoi mezhdunarodnoi konferentsii* [Proc. Managing the Development of large-scale systems (MLSD'2019). Materials of the twelfth International Conference]. Under the general editorship of S.N. Vasiliev, A.D. Tsvirkun. 2019. Pp. 452-460 (in Russ.).

8. Shabunin A.S., Chernetsky M.Yu. [Physical and mathematical models of gas turbine installations in the predictive analytics system PRANA]. Scientific Journal of the Russian Gas Society. 2022. No. 4 (36). Pp. 72-81 (in Russ.).

9. Andreeva O.V., Tsilikh A.S. *Raspoznavanie defektov v stali s pomoshch'yu neironnykh setei i zadachi ikh klassifikatsii* [Recognition of defects in steel using neural networks and problems of their classification]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii IST-2020 : sbornik materialov XXVI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proc. Information systems and technologies IST-2020. Collection of materials of the XXVI International Scientific and Technical Conference]. Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. 2020. Pp. 919-923 (in Russ.).

10. Bulatov Yu.N., Korotkova K.E. [Application of digital twins technologies in power engineering]. [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences]. 2021. Vol. 1. Pp. 103-112 (in Russ.).

11. Myasnikova O.Yu. [Digitalization of control mechanisms of the production system of energy enterprises]. Economic security and quality. 2020. No. 2 (39). Pp. 94-99 (in Russ.).

12. Dvortsevov A.I., Grigorieva O.K., Tikhonov I.A. [Assessment of the components of fuel overspending of thermal power equipment]. Scientific Bulletin of Novosibirsk State Technical University. 2020. No. 2-3. Pp. 109-122 (in Russ.).

13. Verstina N.G., Evseev E.G., Tsuverkalova O.F. [Features of management technologies in the conditions of development by heat supply organizations of "smart heating networks" (SMART GRID)]. Management accounting. 2021. No. 8-3. Pp. 526-534 (in Russ.).

14. Soloviev V.I. [Digital transformation of municipal heat supply systems]. Information and mathematical technologies in science and management. 2019. No. 2 (14). Pp. 52-61.

15. Osadchuk E.V. [Digitalization of industry: barriers to the introduction of artificial intelligence and proposals to overcome them]. Management of science: theory and practice. 2022. Vol. 4, no. 2. Pp. 201-209 (in Russ.).

16. Mishulin G.M., Gubin A.V., Degtyareva E.D. *Tsifrovaya ekonomika kak problemnaya oblast' innovatsionnogo razvitiya: tendentsii, protivorechiya, neopredelennosti* [Digital economy as a problem area of innovative development: trends, contradictions, uncertainties]. *Fenomen rynochnogo khozyaistva: ot istokov do nashikh dnei. Sintez tsifrovyykh tekhnologii i innovatsionnykh reshenii : sbornik nauchnykh trudov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po ekonomike, posvyashchennoi pamyati izvestnogo uchenogo i krupnogo organizatora ekonomicheskoi nauki na Yuge Rossii i v Srednei Azii doktora ekonomicheskikh nauk, professora A.F. Sidorova* [Proc. The phenomenon of market economy: from the origins to the present day. Synthesis of digital technologies and innovative solutions. Collection of scientific papers of the IX International Scientific and Practical Conference on Economics,

dedicated to the memory of the famous scientist and major organizer of economic science in the South of Russia and in Central Asia, Doctor of Economics, Professor A.F. Sidorov]. Maykop, 2021. Pp. 226-240 (in Russ.).

17. *Ofitsial'nyi sait prezidenta Rossii. Stenogramma konferentsii po iskusstvennomu intellektu* [The official

website of the President of Russia. Transcript of the conference on artificial intelligence]. Available at: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-konferencii-po-iskusstvennomu-intellektu-24-11-2022.html?ysclid=lc0enm26a1551544741> (accessed 09.01.2023).

Ensuring Energy Efficiency of Thermal Power Plants and Heating Networks by Means of Digital Transformation

N. L. Taranukha, Doctor of Economics, Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

S. S. Ivanova, Senior Lecturer, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

S. N. Pankov, Master Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The article deals with the issue of state-of-the-art development of the energy industry enterprises of the Russian Federation with the introduction of innovative digital technologies. The relevance of the research on the chosen problem is due to the transformational processes in the energy industry, that occur under the influence of digital economy introduction and the development of digital technologies. A study of the current situation and features of domestic energy industry has been carried out to identify the main factors of low efficiency that encourage energy companies to digital transformation. One of the key directions of improving the production activities of energy sector enterprises of the Russian Federation for the development of energy efficiency management system due to digitalization processes is considered. Practical examples of the creation, implementation and development of digital technologies at existing thermal power plants and thermal networks aimed at reducing the energy intensity of electric and thermal energy production, the transition from a system of scheduled preventive repairs to repairs according to the actual condition of equipment: digital counterparts of thermal power plants, digital nodes of thermal networks, predictive analytics systems and remote monitoring. The purpose, functionality, principles and models of work, the effects obtained from the introduction of digital systems, promising directions for the development of digital technologies are considered. A comparative analysis was carried out to identify the advantages and disadvantages of foreign and domestic systems of digital doubles and predictive analytics developed under the sanctions of unfriendly countries. The key barriers hindering and constraining the processes of full-scale digital transformation of energy industry enterprises are presented. The necessary conditions and motivating factors of state support of domestic business for the successful implementation and development of digital technologies have been established.

Keywords: digital transformation, digital twin, predictive analytics and monitoring systems, digital thermal node.

Получено: 10.01.23

Образец цитирования

Тарануха Н. Л., Иванова С. С., Панков С. Н. Обеспечение энергоэффективности тепловых электрических станций и тепловых сетей через цифровую трансформацию // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Том 21, № 1. С. 45–58. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-45-58.

For Citation

Taranukha N.L., Ivanova S.S., Pankov S.N. [Ensuring energy efficiency of thermal power plants and heating networks by means of digital transformation]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 1, pp. 45-58 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-45-58.