

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (ОБЗОР)

© 2022 г. Е. Ю. Головина<sup>а</sup>, \*, Е. В. Самаркина<sup>а</sup>, Н. Е. Буйнов<sup>а</sup>, М. В. Евлоева<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ул. Лермонтова, д. 83, Иркутск, 664074 Россия

\*e-mail: elena\_uspeh@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2021 г.

После доработки 28.09.2021 г.

Принята к публикации 27.10.2021 г.

Инновационное развитие — драйвер повышения эффективности организаций топливно-энергетического комплекса (ТЭК), а также надежности, качества и экономичности энергоснабжения потребителей на базе современных технологий с превращением их в интеллектуальное ядро технологической инфраструктуры теплоэнергетики. Информационные технологии продолжают активно проникать во все ключевые сферы человеческой деятельности и отрасли экономики, являются условием конкурентоспособности и экономического развития страны, обеспечения роста качества жизни людей. Текущий этап этого процесса получил определение “цифровая трансформация”. Он характеризуется совершенно новым качеством: цифровые технологии переходят из категории вспомогательных инструментов в основные средства производства. Не обошел этот процесс и топливно-энергетический комплекс. Переход на цифровой режим работы — ответ на внешние технологические вызовы и будущие структурные изменения в энергосистеме. В статье выполнено исследование целей цифровой трансформации компаний теплоэнергетики. Определено влияние цифровизации и цифровой трансформации теплоэнергетики на энергосбережение, повышение энергетической эффективности и качества работ энергосетевой инфраструктуры. Представлена практика реализации проектов по внедрению цифровых технологий в целях энергоэффективной модернизации систем теплоснабжения. Рассмотрены фундаментальные труды зарубежных и отечественных авторов в сфере цифровой экономики. По результатам исследования представлен уточненный понятийный аппарат, предложен авторский подход к элементам цифровой трансформации и выделены категории, лежащие в основе Индустрии 4.0 и включающие в себя определенный набор цифровых технологий, в том числе перспективных, с точки зрения их применения в теплоэнергетике.

*Ключевые слова:* Индустрия 4.0, автоматизация, цифровая трансформация теплоэнергетики, энергоэффективность, Smart Grid, интеллектуальная обработка данных

DOI: 10.1134/S0040363622060042

Термин “Четвертая промышленная революция” активно используется для описания изменений, которые происходят в мировой экономике в связи с широким внедрением достижений цифровых технологий (BigData, искусственный интеллект, интернет вещей и др.) (рис. 1). Принципиальная новизна этого процесса заключается в стирании граней между реальным и виртуальным пространством. Важно отметить, что современные информационные и коммуникационные технологии открыли новое, широкое поле возможностей для предприятий всех отраслей экономики. Активная цифровизация и цифровая трансформация обеспечивают рост эффективности, открывают выход на новые рынки, позволяют реализовать в полной мере инновационный потенциал бизнес-структур.

Сегодня во многих отраслях внедряются технологии, с помощью которых создаются совершенно новые способы удовлетворения потребностей и разрываются существующие производственно-сбытовые цепочки. Примером являются технологии и сети хранения в энергетическом секторе, которые ускоряют переход к децентрализации источников [1].

В России, так же как и в мировой практике, действуют нормативно-правовые документы и целевые государственные программы, направленные на цифровую трансформацию, широкое внедрение современных информационных и коммуникационных технологий в различные сферы деятельности [2–13]. Так, в 2017 г. Правительство РФ утвердило программу “Цифровая экономика Российской

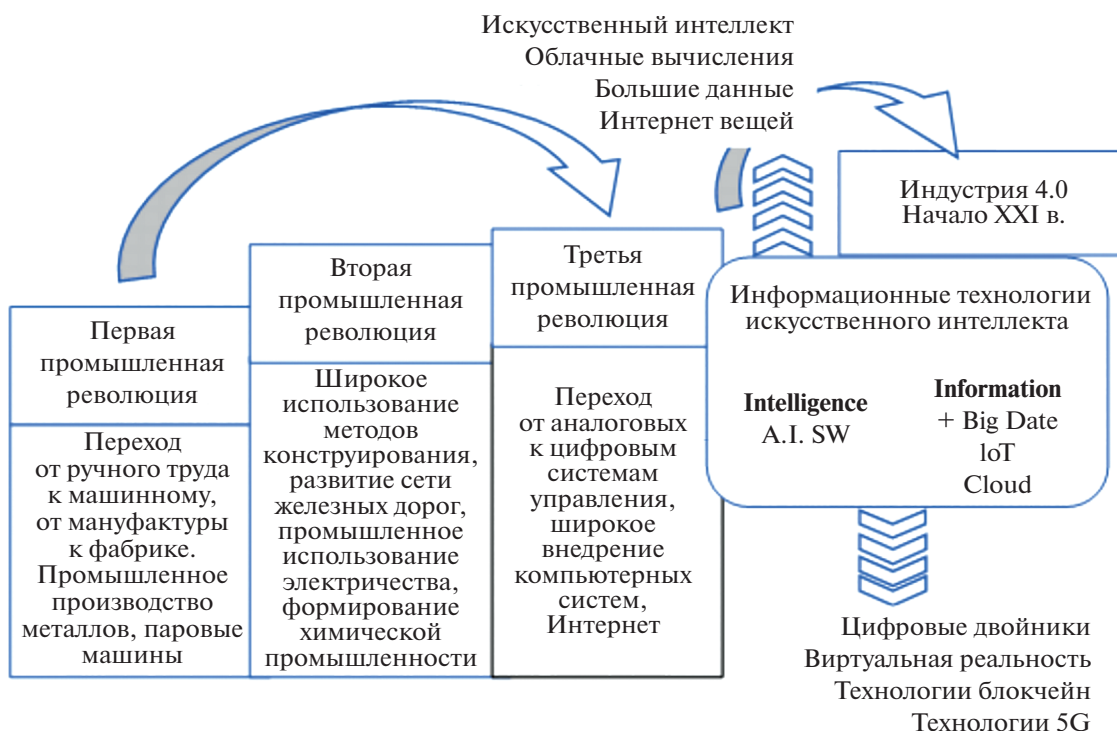


Рис. 1. Переход к Индустрии 4.0

Федерации”, означающую переход к принципиально новым методам эффективного делового взаимодействия и развитию национальных высокотехнологичных компаний. С этого момента началось формирование отраслевых программ цифрового перехода, в том числе в сфере энергетики. В 2019 г. Министерство энергетики России совместно с ПАО “Интер РАО”, АО “Концерн Росэнергоатом”, ПАО “Россети”, АО “Системный оператор Единой энергетической системы”, “Русатом автоматизированные системы управления” (РАСУ) и другими организациями сформировало ведомственный проект “Цифровая энергетика”. Конвергенция органов власти, экспертного сообщества и бизнеса как триада будет являться эффективным инструментом в части принятия и реализации решений цифровой трансформации отрасли. Данный проект призван, помимо создания условий для внедрения цифровых технологий, сформировать нормативно-правовую и нормативно-техническую базы, необходимые для претворения в жизнь ключевых технологий, и создать единую информационную среду, в рамках которой смогут взаимодействовать различные отраслевые цифровые решения.

В 2020 г. была утверждена новая “Энергетическая стратегия России до 2035 года”, в которой в соответствии с дорожной картой НТИ “Энерджи-нет” и рядом отраслевых проектов Минэнерго РФ поставлена цель провести цифровую трансформа-

цию и интеллектуализацию топливно-энергетического комплекса. В этих программах были определены следующие задачи, непосредственно относящиеся к развитию цифровой энергетики:

- разработка централизованных энергетических систем;
- развитие распределенной генерации, возобновляемых источников энергии, в том числе для удаленных и изолированных районов;
- создание системы контроля, координации и мониторинга цифровой трансформации ТЭК России;
- интеграция цифровых технологий в государственное управление и надзорную деятельность в топливно-энергетической промышленности;
- реализация пилотных проектов по внедрению цифровых технологий и платформенных решений, адаптированных к энергетической отрасли;
- переход к риск-ориентированному управлению производственными активами на основе цифровых технологий;
- реализация системы управления интеллектуальными сетями (создание интеллектуальных систем учета энергии и др.).

Ведомственный проект “Цифровая энергетика” предполагает более методичный подход по сравнению с другими программами, заключающийся в создании Совета по цифровой трансформации отраслей энергетики и Центров компетенций в целях выработки единой позиции и ключевых

решений в отношении цифровой трансформации всего ТЭК. Являясь продуктом синергии государства, бизнеса, инновационного сообщества и науки, такие проекты обеспечивают максимальный системный эффект от цифровой трансформации всей энергетической отрасли.

Цифровая энергетика изначально призвана стать важной частью цифровой экономики. В [6] цифровая трансформация энергетической инфраструктуры определена как одно из приоритетных направлений развития. Важную роль в вопросах цифровизации и цифровой трансформации может сыграть Федеральная программа [12]. В целях реконструкции действующих тепловых генерирующих объектов была разработана программа под названием ДПМ-2 (программа договоров о предоставлении мощности). Согласно [12] генерирующие компании произведут усовершенствование генерирующих мощностей. При этом принято решение в первую очередь финансировать модернизацию тепловой генерации, а все остальные виды генерации: АЭС, ГЭС, станции на возобновляемых источниках энергии – допустить к программе по остаточному принципу. По оценке Правительства России, объем инвестиций в модернизацию ТЭС составит 1.9 трлн руб. Главным критерием при отборе генераций является минимизация стоимости энергии, которая будет вырабатываться после реализации проектов, для потребителей.

Опираясь на главный посыл проекта “Цифровая энергетика”, необходимо проводить цифровую трансформацию не только электроэнергетики, но и сферы теплоснабжения. В теплоснабжении России отправной точкой масштабного применения информационных технологий (ИТ) следует считать принятие Федерального закона [2]. Внедрение информационных технологий началось с появлением геоинформационных систем и разработки на их базе электронных моделей систем теплоснабжения. В целях повышения эффективности обмена

информацией о состоянии и прогнозе развития ТЭК была разработана ведомственная программа “Совершенствование процессов сбора, обработки, хранения и использования информационных ресурсов топливно-энергетического комплекса и развитие государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса”.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В России теплоэнергетика имеет особенности, обусловленные наличием систем теплоснабжения с различными конструктивными и эксплуатационными характеристиками. В стране создана уникальная по своей структуре и крупнейшая в мире система централизованного теплоснабжения с отпуском тепловой энергии примерно 8.4 млрд ГДж/год [14]. Следует отметить, что Россия занимает первое место в мире по протяженности тепловых сетей и четвертое место по объему производства тепловой энергии и расходу топлива на эти цели.

По аналитическим данным Министерства энергетики РФ, теплоэнергетика нуждается в серьезной модернизации основных фондов и обновлении значительной части физически и морально устаревшего оборудования. При этом удельный вес тепловых сетей со сроком службы 30 лет и более за последние 5 лет вырос до 37.9%. Согласно данным, приведенным в табл. 1, доля тепловых сетей в двухтрубном исчислении, нуждающихся в замене, составляет в среднем 30%.

В соответствии с нормативным сроком службы тепловых сетей уровень обновления в год основных фондов должен составлять 4% общей протяженности тепловых сетей, в то время как реально из-за нехватки финансирования переключается только 2.6–2.8% тепловых сетей, что приводит к дальнейшему увеличению степени их износа [15]. Общая динамика изменения суммарной мощности теплоснабжения за период с 2016 по 2020 г. пред-

**Таблица 1.** Основные показатели тепловых сетей России в 2016–2020 гг.

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Число источников теплоснабжения (на конец года), тыс. ед.	73.8	74.9	74.8	76.7	77.3
Суммарная мощность источников теплоснабжения, млрд ГДж/ч	2.48	2.46	2.43	2.44	2.41
Протяженность тепловых и паровых сетей в двухтрубном исчислении, км:					
всего	171 541.8	169 456.0	168 342.1	173 649.5	167 370.5
нуждающихся в замене	49 479.0	49 562.4	48 700.7	51 579.3	51 574.0
Число аварий на источниках теплоснабжения, паровых и тепловых сетях	5738	5055	4312	4803	4411
Потери тепла в сетях, % подачи тепла	11.8	11.2	12.5	11.8	12.3

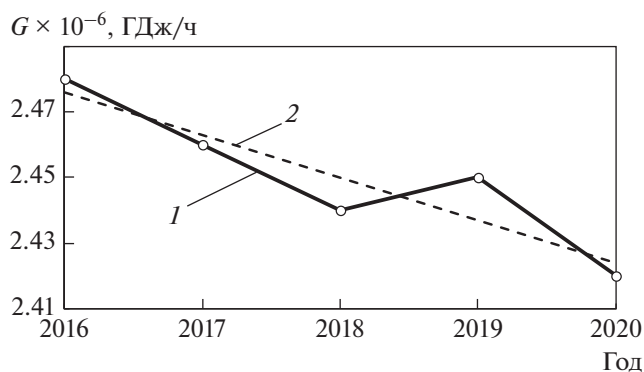


Рис. 2. Суммарная эксплуатационная (1) и расчетная (2) мощность  $G$  источников теплоснабжения

ставлена на рис. 2. Анализ приведенных данных показывает, что для указанного периода снижение суммарной мощности источников тепловой энергии составило 3%.

Как было отмечено ранее, главной причиной проблемного состояния отрасли является высокая степень износа материально-технической базы, что, в свою очередь, приводит к низкой эффективности функционирования теплосетей. Удельный вес тепловых потерь за последние 5 лет составил примерно 12% подачи тепла, а в отдельных регионах страны достигает 15–20%, что значительно выше, чем в некоторых европейских странах. Далее приведены данные о потерях тепловой энергии, млн ГДж, в 2020 г. в федеральных округах России:

Центральный .....	14.89
Северо-Западный .....	51.41
Южный .....	26.16
Северо-Кавказский .....	6.22
Приволжский .....	104.12

Уральский .....	71.88
Сибирский .....	97.25
Дальневосточный .....	59.05

Другой показатель, характеризующий состояние тепловых сетей, — аварийность. Несмотря на ее снижение, число аварий на источниках теплоснабжения, в паровых и тепловых сетях остается весомым (см. табл. 1).

Учет используемых ресурсов является основой энергосбережения и энергоэффективности. С помощью общедомовых и индивидуальных приборов учета можно фиксировать реальные объемы поставленных коммунальных ресурсов и контролировать их фактическое потребление. При отсутствии приборов за все коммунальные услуги приходится платить по нормативу, независимо от количества реально израсходованного ресурса. В табл. 2 приведены данные по оснащению приборами учета расхода ресурса в 2020 г. по федеральным округам России.

Приведенные результаты исследования свидетельствуют о том, что состояние отрасли требует серьезных изменений, в том числе отвечающих концепции цифровой трансформации. Решение возникающих проблем должно осуществляться с применением современных цифровых технологий, образующих глобальные диспетчерские системы и предоставляющих возможность обрабатывать значительные объемы информации, связанные с эксплуатацией теплосетей, и обоснованно выбирать объекты для модернизации или нового строительства.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аналитические и статистические данные, подготовленные различными агентствами и исследовательскими центрами, по степени цифровизации позволили энергетике оказаться в пятерке лидеров. Это связано с большим интересом представителей

Таблица 2. Количество приборов учета расхода ресурсов, тыс. шт., потребных для установки и фактически установленных в 2020 г. в жилищном секторе по федеральным округам

Федеральный округ	Холодная вода		Горячая вода		Отопление	
	потребность	фактически	потребность	фактически	потребность	фактически
Центральный	778231	1712726	40974	67098	67506	90068
Северо-Западный	123042	218406	12402	36198	30024	59404
Южный	388465	2295193	9077	21097	22504	42574
Северо-Кавказский	512044	704446	3408	1807	10255	4652
Приволжский	674348	1847838	18005	64934	43416	100955
Уральский	149257	444978	18661	38679	42453	56720
Сибирский	427772	867666	91601	75324	62859	74640
Дальневосточный	74659	86778	41117	18353	50399	25963

отрасли к внедрению технологических инноваций, которые позволяют более эффективно использовать собственные ресурсы и предлагать новые, более качественные услуги. Процесс цифровых преобразований ТЭК имеет свои особенности в каждой из отраслей комплекса и в целом по ТЭК.

Одно из приоритетных направлений цифровой трансформации ТЭК – реализация концепции Smart Grid (“умные сети”), которая характеризуется гармоничным взаимодействием с окружающей средой, улучшением качества жизни и общим экономическим подъемом. Сущность технологии Smart Grid – это сбор информации о производстве и потреблении энергии, что позволяет корректно распределять энергоресурсы, содействовать надежному их потреблению и эффективному использованию [16]. Распределенная обработка данных дает возможность повысить эффективность информационного обеспечения пользователей, а также уровень гибкости информационной системы и, как следствие, гарантировать:

оперативность принимаемых решений;

переход к использованию универсального централизованного хранилища данных (EDWH), на базе которого создаются витрины данных для выполнения конкретных регулярных задач;

расширение использования Master Data Management (MDM – набор программных решений и специальных инструментов для представления разнородной информации в едином виде) для устранения несоответствий в операционных данных.

Благодаря установке цифровых и аналоговых датчиков для сбора первичных данных, включающих в себя в том числе схемы восстановления данных, можно создавать собственные DataLake (“озеро данных”), позволяющие хранить и обрабатывать данные с разными уровнями структурирования и сроками хранения. В качестве примера успешной цифровизации можно привести деятельность крупнейшей российской частной компании, работающей в сфере электроэнергетики и теплоснабжения, – Группы “Т Плюс”, которая обеспечивает стабильное и бесперебойное энергоснабжение в 16 регионах России. На сегодняшний день в различных филиалах компании выполнены определенные этапы цифровизации систем теплоснабжения: автоматизация котельных и центральных тепловых пунктов (ЦТП), строительство новых энергоблоков, которые довольно хорошо автоматизированы. Одновременно компания проводит комплекс мероприятий по развитию тепловых сетей, включая организацию системы управления тепловым узлом, мониторинг повреждений на трубопроводах и др. Основной целью этих мероприятий является объединение в единую систему всех котельных, ЦТП, насосных и потребителей.

Цифровизация коснулась также и системы дистанционной передачи данных. Общедомовые приборы учета тепла в некоторых городах Свердловской обл. оснащаются специальными устройствами передачи данных в режиме online – модемами как дополнительными элементами диагностики состояния теплосетей. На единый пункт сбора данных одновременно передается информация с ЦТП и от потребителей. Таким образом появляется возможность составить баланс количества тепла, переданного через ЦТП и полученного потребителем.

Уменьшение объемов поставляемой тепловой энергии, вызванное неудовлетворительным состоянием теплосетей, также является следствием снижения используемой тепловой мощности в связи с переходом потребителей на индивидуальные системы отопления и горячего водоснабжения и системы децентрализованного теплоснабжения. Для теплоснабжающей организации переход на закрытые системы позволяет контролировать их герметичность по подпитке и снижению затрат на водоподготовку. Такой переход обеспечивается установкой индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) в многоквартирных домах.

В соответствии с Федеральным законом [2] с 01.01.2022 использование централизованных открытых систем теплоснабжения для нужд горячего водоснабжения путем отбора теплоносителя не допускается. Кроме того, уже в настоящее время запрещено подключение новых объектов капитального строительства к открытым системам теплоснабжения. Таким образом, устройство автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов приобретает серьезные масштабы, т.е. возникает острая необходимость регулировать потребление тепловой энергии на вводе системы отопления в здание.

Цель пилотного проекта по внедрению программного обеспечения “Система сбора данных с приборов учета потребителей тепловой энергии” (далее “Система”) на базе филиала АО “Татэнерго” Казанские тепловые сети заключалась в разработке прикладного решения, с помощью которого полностью были автоматизированы операции при обработке данных и занесению их в биллинговую систему. Такая “Система” сбора массива данных с приборов учета является веб-серверным приложением, способным интегрироваться как с системами диспетчеризации и приборами учета напрямую, так и с биллинговой системой. Результатом реализации пилотного проекта стало сокращение времени обработки данных,ступающих с приборов учета, примерно на 25% [17]. Для некоторых регионов целесообразным и более эффективным на сегодняшний день является отказ от ЦТП в пользу ИТП с оборудованной системой авторегулирования. Такая установка вместе с

теплоизоляции здания, применением радиаторных терморегуляторов и учетом тепла с помощью приборов позволит достигнуть существенного сокращения объемов теплоснабжения – до 35 %.

Необходимость создания электронных моделей систем теплоснабжения в составе схем теплоснабжения законодательно закреплена Федеральным законом [2], а состав и содержание электронных моделей – Постановлением Правительства РФ [5]. Электронная модель системы теплоснабжения – это совокупность данных по источникам теплоснабжения, тепловым сетям и потребителям, которые привязаны к топографической основе местности, а также расчетных математических модулей, предназначенных для моделирования режимов работы теплосетей. В понятие “электронная модель системы теплоснабжения” входят такие компоненты, как программное обеспечение, средства создания и визуализации графического представления сетей теплоснабжения в привязке к плану территории, собственно данные, описывающие каждый в отдельности объект и всю совокупность объектов, составляющих систему теплоснабжения населенного пункта [18].

В качестве примера можно привести программу автоматической калибровки электронной модели системы теплоснабжения, созданную в Некоммерческом партнерстве “Энергоэффективный город”. Этот программный продукт позволяет настраивать теплогидравлическую модель системы теплоснабжения, исходя из реальных параметров теплоносителя в контрольных точках. С его помощью можно значительно повысить качество разработки схем теплоснабжения, с большей эффективностью управлять режимами тепловых сетей, снижать потери тепла и оптимизировать затраты на ремонт и модернизацию теплового хозяйства. По утверждению разработчиков, хотя программа и универсальна, но процесс взаимодействия отработан только с наиболее распространенной геоинформационной системой Zulu и программно-расчетным комплексом ZuluThermo (разработчик – ООО “Политерм”), с помощью которого реализовано большинство электронных моделей систем теплоснабжения городов.

Наряду с другими вопросами цифровой трансформации, внедрение цифровых продуктов телекоммуникационных компаний в работу ТЭК на примере ГУП ТЭК СПб. и ПАО “Ростелеком” также является интересным.

Одним из перспективных направлений может стать создание облачного сервиса с технической поддержкой 24/7, специализирующегося на хранении больших объемов данных в электронном виде. Использование платформы приведет к сокращению бумажного документооборота, а в перспективе – к полному переходу на электронный формат работы. К такому облаку можно будет

подключить как потребителей, так и сотрудников компании с разными уровнями доступа. Арендовать цифровые мощности можно будет на пятилетнюю перспективу с возможностью дальнейшего их совершенствования.

Возможность использования такой технологии, как биометрическая верификация, при переходе на прямые расчеты с жителями за поставляемое тепло будет не менее актуальной. Опция распознавания по голосу или лицу может в 6–7 раз ускорить обслуживание абонентов, а также быстро идентифицировать их при звонках в колл-центр и повысить безопасность внутри предприятия.

Общие усилия в цифровой трансформации также могут быть направлены на проект интеллектуальной диспетчерской, неотъемлемой частью которого является автоматизация рабочих мест диспетчеров с выходом в Интернет и специальным программным обеспечением. Необходимость выстраивания единой цифровой системы, которая включала бы в себя все элементы автоматизации производства и сбора данных с приборов учета, будет способствовать переходу к новой экономике и отвечать приоритетам ТЭК – цифровой трансформации, энергосбережению и экономии.

Технологии, повышающие качество взаимодействия с потребителями, осуществляющие сбор и передачу информации о параметрах теплоносителя, автоматизирующие расчеты за тепловую энергию и горячее водоснабжение, позволяют также контролировать качество поставляемых ресурсов и повышают лояльность потребителей.

С применением вышеперечисленных цифровых инструментов теплоснабжающая организация сможет самостоятельно выполнять наладку оборудования, разработку схемы теплоснабжения и комплексную модернизацию тепловой сети (системы централизованного теплоснабжения), прогнозировать и оперативно реагировать на аварийность и потери тепла и тем самым повышать качество теплоснабжения в целом.

Учитывая существенные социальные и экономические последствия аварий в системах теплоснабжения, следует отметить, что одной из ключевых статей расходов для любого энергопредприятия являются техническое обслуживание, ремонтные и профилактические работы. Эффективное решение этой проблемы значительно снижает не только эксплуатационные расходы, но и риск сбоев производства на всех уровнях – от незначительных происшествий до промышленных аварий. Так, в работе [19] приведен пример программы, предназначенной для диагностики качества эксплуатации оборудования. Программа осуществляет оперативный контроль термических напряжений и выработки ресурса в основных элементах турбины в различных режимах эксплуатации, работает в режиме реального времени,





Рис. 3. Эволюция подходов к организации технического обслуживания в теплоснабжении

рассчитывает и отображает текущие значения термонапряжений в элементах турбины, формирует и передает в АСУ ТП сигналы о возникновении ограничений по термическим напряжениям и запрете повышения или понижения температуры пара и нагрузки в случае приближения напряжений к предельно допустимым значениям.

Авторы [20] полагают, что применение информационно-аналитических систем теплоэнергетического диагностирования в симбиозе с традиционными методами позволяет своевременно определить точные координаты повреждений. Поэтому авторы подчеркивают особую важность анализа ретроспективной информации, накопленной и систематизированной в результате длительной эксплуатации теплоэнергетических установок и систем. Совокупность методов технической диагностики и методов обработки аналитических данных позволит определять показатели надежности теплотехнического оборудования. Наиболее предпочтительный вариант реализации такой информационно-аналитической системы возможен на основе технологии промышленного интернета вещей [20] (IIoT).

Комплекс технологий автоматизации и цифровизации, таких как умная производственная среда, интернет вещей, программы автоматизации, облачные вычисления, углубленный анализ данных, искусственный интеллект, дополненная реальность и машинное обучение, обеспечит качественно новый уровень обслуживания теплосетей, значительно снизит риск аварийности, исключит незапланированные простои, сократит затраты и приведет к надежности и безопасности процессов теплоснабжения. В [21] рассмотрены «тенденции эволюции технического обслуживания и ремонта оборудования» начиная с первой половины XX в. и до 2009 г. Наряду с прочими

классификационными признаками, входящими в схему эволюции, авторы выделяют такие, как вид технического обслуживания и используемые подходы организации.

Дополняя эти признаки эволюционной цепочки, основанные на прогнозировании и применении цифровых технологий, можно получить переход от превентивного технического обслуживания конца XIX – середины XX в. к реализации стратегии предиктивного технического обслуживания, отвечающей современным вызовам цифровой трансформации. Фрагмент модернизированной схемы эволюции подходов к организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) показан на рис. 3.

Для поддержания предиктивного технического обслуживания предприятия включают свой собственный опыт в технологию анализа, применяют заранее запрограммированные технологии или логические и адаптивные подходы, машинное обучение и искусственный интеллект. Таким образом, прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций приводят к повышению оперативности реагирования для их локализации и ликвидации.

Как показали исследования, цифровая трансформация не только дает положительные эффекты, но и неизбежно приводит к росту угроз, в частности когда речь идет о кибербезопасности на промышленных рынках, особенно таких, как энергетика. Топливо-энергетический комплекс быстро модернизирует свою инфраструктуру, добавляя все больше цифрового оборудования и подключений между устройствами и системами по всей цепочке поставок от источника до потребителя.

В связи с ростом потенциальных угроз кибербезопасности и реализацией концепции интел-

лектуальной энергетической системы с активно-адаптивной сетью были разработаны и приняты документы [4, 7, 22], которые стали очередным шагом на пути ужесточения нормативного регулирования защиты критической информационной инфраструктуры (КИИ). До недавнего времени обеспечение защиты удаленного доступа к объектам КИИ производителями АСУ ТП в России никак не регламентировалось. Между тем многие зарубежные вендоры систем промышленной автоматизации (производители и/или поставщики товаров под собственным брендом) осуществляют мониторинг отечественных объектов КИИ. Минэнерго России обязало производителей этих систем обеспечивать безопасность при выполнении таких работ. Это означает, что теперь при подключении к системе удаленного мониторинга и диагностики основного технологического оборудования вендоры должны выполнять требования законодательства РФ в области защиты информации.

Вместе с тем, из-за слабой проработки вопросов кибербезопасности на законодательном уровне допускаются избыточные требования к обеспечению информационной безопасности, что приводит к значительному увеличению стоимости внедрения цифровых решений. Отсутствие гибкости в вопросах регулирования при разработке и внедрении цифровых решений, а также недостаточная развитость российского рынка решений для ТЭК на фоне ограничений и политики импортозамещения приводят к необходимости выбора не самого современного программного обеспечения (ПО) или отказу от внедрения цифровых решений.

Среди прочих препятствий, стоящих на пути цифровой трансформации ТЭК, можно выделить недостаточную зрелость текущих процессов, низкий уровень автоматизации и информационной грамотности сотрудников. Так, например, основным препятствием к построению интеллектуальных систем учета энергоресурсов являются проблемы в законодательстве, а именно отсутствие обязательных требований по диспетчеризации узлов учета. Несомненно, со стороны государства делаются определенные шаги по совершенствованию нормативно-правовой базы, но их пока явно недостаточно для решения данной проблемы. Кроме того, далеко не все специалисты, работающие в теплоснабжении, понимают необходимость “оцифровки” процесса “энергоресурс – потребитель”. Поэтому важно совершенствовать систему высшего и среднего образования, которая должна обеспечивать цифровую экономику компетентными кадрами. Вместе с тем, необходимо на всех уровнях проводить популяризацию “умного” учета среди населения. Не стоит забывать, что именно диспетчеризация и предикативная аналитика являются финальным этапом на пути к энергосбережению и энергоэффективности.

Важный этап внедрения цифровых инноваций – комплексная оценка этого процесса по некоторым показателям. Прежде чем говорить об экономической эффективности от внедрения инноваций как результата проведения цифровизации, необходимо знать основные эффекты, получаемые от реализации нововведений [23]. Говоря о количественной оценке эффектов цифровой трансформации, следует рассмотреть два режима расчетов. Первый, традиционный “режим прогноза” эффектов с применением классических инвестиционных методов, таких как NPV, IRR, ROI и др., используют при выборе и обосновании стратегии развития и цифровой трансформации отрасли ТЭК (с учетом сроков реализации 15–20 лет и непрерывности капитальных затрат). Второй режим, “режим мониторинга” эффектов, опирается на ретроспективные данные о развитии отрасли ТЭК и нацелен на выделение вклада цифровых технологий в изменение отраслевых производственных и экономических показателей.

Количественная оценка этого эффекта является сложной научно-практической задачей, и ее решение целесообразно рассмотреть в отдельном исследовании, разбить на этапы, применяя на каждом из них различный модельный инструментарий. В целом, оценка интегрального макроэкономического эффекта может выражаться как дополнительный вклад в динамику валового внутреннего продукта страны с учетом совокупности полученных эффектов в смежных отраслях ТЭК (рост выпуска продукции, выручки), у потребителей энергии (уменьшение энергозатрат, снижение ущерба от нарушений режимов и качества поставок энергии), непосредственно в самой энергетической отрасли (снижение капитальных и эксплуатационных затрат за счет интенсивного использования активов и др.).

Безусловно, цифровая трансформация предприятий, в том числе энергетических, помогает достичь сразу нескольких стратегически важных целей. Так, повышение эффективности оценки и прогноза состояния генерирующего и сетевого оборудования приводит к сокращению числа аварий, продолжительности ремонтного простоя, повышению показателей надежности теплоснабжения, а электронные форматы взаимодействия с потребителями – к снижению коммерческих потерь тепловой энергии, повышению оперативности и дисциплины платежей.

## ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Развернувшаяся практически во всех отраслях экономики волна трансформации бизнес-моделей, вызванная появлением и внедрением цифровых технологий нового поколения, способна повысить производительность труда на 40% [24]. В ближайшем будущем именно эффективное ис-



пользование новых цифровых технологий будет определять конкурентоспособность на международном уровне как отдельных отраслей, так и целых стран, формирующих инфраструктуру и правовую среду для цифровой трансформации [25]. В различных научных исследованиях и публикациях говорится о том, что вопрос повышения энергетической эффективности в результате цифровизации и цифровой трансформации сферы теплоснабжения продолжает оставаться актуальным.

Особый интерес в рамках исследования представляет понятийный аппарат, который в настоящее время до сих пор не сложился и нет единого определения терминов “автоматизация”, “цифровизация” и “цифровая трансформация”. Но то, что это разные явления и крайне важно понимать их различия, не вызывает сомнения. В большинстве источников при описании определения акцент делается на технологиях и связанных с их использованием изменениях в способах взаимодействия на различных уровнях бизнес-процессов. При этом могут упоминаться конкретные виды технологий либо формы изменений каких-либо процессов. Часто понятие “цифровизация” представляется в виде перечисления направлений ее влияния на ту или иную сферу деятельности в соответствии с отраслевой принадлежностью. Однако при раскрытии понятия “цифровизация” речь должна идти не только о программно-аппаратном комплексе и инструментах и их воздействии на бизнес-процессы, но и о принятых в той или иной отрасли методах работы в целях получения желаемого исхода, а именно гибкого производства, приносящего заинтересованному кругу лиц желаемый результат — повышение конкурентоспособности. Иначе говоря, термин “цифровизация” используется для описания трансформации, которая идет дальше, чем просто замена аналогового или физического ресурса на цифровой или информационный.

Несмотря на то что термины “автоматизация” и “цифровая трансформация” часто используются как синонимы, они имеют разные значения. Автоматизация включает в себя применение технологий, которые заставляют процессы запускаться самостоятельно, делая их более эффективными и прозрачными. Другими словами, автоматизацию можно представить как средство, инструмент для достижения цели, а желаемую цель — как цифровую трансформацию. Само по себе понятие “цифровая трансформация” не содержит конкретных инструкций с четко определенным маршрутом от какого-либо начального к определенному конечному состоянию, а, скорее, задает некие ориентиры.

Цифровая трансформация — это не изолированный ИТ-проект (проект, в рамки которого входят работы, связанные с информационными технологиями), а, напротив, сочетание множества

проектов, трансформирующих каждый аспект организации в сторону цифровых технологий. Бизнес может поменять приоритеты или измениться кардинально, цифровая трансформация выводит на новый уровень продукт, взаимосвязь с клиентами и поставщиками, стратегию компании, и это отличает понятие “цифровая трансформация” от “автоматизации”, которая, безусловно, вносит улучшения, но сама стратегия ведения бизнеса (бизнес-модель) сохраняется. Другим важным отличием цифровизации от автоматизации является появление “больших данных” (big data), дающих для отрасли ТЭК определенные выгоды. Тем не менее, цифровая трансформация и автоматизация теснейшим образом взаимосвязаны, что приводит к эффекту синергии, и могут обеспечить ожидаемые результаты для энергетической отрасли. В табл. 3 представлены основные признаки понятий “автоматизация” и “цифровая трансформация”.

На основе обобщения материалов аналитических отчетов, научных статей, мнений специалистов цифровую трансформацию следует внедрять на объектах по производству, передаче и распределению тепловой и электрической энергии. При этом нужно использовать цифровые платформы и системы автоматизации, обеспечивающие взаимодействие с цифровым пространством, в целях повышения надежности и эффективности тепловой инфраструктуры с учетом требований к кибербезопасности и импортозамещению. Следовательно, необходимо не просто сосредотачиваться на внедрении отдельных цифровых технологий, а разрабатывать стратегии цифровой трансформации для преобразования производственного процесса теплоснабжения в целом. В результате возникает отрыв от конкурентов, производство и сбыт в несколько раз становятся эффективнее.

Опираясь на труды К. Шваба [1], являющегося основателем и исполнительным директором Всемирного экономического форума, можно выделить четыре категории, лежащие в основе Индустрии 4.0, при этом в каждую из них следует включить определенный набор цифровых технологий (рис. 4). Согласно выводам К. Шваба, к каждой категории, лежащей в основе Индустрии 4.0, относится свой набор технологий, оказывающих существенное влияние на все сферы деятельности и приводящих к глобальным переменам в обществе в целом. В рамках данной статьи рассмотрены наиболее интересные цифровые технологии относительно их применения в теплоэнергетике.

*Нейротехнологии и искусственный интеллект* характеризуются применением чат-ботов (компьютерных программ), работающих внутри информационного приложения, имитирующих текст и речь; их используют для выполнения функции



Рис. 4. Основные категории, лежащие в основе Индустрии 4.0

поддержки взаимодействия с запросами и поиском информации с максимальной скоростью.

*Промышленный интернет вещей* – это система объединенных компьютерных сетей и физических

предметов (вещей). Все они оснащены встроенными датчиками, сенсорами и другими технологическими средствами, которые позволяют им взаимодействовать без участия человека. Промышленный

Таблица 3. Основные признаки, характеризующие понятия “автоматизация” и “цифровая трансформация”

Классификация признака	Автоматизация	Цифровая трансформация
Цель	Повышение операционной эффективности и производительности	Принципиальное повышение конкурентоспособности компании, повышение ее стоимости
Задачи	Операционные, решение тактических проблем	Стратегические, в отдельных случаях маркетинговые
Роль	Поддержка пользователей, программного обеспечения, систем	Генерация идей для решения запросов бизнеса новыми способами
Особенности	Известные решения и технологии с понятным функционалом и результатом, метриками, сроками, примерами внедрений в других компаниях, не меняет бизнес-процессы	Решения, основанные на прорывных технологиях, уникальные для организации, мало примеров внедрений, сроки внедрения не всегда четко определены, реализация по принципам гибкой методологии разработки (аджайл), вызывает изменение бизнес-процессов и/или бизнес-модели
Отношение к физической реальности	Информационное пространство организации частично отражает пространство физической реальности	Создается информационное пространство организации в виде “цифрового двойника”/цифровой платформы
Зависимость от ИТ	Остановка информационных систем не приводит к остановке физической деятельности организации. Есть возможность перейти на бумажные носители	Физическая деятельность организации принципиально невозможна без поддержания жизни “цифрового двойника” физической реальности
Управление	Руководитель подразделения информационных технологий (CIO) и т.п.	Программы цифровой трансформации возглавляются руководителем подразделения цифровых технологий (CDO) и т.п.

интернет вещей – частный случай этой системы. Внедряясь в производственный процесс, он существенно снижает CAPEX (капитальные затраты) и OPEX (операционные затраты) на сбор массива данных от удаленных объектов и устройств теплосети и увеличивает их объем. Концептуально IIoT применяется в сфере энергетики в двух глобальных направлениях: снижение потребления ресурсов и отслеживание технического состояния оборудования в целях проведения своевременного технического обслуживания, а также предупреждения аварийных ситуаций.

Пример использования промышленного интернета вещей – метод “цифрового двойника” (DT), который предполагает синхронизацию реального состояния производственного цикла на промышленном предприятии с его цифровой моделью. Это происходит при сопоставлении математических моделей промышленных узлов, систем и оборудования с данными, полученными от интеллектуальных сенсорных сетей. Таким образом, цифровой двойник обеспечивает возможность проводить мониторинг, диагностику и прогнозирование процессов производства при различных возможных ситуациях, позволяет снизить операционные затраты (примером является Smart Design).

Как было сказано ранее, с помощью предиктивной аналитики можно прогнозировать потенциальные отклонения в ходе производственного цикла и вносить незначительные поправки в процесс до того, как отклонение повлияет на качество конечного продукта – тепловой энергии.

*Технологии распределенного реестра* (blockchain) – платформы, которые позволяют быстро планировать потребление и поставки энергии, осуществлять расчеты за энергоснабжение и поставки топлива, в том числе на уровне отдельных потребителей, обеспечивая безопасность каждой транзакции.

*Интеграционные инструменты* – открытый API (Application Programming Interface) – программный интерфейс, регламентирующий взаимодействие одной компьютерной программы с другой для совместного исполнения той или иной задачи, когда одна программа выполняет запросы другой. Это один из механизмов обмена данными и/или совместного использования дистрибутивных функций деловыми партнерами в теплоэнергетической отрасли. Этот интерфейс обеспечивает работу многих современных мобильных и веб-приложений, предоставляя разработчикам набор функций, структур и констант (данные и/или бизнес-логику).

*Технологии сбора и обработки больших массивов данных* (Big Data) – специальные алгоритмы, созданные для обработки данных, объем которых превышает сотни терабайт и постоянно увеличи-

вается. Эта технология существенно повышает прозрачность деятельности и качественное насыщение данными. Примером могут служить обработка и анализ данных о потреблении тепла от тысяч жилых зданий в городе, которые ежедневно собираются в течение года и обрабатываются вместе с данными о температуре воздуха внутри и снаружи помещений, о потреблении воды в сетях. Эти показатели открывают новые возможности для управления системами теплоснабжения, оценки мест и причин крупных потерь и определения приоритетов капитального ремонта в домах. В итоге расширение каналов связи с клиентами и использование всей доступной информации о поведении потребителей могут повысить уровень сбора платежей, предотвратить возникновение непоплаченных долгов.

*Дополненная и виртуальная реальность* (VR и AR) – основным и наиболее распространенным сценарием ее применения является создание образовательного контента для подготовки производственного персонала. Для приобретения пользовательского опыта применяются инструменты геймификации. Как правило, это учебные курсы, имитирующие реальные операции и процессы, с которыми сталкиваются специалисты нефтеперерабатывающего завода или энергетической инфраструктуры в своей повседневной работе. Такие VR-тренажеры позволяют разрабатывать индивидуальные технологические процедуры, связанные с обслуживанием оборудования, изучать правила действий в аварийных ситуациях и полезны при практической разработке новых навыков. Учебные курсы проходят в виртуальной среде на фотореалистичных копиях реальных объектов, таких как объекты ТЭЦ, ТЭС, ЦТП. Это могут быть разработки специально как для приложений мобильных 3D- и VR-устройств, так и для симуляторов широкоэкранных VR-систем отображения с высоким уровнем детализации. Подключив такой симулятор виртуальной реальности через LMS (система управления обучением), можно проводить программы дистанционного обучения и регулярно оценивать знания персонала в любой точке страны.

Данная технология может использоваться и для обслуживания энергетической инфраструктуры. Наложение 3D-моделей на детали или оборудование в режиме реального времени позволит снизить временные затраты на ремонт и обслуживание объектов. Работники получат возможность мгновенного доступа к оперативной документации, раскрывающей тип актива, историю технического обслуживания, набор необходимых действий и др. Внедрение этой технологии значительно упростит эксплуатационные процессы.

*Технологии беспроводной связи* – использование сетей WAN (и WLAN) на базе 5G востребовано

для корпоративных сетей энергетических компаний, городской энергетической инфраструктуры и “умных” объектов теплоэнергетики. Сети WAN позволят обеспечить безопасные операционные решения и надежное соединение не только в городских, но и в удаленных районах, сложных условиях работы.

*Технология LPWAN* (энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия) станет основной для развертывания интернета энергии. Данная концепция подразумевает подключение приборов учета к единой сети для расчета расходов и контроля уровня потребления. Применение технологии LPWAN позволит контролировать практически все параметры различных компонентов умных сетей. Она используется в крупнейших городах России и в ближайшие годы будет внедряться в большинстве регионов. Создание “умных городов” и умных сетей стимулирует энергетические компании к внедрению умных устройств учета и технологий автоматизации, в том числе на промышленных объектах. Решения на основе технологии LPWAN дадут возможность развернуть сети для беспроводной передачи данных с помощью сетей Wi-Fi на промышленных объектах, позволяющих подключать не только умные устройства, но и беспилотную технику, роботизированные комплексы.

Важно отметить, что эффект представленных технологий усиливается, когда они комбинируются и производят цифровые инновации нового поколения. Нужно учитывать, что их интеграция в бизнес-процессы сегодня происходит высокими темпами, поэтому нужно заранее подготавливать нормативную базу, вводить стандарты, осуществлять демонстрацию (успешный опыт внедрения, знакомство с лучшими отраслевыми практиками) и проводить максимально всестороннее информирование. Таким образом, эффективное управление изменениями, необходимыми для цифровизации и цифровой трансформации производственного процесса, внедрения комплекса технологий Четвертой промышленной революции, — одна из главных задач формирующейся комплексной системы развития теплоэнергетики в России.

## ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторы предприняли попытку представить ключевые аспекты цифровизации и цифровой трансформации в сфере теплоэнергетики. Материалы настоящей статьи позволяют определить основные тренды развития цифровых технологий и изменения производственных процессов, происходящих под их влиянием. Необходимо показать, что цифровая трансформация теплоэнергетической отрасли — априори глубокое и масштабное преобразование деловой и организационной дея-

тельности, профессиональных компетенций и производственных процессов теплоснабжения в целом с учетом текущего состояния отрасли. Важно обосновать, что ключевую цель энергетических предприятий, заключающуюся в повышении эффективности тепловой инфраструктуры, можно достичь применением цифровых технологий Индустрии 4.0 на всех стадиях производства. Работа с данными и все связанные с ними процессы: производство, продажи, коммуникации с клиентами, маркетинг, HR (человеческие ресурсы) и обучение — все эти области открывают широкие возможности для цифровой трансформации. В связи с этим возникает необходимость рассмотреть цифровые инновационные решения и производственные этапы, на которых они применяются, а также влияние данных технологий на преодоление конкретных проблем теплоэнергетики и повышение конкурентоспособности отрасли в целом. Необходимо иметь понимание цифрового окружения, готовности постоянно корректировать бизнес-процессы по мере поступления информации о новых цифровых решениях.

В статье, исходя из постановки цели и с учетом особенностей исследуемого объекта, использовались следующие основные методы:

теоретические — анализ официальных статистических данных, опубликованных результатов научно-исследовательских работ, рейтинговых агентств, информацию из периодических деловых и научных изданий, в том числе ресурсы сети Интернет, путем рецензирования вышеперечисленных источников, связанных с вопросами цифровой экономики;

общенаучные принципы системного подхода;

количественные и качественные исследования основных тенденций и направлений формирования и развития цифровой трансформации бизнеса;

методы экономического, логического, сравнительного, стратегического, управленческого и других анализов.

## ВЫВОДЫ

1. Для определения уровня готовности предприятий теплоэнергетики к реализации проектов цифровой трансформации был проведен анализ текущего состояния отрасли, который, несмотря на наличие ряда проблем, показал достаточную ее открытость к новым технологиям на фоне усиления тренда цифровизации экономики страны в целом.

2. Понятия “цифровизация” и “цифровая трансформация” не тождественны. Несмотря на приведенные в исследовании различия, цифровая трансформация и автоматизация теснейшим образом взаимосвязаны, в этом проявляется эффект синергии.

3. Обеспечить качественно новый уровень обслуживания теплосетей благодаря внедрению цифровых решений и переходу от превентивного ТОиР к применению стратегии предиктивного технического обслуживания с результатом повышения эффективности тепловой инфраструктуры возможно при изменении подходов к организации технического обслуживания в теплоснабжении.

4. Категории, лежащие в основе Индустрии 4.0 и включающие определенный набор цифровых технологий, оказывают серьезное влияние на трансформацию научно-технического пространства и общества в целом: расширение цифровых технологий, преобразование физического мира, изменение человека, интеграция окружающей среды.

5. Такие цифровые технологии, как промышленный интернет вещей, метод цифрового двойника, технологии сбора и обработки больших массивов данных (Big Data), беспроводная связь, распределенный реестр (blockchain), дополненная и виртуальная реальность (VR и AR), машинное обучение, являются наиболее эффективными с точки зрения их применения в теплоэнергетике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.
2. **Федеральный закон** от 27.07.2010 № 190-ФЗ “О теплоснабжении”.
3. **Федеральный закон** от 03.12.2011 № 382-ФЗ “О государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса”.
4. **Федеральный закон** от 26.07.2017 № 187 “О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации”.
5. **Постановление** Правительства РФ от 22.02.2012 № 154 “О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения”.
6. **Указ** Президента РФ от 07.05.2018 № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 года”.
7. **Указ** Президента РФ от 13.05.2019 № 216 “Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации”.
8. **Распоряжение** Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р “Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года”.
9. **Постановление** Правительства РФ от 15.04.2014 № 321 “Об утверждении государственной программы “Энергоэффективность и развитие энергетики”.
10. **Постановление** Правительства РФ от 18.04.2016 № 317 “О реализации Национальной технологической инициативы”.
11. **Веселов Ф.В., Дорофеев В.В.** Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Энергетическая политика. 2018. Вып. 5. С. 43–52.
12. **Постановление** Правительства РФ от 25.01.2019 № 43 “О проведении отборов проектов модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций” (по программе модернизации ТЭС ДПМ-2).
13. **Методические** указания по разработке схем теплоснабжения. М.: Минэнерго РФ, 2019.
14. **Семенов В.Г.** Стратегия развития теплоснабжения в России. М.: ИПП РАН, 2016.
15. **Цуверкалова О.Ф., Верстина Н.Г., Евсеев Е.Г.** Особенности управленческих технологий в условиях освоения теплоснабжающими организациями “умных тепловых сетей” (Smart Grid) // Управленческий учет. 2021. № 8–3. С. 526–534.
16. **The economic goals of digital business transformation / E. Golovina, M. Evloeva, J. Yu, L. Kylie** // Proc. of the Intern. Conf. on Trends and Innovations in Economic Studies. Irkutsk: National Research Technical University, 24–26 Sept. 2020. P. 281–290. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.12.37>
17. **Козлов А.А., Зинурова Д.Р.** Повышение эффективности работы в части сбора показаний приборов учета и выявления некорректной работы приборов учета посредством автоматизации процессов // Докл. XVIII Междунар. симп. “Энергоресурсоэффективность и энергосбережение”. Казань, 13–15 марта 2018 г. С. 123–126.
18. **Ексаев А.Р.** Об электронных моделях систем теплоснабжения городов // Водоснабжение и канализация. 2011. № 1. С. 79–83.
19. **Эксплуатационная** диагностика теплового состояния и экономичности паровых турбин ТЭС и АЭС / В.В. Божко, А.Н. Коваленко, В.М. Ляпунова, Л.А. Хоменок // Теплоэнергетика. 2016. № 5. С. 45–50. <https://doi.org/10.1134/S0040363616030036>
20. **Бабак В.П., Запорожец А.А., Свердлова А.Д.** Диагностика технического состояния объектов теплоэнергетики на базе распределенных вычислительных инфраструктур // NDT Days 2016/Дни на безразрушительный контроль 2016. 2016. № 1 (187). С. 85–89.
21. **Ерохин Е.А., Осинцев А.Н.** Эволюция систем технического обслуживания и ремонта оборудования // Организатор производства. 2009. № 4 (43). С. 37–41.
22. **Приказ** Минэнерго России от 06.11.2018 № 1015 “Об утверждении требований в отношении базовых (обязательных) функций информационной безопасности объектов электроэнергетики при создании и последующей эксплуатации на территории Российской Федерации систем удаленного мониторинга и диагностики энергетического оборудования”.
23. **Иванова Н., Савченко Н.** Как оценить эффективность НИОКР // Экономика и жизнь. 2019. № 8 (9774). С. 20–21. <https://www.eg-online.ru/article/394831/>
24. **The Global Competitiveness Report 2018** // World Economic Forum. Geneva, Switzerland, 16 Oct. 2018.
25. **Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневецкий, Л.М. Гохберг, Ю.Я. Дранев, Т.С. Зинина, Г.Г. Ковалева, А.С. Лавриненко, Ю.В. Мильшина, А.А. Назаренко, П.Б. Рудник, А.В. Соколов, А.Б. Сулов, М.С. Токарева, Ю.В. Туровец, Д.А. Филатова, С.В. Черногорцева, Н.А. Шматко, М.А. Гершман, Т.Е. Кузнецова, И.И. Кучин.** М.: НИУ ВШЭ, 2019.

## Digitalization and Digital Transformation of the Thermal-Power Industry as a Factor of Improving the Thermal Infrastructure Efficiency (Review)

E. Yu. Golovina<sup>a, \*</sup>, E. V. Samarkina<sup>a</sup>, N. E. Buinov<sup>a</sup>, and M. V. Evloeva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074 Russia

\*e-mail: elena\_uspeh@mail.ru

**Abstract**—Innovative development is a key factor for achieving more efficient performance of fuel-and-energy complex (FEC) enterprises, and also more reliable and economically efficient supply of energy to consumers on the basis of state-of-the-art technologies with transforming them into an intelligent core of the thermal-power industry’s technological infrastructure. Information technologies continue to actively penetrate into all key fields of human activity and economy sectors; they are a condition for competitiveness and economic development of the country and for further improvement in people’s quality of life. The current stage of this process has been defined as “digital transformation.” It is characterized by an entirely new feature: digital technologies transfer from the category of auxiliary tools to the category of capital goods. This process also has touched the fuel-and-energy complex. Transition to a digitalized operation mode is a response to external technological challenges and future structural changes in the power system. The article studies the goals pursued by digital transformation of thermal-power industry companies. The influence of the thermal-power industry’s digitalization and digital transformation on energy saving and improvement of energy efficiency and energy infrastructure performance quality is considered. Practical experience of implementing digital technology introduction projects aimed at energy-efficient upgrading of heat-supply systems is presented. Fundamental works of foreign and domestic authors in the field of digital economy are considered. Based on the study results, a refined system of concepts is presented; the authors’ own approach to digital transformation components is proposed, and categories lying at the heart of Industry 4.0 are identified, which include a certain set of digital technologies, including prospective ones, from the viewpoint of applying them in the thermal-power industry.

*Keywords:* Industry 4.0, automation, thermal-power industry digital transformation, energy efficiency, Smart Grid, intelligent data processing