

The logo is a stylized, three-dimensional geometric shape, possibly a cube or a similar polyhedron, rendered in shades of orange and blue. It is positioned centrally on the cover, overlapping the background circuitry. The background is split diagonally from the top-left to the bottom-right. The upper-left portion is a warm orange color with glowing yellow circuit traces and nodes. The lower-right portion is a deep blue color with glowing light blue circuit traces and nodes. The overall aesthetic is futuristic and technological.

**АЛЬМАНАХ АССОЦИАЦИИ  
«ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»**

**2022**

# СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЩЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРАВЛЕНИЯ АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА», РУКОВОДИТЕЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПО ФОРМИРОВАНИЮ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛИ Т.А. МЕРЕБАШВИЛИ ..... 1

ОБРАЩЕНИЕ ДИРЕКТОРА АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА» А.А. ХВАЛЬКО ..... 2



## ЧАСТЬ I. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ. .... 3

**1. ВВЕДЕНИЕ** ..... 4

**2. БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ** ..... 9

2.1. Жизненный цикл управления данными ..... 11

2.2. Использование аналитики больших данных в электроэнергетике ..... 17

2.3. Барьеры использования больших данных в электроэнергетике ..... 22

**3. ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК** ..... 26

3.1. Применение цифровых двойников в электроэнергетике ..... 32

3.2. Выводы ..... 36

**4. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ** ..... 39

4.1. Структура интернета вещей ..... 40

4.1.1. Датчики ..... 41

4.1.2. Коммуникационные технологии ..... 42

4.1.3. Хранение и обработка данных интернета вещей ..... 43

4.2. Умные города ..... 43

4.3. Умные сети ..... 44

4.4. Умные здания ..... 45

4.5. Умные заводы ..... 45

4.6. Интернет вещей в энергетическом секторе ..... 46

4.7. Энергия как услуга ..... 51

4.8. Тренды в интернете вещей ..... 53

**5. НОВЫЕ МОДЕЛИ И ИННОВАЦИИ НА ОПТОВЫХ И РОЗНИЧНЫХ РЫНКАХ** ..... 56

**6. МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ** ..... 67

6.1. Компьютерное зрение и машинное зрение ..... 67

6.2. Рынок машинного зрения ..... 68

6.3. Основные принципы работы машинного зрения ..... 70

6.4. Превосходство трехмерного машинного зрения над двумерным ..... 72

6.5. Преимущества машинного зрения ..... 73

6.6. Стандарты машинного зрения ..... 74

6.7. Применение машинного зрения ..... 74

**7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ** ..... 81



<b>ЧАСТЬ II. РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ</b>	<b>83</b>
<b>8. ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>84</b>
<b>9. ООО «ДАТАБРИЗ»: ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ</b>	<b>85</b>
<b>10. ПРОЕКТЫ ООО «СИБИРСКАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ»</b>	<b>89</b>
10.1. «Мобильные обходы электростанций»	89
10.2. «Мобильный тепловой инспектор»	92
10.3. Система мониторинга локального термогидравлического режима тепловой сети	95
<b>11. ООО «ЦЕНТР 2М»: МОБИЛЬНЫЙ ОПЕРАТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯМИ УМНЫХ УСТРОЙСТВ</b>	<b>97</b>
<b>12. ПРОЕКТ ПАО «РОССЕТИ» ПО СОЗДАНИЮ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ</b>	<b>99</b>
<b>13. ПРОЕКТЫ АО «РИР»</b>	<b>101</b>
13.1. Информационная система «Цифровой водоканал»	101
13.2. Информационная система ПАК «Цифровое теплоснабжение»	104
<b>14. АО «НПП «ИСТОК» ИМ. ШОКИНА»: ИИТ.ИСТОК. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ</b>	<b>108</b>
<b>15. АО «РАСУ»: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ</b>	<b>112</b>
<b>16. ГОСКОРПОРАЦИЯ «РОСАТОМ»: РАЗРАБОТКА, ОПЫТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЛАТФОРМЕННОГО РЕШЕНИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ С ГИБКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ</b>	<b>114</b>
<b>17. ПРОЕКТЫ ООО «СИГМА»</b>	<b>116</b>
17.1. «Нева. Цифровой сбыт»	116
17.2. Опыт создания, эксплуатации, импортозамещения и развития системы управления основными данными	119
<b>18. ПРОЕКТЫ АО «СО ЕЭС»</b>	<b>121</b>
18.1. «Управление спросом на электроэнергию»	121
18.2. Итоги пилотных проектов по переводу информационного обмена на CIM	123
18.3. Применение технологии синхронизированных векторных измерений для задач мониторинга и управления переходными режимами ЕЭС России	126
18.4. Прогнозирование вырабатываемой мощности солнечных и ветровых электростанций	130
<b>19. ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»</b>	<b>133</b>



Обращение председателя правления Ассоциации «Цифровая энергетика», руководителя экспертной группы по формированию стратегии цифровой трансформации отрасли

**Т.А. Мерешашвили**



Актуализация альманаха лучших цифровых практик продиктована изменениями в области цифровой трансформации отечественной электроэнергетики, свидетелями которых мы сегодня являемся. По указу Председателя Правительства Михаила Мишустина в России создаются индустриальные центры компетенций (ИЦК), которые вплотную займутся вопросом импортозамещения, в частности, в электроэнергетической сфере. Со своей стороны, ассоциация готова оказывать им методологическую поддержку. Материал, собранный в нашем альманахе, будет крайне полезен ИЦК при выстраивании их деятельности, станет неким теоретическим фундаментом разрабатываемых проектов.

Стоит отметить, что наша работа носит комплексный характер, отвечает целям стратегии цифровой трансформации электроэнергетики, в рамках которой выделено более 30 цифровых технологий, необходимых для развития электроэнергетической отрасли. Напомню, что результатом реализации данной стратегии должно стать повышение качества обслуживания потребителей и эффективности работы электроэнергетических компаний, включая вопросы безопасности и экологичности производства, транспортировки и сбыта электроэнергии.

Ассоциация всячески поддерживает ускоренный переход на отечественное программное обеспечение, где, на наш взгляд, в первую очередь необходимо учитывать отраслевые особенности и зависимость инвестиционных источников энергокомпаний от тарифного регулирования и уровня жизни граждан.

Кроме того, мы прикладываем множество усилий по формированию культуры кибербезопасности на корпоративном и отраслевом уровнях. Существенно возросшее число атак на объекты топливно-энергетического комплекса вызвало повышенное внимание к этой теме, и, конечно, ассоциация не может оставаться в стороне от нее. Так, «Цифровая энергетика» вносит значительный вклад в развитие регулирования и стандартизации в области информационной безопасности, инициируя серию расширенных встреч профильной экспертной группы с участием представителей бизнеса, разработчиков ИТ-решений и регуляторов. Результаты нашей работы в этом направлении выделены в отдельную главу альманаха-2022.

Это поистине большое исследование, значимое для предприятий электроэнергетической отрасли — участников цифровой трансформации. С радостью представляем вам наш новый альманах лучших цифровых практик и с нетерпением ждем обратной связи!



## Обращение директора Ассоциации «Цифровая энергетика»

**А.А. Хвалько**



В стремительно меняющихся геополитических условиях российская электроэнергетика сталкивается с рядом серьезных вызовов, в том числе в области цифровизации. Зарубежные производители оборудования и программного обеспечения 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.

Ассоциация принимает участие в решении актуальных проблем цифровой трансформации российской электроэнергетики. Мы нацелены на дальнейшее стимулирование диалога государства и бизнеса, в том числе посредством проведения на базе Ассоциации «Цифровая энергетика» (АЦЭ) расширенных заседаний экспертных групп по различным направлениям. В ходе таких встреч мы рассматриваем лучшие цифровые решения, которые уже включены или только планируются к включению в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, формируем консолидированную позицию по цифровому развитию отрасли и достижению технологического суверенитета.

Разработка новой версии альманаха лучших цифровых практик — лучшее подтверждение эффективности нашего взаимодействия и его непрерывности. Как отраслевой центр компетенций, ассоциация внимательно следит за появлением новых трендов в области цифровизации и стремится к тому, чтобы электроэнергетические предприятия были максимально погружены в эту «повестку». Компании — члены АЦЭ обсуждают широкий спектр тем в области цифровой трансформации, включая большие данные в электроэнергетике, цифровые двойники, IoT, интернет энергии, рынок машинного зрения. При этом они фокусируются как на международном, так и на российском передовом опыте.

Продолжая работу, которую ранее высоко оценивали представители органов власти и отраслевые эксперты, ассоциация способствует формированию вектора развития цифровой энергетики. По итогам детального анализа перспективных цифровых решений формулирует выводы, которые призваны помочь отечественным электроэнергетическим компаниям реализовывать стратегии цифровой трансформации, что крайне важно при выполнении задач общегосударственного масштаба, прежде всего ускоренного импортозамещения.

Уверен, что альманах-2022 подтвердит статус настольной книги участника цифровой трансформации электроэнергетики, полученный еще в прошлом году, и будет признан большим исследовательским трудом не только в периметре отрасли, но и за ее пределами.



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ



Я убежден, что к концу нашего века употребление слов и мнения, разделяемые большинством образованных людей, изменятся настолько, что можно будет говорить о мыслящих машинах, не боясь, что тебя поймут неправильно.

**А. Тьюринг**

Вычислительные машины и разум, 1950 г.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Энергетические системы по всему миру находятся в периоде трансформации. Основными факторами этого процесса являются децентрализация, цифровизация и декарбонизация. Можно прогнозировать, что в ближайшие десятилетия влияние этих факторов приведет к сильной интеграции энергетического, транспортного, промышленного и строительного секторов. А это, в свою очередь, потребует от всех участников совершенно иного уровня взаимодействия и гибкости для оптимального управления такими сложными системами<sup>1</sup>. Такие концептуальные подходы к трансформации энергосистем хорошо укладываются в парадигму четвертой промышленной революции. Она характеризуется широким внедрением киберфизических систем<sup>2</sup> на всех этапах жизненного цикла продукции: от проектирования до утилизации. Одна из ключевых технологий четвертой промышленной революции — *искусственный интеллект* (ИИ) (artificial intelligence). Эта обширная область на стыке науки и техники является предметом настоящего альманаха.

Под ИИ понимают комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (ПО) (в том числе в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных, анализу и синтезу решений<sup>3</sup>. ИИ часто смешивают с автоматизацией, но эти два понятия различны: автоматизированные системы выполняют повторяющиеся задачи, следуя запрограммированному набору правил, а ИИ выявляет закономерности и делает выводы на основе данных, а также с течением времени «учится» делать это более точно и эффективно.

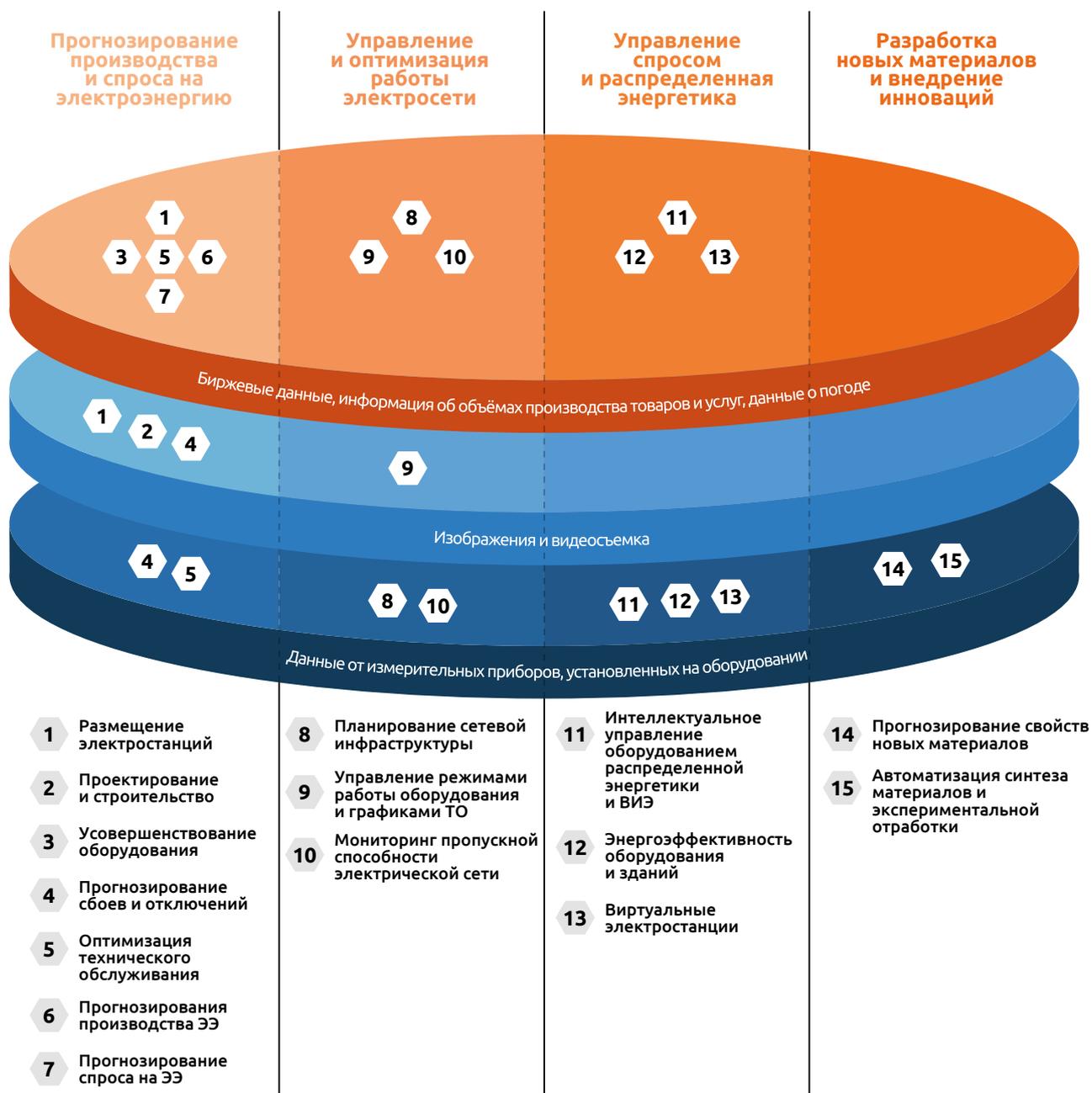
ИИ обладает огромным потенциалом для поддержки и ускорения трансформации энергетической отрасли. Решения в области ИИ могут применяться на всех этапах цепочки создания стоимости: в генерации — для проектирования новых видов оборудования, оптимизации ремонтов и технического обслуживания, в транспорте электроэнергии — для оптимального проектирования сетей, снижения отключений, в сбытовом секторе — для создания новых услуг, оптимизации бизнес-процессов. Численная оценка экономических выгод от внедрения ИИ затруднена в связи с тем, что, во-первых, создаются новые слабо предсказуемые потоки доходов от новых бизнес-моделей, а во-вторых, снижаются потоки расходов, например, за счет уменьшения затрат на замену оборудования из-за внедрения предиктивной аналитики состояния активов.

1 Harnessing Artificial Intelligence to Accelerate the Energy Transition. White Paper // World Economic Forum. 2021. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/harnessing-artificial-intelligence-to-accelerate-the-energy-transition>.

2 Интеллектуальная система, которая включает в себя инженерные взаимодействующие сети физических и вычислительных компонентов (ПНСТ 417-2020).

3 ГОСТ 59277-2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта».

На рис. 1.1 показаны основные направления применения ИИ в электроэнергетике<sup>4</sup>. Предлагается двойная классификация: по области применения и по характеру используемых входных данных. Технологии ИИ используют в производстве электроэнергии, при прогнозировании спроса и нагрузки, проектировании и эксплуатации сети, создания новых материалов и др. Решения с применением ИИ могут использовать множество форм входных данных: фото- и видеоизображения, речь, данные, полученные от датчиков, установленных на оборудовании, а также данные, собранные вручную или роботизированным способом.



**Рис. 1.1.** Использование искусственного интеллекта в электроэнергетике

<sup>4</sup> Artificial Intelligence — from Hype to Reality for the Energy Industry // Deutsche Energie-Agentur (dena) — German Energy Agency. 2020. URL: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena\\_ANALYSIS\\_Artificial\\_Intelligence\\_-\\_from\\_Hype\\_to\\_Reality\\_for\\_the\\_Energy\\_Industry.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena_ANALYSIS_Artificial_Intelligence_-_from_Hype_to_Reality_for_the_Energy_Industry.pdf).

В предлагаемой классификации данные разделяются на следующие виды:

- ▶ рыночные данные, информация о товарах и погодных условиях в виде временных рядов, применяемые для выявления закономерностей и решения задач прогнозирования;
- ▶ изображения и видеоролики, применяемые для распознавания объектов или погодных условий;
- ▶ данные оборудования и датчиков, в том числе от оборудования интернета вещей.

Технологии ИИ применяются для решения задачи оптимального размещения электростанций **(1)**, в том числе солнечных и ветряных, для которых это оказывает решающее влияние на мощность. Решения с использованием ИИ позволяют определить участок для строительства электростанции с наилучшим доступом к существующей сетевой инфраструктуре, управлять графиками строительства, оптимизировать доставку оборудования, контролировать стройплощадку с помощью машинного зрения, выявлять неэффективные и опасные процессы **(2)**. ИИ используется для оптимизации конструкций генерирующего оборудования: турбин, генераторов, трансформаторов, фотоэлектрических панелей, силовой электроники, систем управления **(3)**.

ИИ все чаще интегрируется в процессы технического обслуживания и ремонтов для прогнозирования отказов и простоев, оптимизации порядка технического обслуживания, предотвращения внеплановой замены дорогостоящего оборудования **(4), (5)**. Особенно это становится актуальным для ветряных электростанций, расположенных, например, в горной местности или в море. Доля расходов на техническое обслуживание агрегатов такого ветропарка может достигать до 20% от стоимости электроэнергии<sup>5</sup>.

Достаточно сложно прогнозировать выработку электроэнергии солнечными и ветряными электростанциями. Для этого используются интеллектуальные системы, анализирующие погодные данные от различных источников: температуру, влажность, направление ветра, облачность **(6)**. Аналогичные системы применяются для прогнозирования спроса на электроэнергию **(7)**. ИИ позволяет выявлять сложные закономерности в исторических данных о потреблении, составлять прогнозы спроса на различных временных горизонтах, определять резервы мощности. Долгосрочные прогнозы могут быть использованы при планировании энергосистемы, определении необходимых инвестиций.

Решения с применением ИИ используют исторические данные о работе сетей, прогнозы производства и спроса на электроэнергию, климатические данные для оптимального расположения сетевого оборудования, прокладки линий электропередачи (ЛЭП), выбора трансформаторов **(8)**. Машинное зрение и роботизированные комплексы могут обеспечить дистанционное обследование электросети, системы машинного обучения позволяют выявлять аномалии и отказы, тем самым оптимизировать затраты на техническое обслуживание **(9)**. Создание цифровых двойников сетей дают возможность повысить эффективность их работы, осуществлять непрерывный мониторинг производительности **(10)**.

Способность ИИ эффективно выявлять закономерности в больших массивах данных играет важную роль в интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и накопителей энергии **(11)**. Например, решения на базе ИИ позволяют оптимально переключаться между питанием от сети, накопителя или фотоэлектрической панели с учетом требований потребителя (например, минимизация затрат). Технологии ИИ используются промышленностью, центрами обработки данных для оптимизации энергопотребления **(12)**. Например, могут быть предложены такие графики работы оборудования, при которых спрос на электроэнергию будет соответствовать максимальному предложению (например, за счет ВИЭ). Также ИИ открывает возможности для управления распределенными энергоресурсами в качестве виртуальных электростанций **(13)**.

Наконец, ИИ является мощным инструментом для разработки новых материалов, применяемых в сложных условиях. В частности, применяются решения для прогнозирования свойств материалов по их молекулярной структуре **(14)**. Также использование ИИ позволяет разрабатывать новые катализаторы, термо- и фотоэлектрические материалы, компоненты накопителей энергии. Автоматизация синтеза материалов и эксперимен-

<sup>5</sup> Harnessing Artificial Intelligence to Accelerate the Energy Transition. White Paper // World Economic Forum. 2021. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/harnessing-artificial-intelligence-to-accelerate-the-energy-transition>.

тальной отработки **(15)** дает возможность сократить срок создания и внедрения нового материала с 20–25 лет до 2–3.

К сожалению, практика показывает, что на текущем этапе энергетические компании в основном внедряют только системы ИИ, предназначенные для предиктивного обслуживания оборудования. В отчете<sup>6</sup> предлагаются девять основных принципов, которых следует придерживаться для раскрытия потенциала ИИ в энергетическом секторе (табл. 1.1). Они разделены на три части: регулирование, стимулирование разработок и внедрение.

**Таблица 1.1.** Принципы внедрения искусственного интеллекта

Принципы	Описание
<b>Регулирование</b>	
<b>Управление рисками</b>	Согласование общих технологических и образовательных подходов к управлению рисками, связанными с ИИ
<b>Стандартизация</b>	Использование единых подходов к программному обеспечению и интерфейсам (например, отраслевых стандартов)
<b>Ответственность</b>	Однозначное определение зон ответственности разработчиков и эксплуатантов за решения, принимаемые с использованием ИИ (в оборудовании или программном обеспечении)
<b>Стимулирование разработок</b>	
<b>Автоматизация</b>	Внедрение таких подходов к проектированию оборудования, которые позволят повысить уровень автоматизации и автономности ИИ
<b>Устойчивое развитие</b>	При разработке технических решений с применением ИИ ориентироваться в том числе на энергоэффективность и оптимальное использование ресурсов, включая вычислительные мощности
<b>Разработки</b>	Технические решения с применением ИИ должны быть удобными в использовании, а получаемые с их помощью результаты однозначно интерпретируемыми
<b>Внедрение</b>	
<b>Данные</b>	Создание механизмов (платформ) обмена данными, позволяющими повысить их доступность и качество
<b>Стимулирование</b>	Создание рыночных механизмов и нормативно-правового регулирования, позволяющих получать выгоду от использования ИИ
<b>Образование</b>	Активное внедрение технологий ИИ в трудовую деятельность работников, а также инвестирование в образовательные продукты для обеспечения соответствия навыков и технологического уровня

*Примечание.* ИИ — искусственный интеллект.

6 Harnessing Artificial Intelligence to Accelerate the Energy Transition. White Paper // World Economic Forum. 2021.

Как показано выше, технологии ИИ имеют большие перспективы в энергетическом секторе. Они внедряются и в электроэнергетике России (подробнее см. часть II альманаха «Российский опыт цифровой трансформации»); разработан ряд стандартов, определяющих порядок применения ИИ в различных областях экономики<sup>7</sup>; создан Кодекс этики в сфере ИИ<sup>8</sup>, к которому присоединились многие ведущие компании. Тем не менее для интенсификации процессов внедрения ИИ требуется регулярный анализ международного опыта в этой области.

В настоящем альманахе нами рассмотрены методы и средства, примеры использования в электроэнергетике, а также барьеры внедрения следующих технологий, составляющих совокупность ИИ:

- ▶ аналитика больших данных;
- ▶ цифровой двойник;
- ▶ интернет вещей;
- ▶ машинное зрение.

Также рассмотрены новые модели и инновации на оптовых и розничных рынках электроэнергии и мощности, использующие цифровые технологии. Для раскрытия этого раздела мы обратились за комментарием к эксперту — заместителю председателя правления Ассоциации «НП «Совет рынка» О. Баркину. В разделе приведены сведения о выделенных экспертом основных направлениях внедрения инноваций и перспективных технологиях на электроэнергетических рынках.



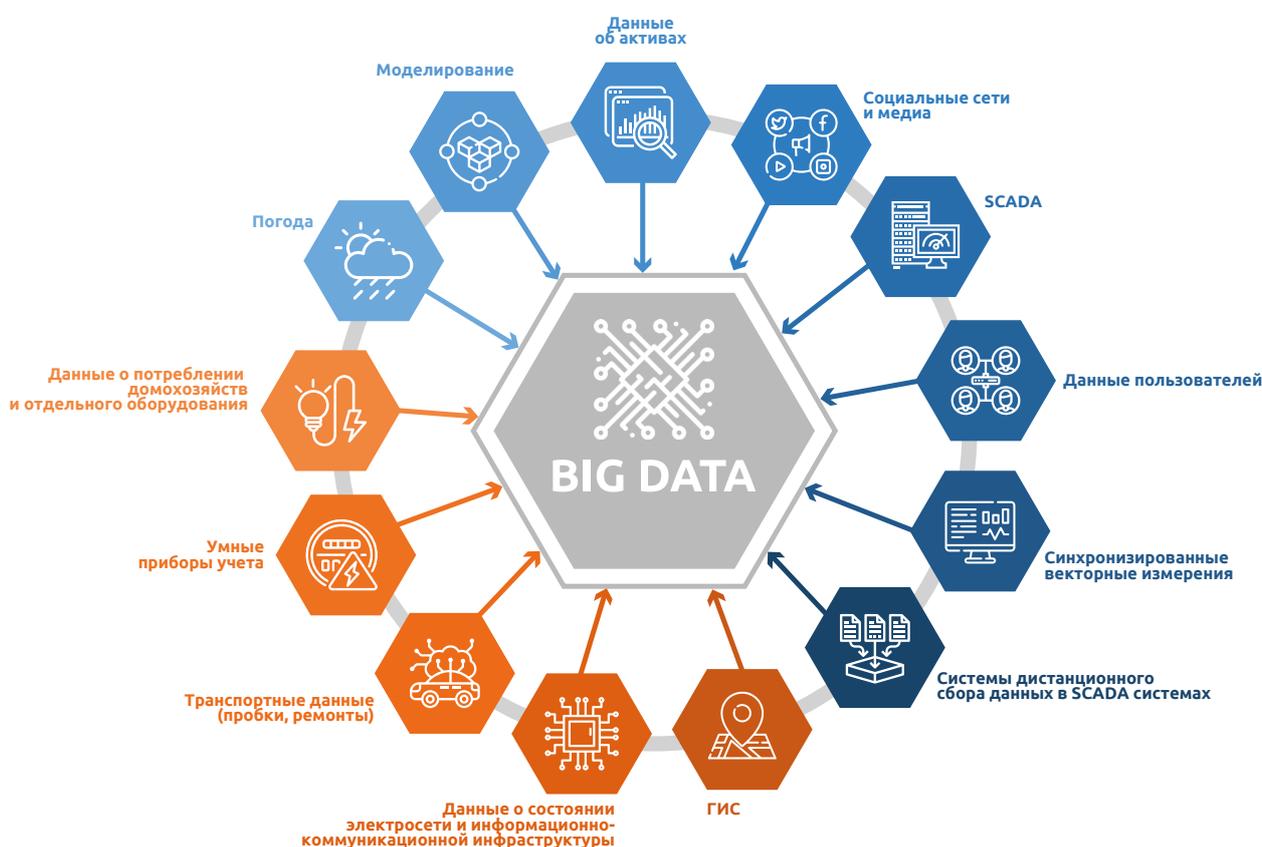
7 Информационно-аналитическая справка по стандартам, принятым в России в области искусственного интеллекта // Аналитический центр при Правительстве РФ. 2021. URL: <https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2021/06/ac-gostyvii.pdf>.

8 Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта // Альянс в сфере искусственного интеллекта. 2021.

## 2. БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Большие данные изменили подходы к ведению бизнеса, управлению и исследованиям. В традиционной парадигме используются структурированные наборы взаимосвязанных данных, которые имеют строго определенное представление. В парадигме больших данных набор данных становится настолько объемным, сложным, разнородным по своей структуре и изменяющимся во времени, что его невозможно обрабатывать с помощью имеющихся инструментов управления базами данных или традиционных приложений [2.1, 2.2]. Возникает необходимость в разработке методов и средств сбора, хранения, обработки и визуализации данных, позволяющей получать принципиально новые результаты.

Технологии больших данных имеют огромный потенциал применения в электроэнергетике, где активно внедряются всевозможные инновации в области измерений, управления и связи, повышающие эффективность и надежность энергосистем. Интеллектуальные системы учета, системы векторных измерений, датчики, установленные на оборудовании, и многие другие цифровые решения генерируют невероятный объем данных. Если эти данные синхронизировать, например, с информацией о погоде, геопозицией, фотоснимками и видеозаписями, то такие данные можно назвать уже «большими» (рис. 2.1) [2.2, 2.3].



**Рис. 2.1.** Большие данные в электроэнергетике [2.3]

Предприятия электроэнергетики ежегодно имеют дело с тысячами терабайт новых данных. Как показано в таблице 2.1, эти данные поступают из различных источников, в различном формате и с различной скоростью [2.4].

**Таблица 2.1.** Источники данных в электроэнергетике

Источник данных	Данные	Скорость сбора
<b>SCADA</b>	Потоки мощности, выработка, нагрузка, статус оборудования, топология сети	Секунды–минуты
<b>Блоки векторных измерений (Phasor Measurement Unit, PMU)</b>	Мгновенные комплексные значения напряжения и силы тока	Миллисекунды
<b>Умные приборы учета</b>	Мощность, потребление электроэнергии, параметры окружающей среды	Секунды–минуты
<b>Регистраторы качества электроэнергии</b>	Активная и реактивная мощность, мгновенные значения напряжения и силы тока	Миллисекунды–секунды
<b>Электрический транспорт</b>	Уровень заряда батареи, геопозиция	Минуты–часы
<b>Датчики на оборудовании</b>	Температура, вибрация, фотографии, видеосъемка	Дни–месяцы
<b>Метеостанции</b>	Температура, влажность, скорость ветра, облачность, частота ударов молнии	Секунды–часы
<b>Рынок электроэнергии</b>	Цены на электроэнергию	Часы–дни
<b>Клиенты</b>	Данные договоров, записи звонков, счета, данные об оплате, социальные сети	Дни–месяцы

При обработке данных можно получить ценную информацию для повышения надежности, рентабельности, энергоэффективности, эксплуатации, планирования, управления активами и простоями, а также для повышения удобства клиентов и устойчивости сети. Эффекты от внедрения аналитики больших данных усиливаются в условиях активной интеграции распределенной энергетики в энергосистемы.

С одной стороны, внедрение технологий больших данных требует значительных вложений в модернизацию инфраструктуры: увеличение пропускной способности коммуникационных сетей, ресурсов для хранения данных, вычислительных мощностей. При интеграции новых решений с существующими информационными системами, используемым ПО довольно часто возникают большие временные и финансовые затраты. С другой стороны, технологии больших данных позволяют создавать более совершенные прогностические модели, применяемые для [2.2, 2.3]:

- ▶ моделирования электрических сетей и инфраструктуры для повышения их надежности, отказоустойчивости, внедрения технологий управления спросом;
- ▶ прогнозирования отказов оборудования, оптимизации расходов на техническое обслуживание и ремонты;
- ▶ эффективной интеграции распределенной энергетики, источников энергии с прерывистыми режимами работы;
- ▶ адаптации услуг для различных клиентов, создания индивидуальных ценовых предложений на основе анализа потребления;
- ▶ снижения стоимости электроэнергии за счет принятия более обоснованных инвестиционных решений;
- ▶ создания новые бизнес-моделей.

Таким образом, электроэнергетические компании должны соотнести возможную выгоду от использования технологий больших данных с расходами на модернизацию и развитие инфраструктуры, а также изменение моделей управления. Электроэнергетические компании консервативны, их деятельность жестко регламентирована, а основным критерием является обеспечение надежности и безопасность эксплуатации систем. В связи с этим модернизация инфраструктуры в пользу внедрения аналитики больших данных может быть затруднена из-за технологических, организационных, экономических, институциональных и политических

ограничений. Однако внедрение методов и средств управления данными следует рассматривать как неотъемлемую часть цифровой трансформации компании [2.2].

В настоящем разделе приведена информация о характеристиках наборов данных и методах их обработки. Рассмотрены области применения технологий больших данных в электроэнергетике. Анализируются барьеры и ограничения внедрения технологий больших данных, а также даются рекомендации по их преодолению.

## 2.1. Жизненный цикл управления данными

В руководстве [2.5] наука о данных (data science) определяется как «извлечение полезных знаний непосредственно из данных путем формулирования и проверки гипотез». Этапы жизненного цикла управления данными включают сбор данных, предварительную обработку (исследование, выборка, уменьшение размерности, выбор признаков, преобразование, очистка), интеграцию данных, сохранение, аналитическую обработку, визуализацию и интерпретацию (рис. 2.2) [2.6].



Рис. 2.2. Жизненный цикл управления данными [2.1]



**Сбор данных.** Как правило, данные поступают в центры обработки из самых разных источников (см. табл. 2.1). Они характеризуются по объему (volume), скорости сбора (velocity), разнообразию (variety) и изменчивости (variability).

Чем больше объем собранных данных, тем более точные результаты могут дать математические модели, построенные для их анализа. В частности, большой объем данных требуется для методов машинного обучения. Обратной стороной сбора большого объема данных является необходимость наращивания вычислительных мощностей и ресурсов для хранения [2.7].

Данные могут поступать в центры обработки с различной скоростью. Например, блоки векторных измерений генерируют данные со скоростью от 30 до 120 выборок в секунду, а данные о клиентах могут поступать один раз в месяц. В основном высокоскоростные системы оперируют с потоковыми данными. Они могут накапливаться для последующей обработки либо анализироваться в режиме реального времени. Обработка в реальном времени требует соответствующей архитектуры систем анализа, например часто применяются распределенные системы обработки (характерно для промышленного интернета вещей).

Данные, поступающие из различных источников, имеют широкий диапазон доменов (типов), логических моделей, временных шкал и семантики. В таком случае говорят о разнообразии данных. С одной стороны, сильное разнообразие данных усложняет разработку соответствующих инструментов анализа, так как требуются дополнительные усилия по синхронизации (выравниваю) наборов данных, их объединения в хранилищах. С другой стороны, именно анализ совокупности разнообразных данных позволяет получать новые оригинальные результаты.

Вероятность изменений в наборе данных, которые влияют на его обработку (скорость потока, формат, структура или объем), характеризуется изменчивостью. Она также должна учитываться при разработке соответствующих интерфейсов, алгоритмов обработки и интеграции (слияния) данных, способов их хранения. Эффективные системы обработки могут адаптироваться к изменению данных, например при необходимости увеличивать вычислительные мощности.

Поскольку в энергетических системах данные часто содержат частную информацию или сведения о критической инфраструктуре, то конфиденциальность и безопасность сбора данных являются определяющими факторами [2.3]. Для обеспечения конфиденциальности и безопасности данных во время сбора необходимо использовать методы шифрования, агрегации/деагрегации и анонимизации.



**Предварительная обработка данных.** На данном этапе решаются две основные задачи: очистка и устранение избыточности данных.

В ходе очистки определяются наборы с ошибочными или ненормальными данными, выделяются и исправляются ошибки, документируется изменение процесса ввода данных для исключения ошибок в будущем [2.1]. Методы очистки данных должны учитывать формат данных, их полноту и рациональность.

Избыточными данными можно пренебречь в процессе анализа. Устранение избыточных данных обычно увеличивает время предварительной обработки, но снижает стоимость передачи и приводит к экономии емкости хранилищ данных.



**Интеграция данных.** Сильное разнообразие данных приводит к тому, что они должны быть интегрированы перед дальнейшей обработкой, то есть приведены к единому формату. Например, во многих СУБД<sup>9</sup> отсчет даты ведется в секундах от полуночи 30 декабря 1899 года, а, например, в операционных системах UNIX отсчет идет от полуночи 1 января 1970 года. В привычном виде дата также представляется в России, например, в формате «день-месяц-год», а в США — «месяц-день-год». Так как учет множества нюансов в форматах представления данных может затруднять их интеграцию, следует придерживаться стандартов.

<sup>9</sup> Система управления базами данных.

Разнообразие цифровых моделей, эксплуатируемых отраслевыми организациями и описывающих энергосистемы, входящие в них производственные активы, а также процессы производства, передачи и потребления электроэнергии обуславливают разрозненность данных, неодновременность их обновления и большой комплекс ручных операций по сопровождению таких цифровых моделей на стороне каждой энергокомпании. Традиционные методы интеграции «точка-точка» не позволяют эффективно связать цифровые модели в единое энергетическое пространство, что приводит к тому, что они должны быть интегрированы с использованием унифицированной модели данных и стандартизированного формата. Например, в ПО используются различные способы представления информации о трансформаторах. В расчётных комплексах это набор узлов и ветвей с коэффициентом трансформации и параметрами схемы замещения. В комплексах по управлению активами, это имущественный объект, обладающий годом ввода и другими характеристиками. Не менее важны и унифицированные правила моделирования отдельных параметров. В электроэнергетике, где внедрено большое количество средств автоматизации, проблема интеграции данных стоит особенно остро. Для решения этой проблемы в последние годы активно разрабатываются стандарты и НПА, а также внедряется общая информационная модель (CIM). В ряде компаний отрасли CIM используется как основа для формирования мастер-модели, в других – разрабатывается специальное программное обеспечение-посредник, которое обеспечивает совместимость форматов [2.1].



**Хранение данных.** Традиционно данные, собираемые в энергосистеме, подвергались постобработке при решении задач планирования и не требовали значительного пространства для хранения. По мере распространения цифровых электросетей, развития средств диагностики оборудования, внедрения векторных измерений, умных приборов учета повысились требо-

вания не только к объему хранилища данных, но и к скорости и методам доступа к нему. Оно должно обладать двумя важнейшими характеристиками: мощной системой интерфейса доступа к данным для ускорения их передачи и большим и надежным пространством для их хранения [2.1]. Современные системы для работы с данными, как правило, состоят из трех частей: дискового массива, подсистемы соединений между дисками и серверами, а также управляющего ПО для обмена данными. Развитие получили распределенные файловые системы, позволяющие обрабатывать данные сразу на нескольких серверах, образующих кластеры (например, Google GFS, Hadoop HDFS или Taobao TFS). Также для хранения и оперирования большими объемами данных используются нереляционные базы данных (NoSQL). В традиционных реляционных базах данных информация хранится в виде связанных между собой таблиц (например, база данных библиотеки содержит таблицу «Книги» со столбцами «Автор», «Название», «Год издания» и т.д.). В нереляционных базах данных записи хранятся как атрибуты объектов, то есть для примера выше в едином документе представлены объекты «Книга» с атрибутами «Автор», «Название» и т.д. Такой подход обеспечивает большую гибкость, масштабируемость и производительность.



**Аналитика данных** включает основанные на машинном обучении методы поиска закономерностей в данных, которые могут дать представление о явлениях, описываемых этими данными, а также прогнозы относительно будущих событий [2.6]. Целью машинного обучения является конструирование функции, которая отображает заданные входные данные в наблюдаемый

результат. Эту функцию в дальнейшем используют для оценки реакции на новые явления, представляющие интерес. Такой процесс называют прогнозированием. Методы машинного обучения получили распространение, потому что они могут быть использованы в приложениях, где традиционная аналитика не подходит из-за объема данных, их разнообразия, изменчивости и других факторов.

Выделяют четыре основных типа аналитики данных: описательный, диагностический, предиктивный и предписывающий [2.3]. Применительно к электроэнергетике **описательные** модели могут использоваться для представления эксплуатационного состояния сети и поведения потребителей («Что случилось?»). **Диагностические** модели могут применяться для анализа условий эксплуатации оборудования и решений, принимаемых операторами («Почему это случилось?»). Такие модели ориентированы на выявление причин событий, поэтому подходят для принятия мер по исправлению ситуации. **Предиктивные** модели используются для прогнози-

рования условий эксплуатации («Что может случиться?»). Наконец, **предписывающие** модели применяются для поиска оптимальных управляющих решений («Что делать?»).

В аналитике данных решаются различные задачи, позволяющие извлечь ценную информацию из наборов данных: кластеризация, корреляция, классификация, категоризация, регрессия и извлечение признаков.

Решение задачи **классификации** предполагает организацию данных в значимые категории. С одной стороны, это облегчает поиск и извлечение информации, с другой — на основе множества ранних наблюдений можно автоматически классифицировать на категории неизвестные данные. Например, нейронная сеть может быть обучена на классификацию событий на наборах данных векторных измерений как нормальных или ненормальных для выявления помех, неисправностей или кибератак. Также классификация применяется для выделения наиболее важных данных или требующих обеспечения конфиденциальности. Для решения задачи классификации наиболее часто применяются нейронные сети.

**Регрессионный** анализ состоит в использовании статистического моделирования для прогнозирования результата на основе входных данных [2.3, 2.7].

Для определения взаимосвязи и совместимости между различными наборами данных применяется **корреляционный** анализ. Он дает ключевое представление о взаимозависимости различных данных (например, данных об отключениях в сети и о погоде) [2.3].

**Кластеризация** используется при изучении данных, о которых мало или совсем ничего не известно. По некоторым принципам данные организуются в значимые подгруппы или кластеры. Для решения задачи кластеризации применяют методы k-средних, иерархическую кластеризацию, метод нечеткой кластеризации C-средних [2.3, 2.6].

**Извлечение признаков** — построение нового набора данных меньшей размерности, соответствующего характерным элементам входного набора данных. Например, имея набор данных об оплате клиентами счетов, можно сформировать набор признаков: средний счет, максимальный счет, среднее время между оплатами, время, прошедшее с момента последней оплаты, и т.п. Решение задачи извлечения признаков является одним из ключевых этапов интеллектуального анализа данных [2.3].

Применение того или иного алгоритма анализа данных зависит от множества факторов: желаемой точности, объема и качества входных данных, доступных вычислительных мощностей. Например, данные, которые используются для планирования, могут обрабатываться достаточно длительное время. В то же время существуют ситуации, когда необходимо минимальное время отклика, например для обнаружения неисправностей по данным векторных измерений, прогнозирования цен в режиме реального времени и т.д. [2.1]. Вследствие этого выбор подходящего инструмента имеет большое значение для анализа.

Наиболее ресурсоемкими алгоритмами машинного обучения являются нейронные сети. Они приобрели популярность благодаря целому ряду факторов, таких как постоянное увеличение вычислительной мощности компьютеров и снижение стоимости оборудования. Не менее важно, что при росте объема данных производительность нейронной сети увеличивается (рис. 2.3).

Аналитические инструменты требуют высокой надежности, масштабируемости, скорости и отказоустойчивости. В последние годы распространение получили **пограничные вычисления** — методы оптимизации производительности вычислений путем переноса обработки данных ближе к их источнику. Пограничные вычисления призваны снизить нагрузку на каналы связи между источником данных и центрами обработки [2.3]. Другим подходом является применение **облачных вычислений**, которые предполагают масштабирование вычислительных мощностей на основе спроса. Кроме того, облачные вычисления обеспечивают гибкость, параллелизацию, совместимость и отказоустойчивость.

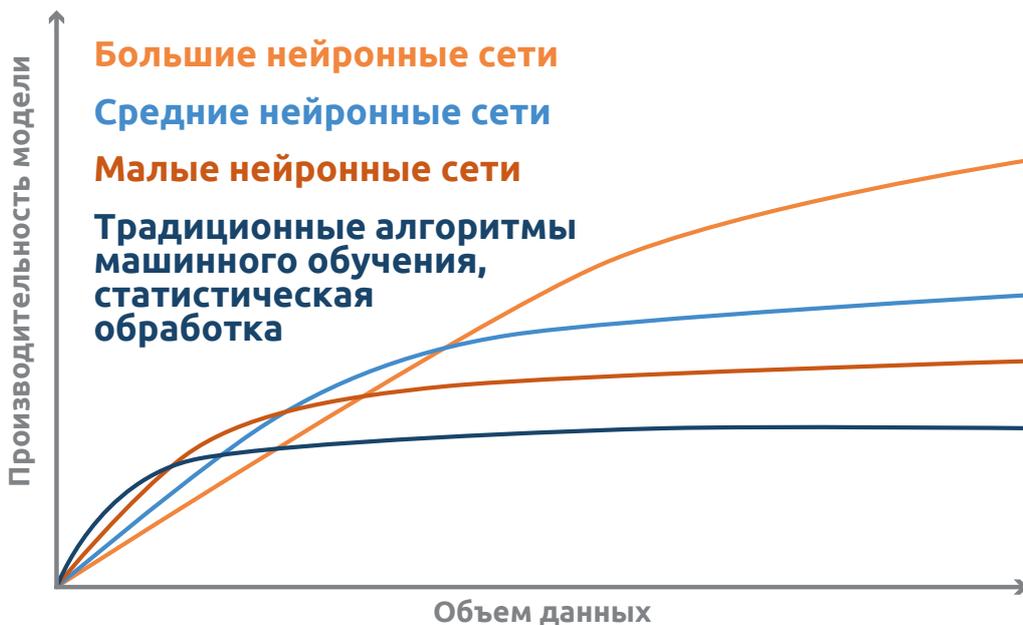


Рис. 2.3. Производительность модели и объем данных [2.7]



**Визуализация данных.** На следующем шаге результаты анализа представляются в виде графической информации: диаграмм, графиков, карт и проч. Графическая информация является более наглядной, помогает выявить источники проблем и новые возможности, дает возможность принимать эффективные решения. На рынке существует множество инструментов для визуализации данных (Tableau, Databox).

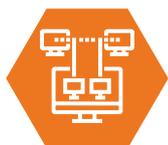


На завершающем этапе управления данными осуществляется **принятие решений**. На основании результатов анализа данных строится целевая функция и ограничения, а затем решается задача оптимизации. Например, Управлением ООН по оказанию помощи при стихийных бедствиях была предложена технология оценки риска. Состояние риска (SoR) определяется по формуле (2.1):

$$\text{SoR} = P(T) \cdot P(C|T) \cdot u(C), \quad (2.1)$$

где  $P(T)$  — вероятность данной угрозы,  $P(C|T)$  — вероятность столкнуться с уровнем последствий  $C$  при интенсивности угрозы  $T$ ,  $u(C)$  — ущерб (экономический, социальный или экологический), связанный с уровнем последствий  $C$ . Входящие величины могут быть определены на основании анализа данных о предыдущих угрозах.

Однако достаточно часто принятие решений необходимо осуществлять в режиме реального времени. В таких случаях, как было сказано выше, необходимо выбирать соответствующие алгоритмы обработки и обеспечивать достаточные вычислительные мощности.



**Платформы для анализа данных.** Для управления данными на всем жизненном цикле разрабатывается специальное ПО. В таблице 2.2 приведена информация о некоторых используемых системах.

**Таблица 2.2.** Платформы для анализа данных

Платформа	Масштабирование <sup>10</sup>	Масштабируе- мость	Сбоеустой- чивость	Производи- тельность	Применение
<b>Hadoop</b>	Горизонтальное	Да	Да	Ограниченная	Пакетная обработка
<b>Spark</b>				Средняя	Пакетная обработка и обработка в реальном времени
<b>Storm</b>				Средняя	Обработка в реальном времени
<b>Drill</b>				Высокая	Интерактивная аналитика
<b>HPC</b>	Вертикальное	Ограниченная		Очень высокая	Пакетная, потоковая и интерактивная аналитика

Платформа с открытым кодом Hadoop используется для обработки массивов больших данных с применением модели распределенных вычислений Map Reduce. Файловая система Hadoop Distributed File System предусматривает разбиение файлов на блоки и распределение их по узлам для параллельной обработки. Такой подход обеспечивает не только высокую доступность данных, но и высокую отказоустойчивость к аппаратным сбоям. Компания OSIsoft использует Hadoop в системе аналитики PI System. Данная система применяется для оценки производительности активов (AGL, Австралия), прогнозирования выработки электроэнергии из ВИЭ (Xcel, США) и предиктивного обслуживания оборудования (Vattenfall, Швеция). Для преодоления ограничений производительности Hadoop разработана система Spark. Она может выполнять вычисления и кэшировать данные в памяти, снижая дисковые накладные расходы для итеративных задач. Spark обеспечивает скорость обработки данных в 10–100 раз выше, чем Hadoop Map Reduce. Система Apache Storm также является распределенной системой вычислений в реальном времени с открытым исходным кодом, которая может обрабатывать неограниченные потоки данных.

Системы Apache Drill и HPC поддерживают интерактивный анализ больших массивов данных. Drill включает несколько инструментов визуализации, что позволяет самостоятельно исследовать данные в режиме реального времени. HPC — это платформа, которая состоит из мощной машины с тысячами ядер, способной в потоковом режиме анализировать большие объемы данных. Системы HPC являются отказоустойчивыми, но из-за архитектуры вертикальной масштабируемости первоначальные затраты на развертывание и масштабирование выше, чем у других платформ.

<sup>10</sup> Вертикальное масштабирование — увеличение вычислительной мощности конкретного устройства обработки (установка новых носителей данных, оперативной памяти и проч.). Горизонтальное масштабирование — увеличение числа устройств обработки и организация распределенных вычислений на них.

## 2.2. Использование аналитики больших данных в электроэнергетике

Аналитика больших данных в электроэнергетической отрасли используется для оптимизации управления активами и технического обслуживания оборудования, интеграции распределенной энергетики, обеспечения информационной и физической безопасности, развития рыночных механизмов и фундаментальных исследований энергосистем.



Электроэнергетические компании сталкиваются с многочисленными задачами **управления активами**, такими как необходимость оптимизации ресурсов, мониторинг поступления и выбытия активов, управление эксплуатацией и техническим обслуживанием, управление запасами [2.1].

Аналитика больших данных может изменить традиционные способы управления активами, снизить риск, оптимизировать расходы и тем самым повысить надежность энергосистем.

Управление активами в электроэнергетических системах можно разделить на **краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное** [2.6]. В минимальные сроки должны обрабатываться отключения оборудования и перебои в работе сети для обеспечения стабильности работы энергосистемы, прогнозирование генерации и нагрузки, идентификация изменения топологии, осуществляться рыночные операции с активами. Для решения данных задач требуются механизмы анализа данных в реальном времени. На среднесрочном интервале планируется техническое обслуживание. Для оптимизации использования ресурсов и снижения времени простоя необходимо развертывание сети датчиков и систем анализа данных от них для мониторинга состояния оборудования. К долгосрочному управлению активами относится инвестиционное планирование развития энергосистемы. В данном случае аналитика больших данных используется для прогнозирования потребления, оптимального размещения объектов энергетики.



**Обеспечение стабильности работы энергосистемы.** Способность восстанавливать состояние равновесия после возмущения характеризует стабильность системы. В режиме реального времени большую неопределенность в работу энергосистемы вносят прерывистый характер выработки электроэнергии ВИЭ, стохастическая зарядка и разрядка электромобилей

и непредсказуемая деятельность по реагированию на спрос [2.4]. Для поддержания стабильности энергосистемы приходится жертвовать эффективностью, например, за счет увеличения резерва генерации. При наличии в энергосистеме значительной доли ресурсов с неопределенными и изменяющимися параметрами целесообразно внедрение новых механизмов оценки устойчивости и управления в режиме реального времени (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Архитектура управления энергосистемой на основе данных [2.4]

На первом шаге создается база исторических данных о работе энергосистемы (результаты векторных измерений, данные SCADA, данные моделирования нештатных ситуаций и проч.). На втором шаге происходит интегрирование данных: синхронизация по времени, преобразование форматов. Далее осуществляется извлечение признаков (основных характеристик состояния энергосистемы на основании полученных данных) и соответствующих им индексов стабильности (условия устойчивости относительно непредвиденных ситуаций). Дальнейший анализ позволяет выявить критические характеристики, которые наиболее коррелируют с индексом устойчивости. Эти критические характеристики должны наиболее тщательно отслеживаться и контролироваться для поддержания стабильности энергосистемы [2.4]. Для выявления критических характеристик могут применяться искусственные нейронные сети, метод опорных векторов, деревья решений, методы экстремального и глубокого обучения. Выбор конкретного алгоритма обусловлен необходимостью интерпретации результатов, требуемой точностью и доступной вычислительной мощностью. Кроме того, большинство существующих методов предполагают, что данные измерений полностью доступны. На практике из-за неисправностей блоков векторных измерений или SCADA, наличия шума, нарушений связи и т.д. входные характеристики могут быть частично недоступны. В таком случае будущее за новыми методами классификации и регрессии для борьбы с ошибочными данными.

В борьбе за устойчивость энергосистемы важным является создание правил управления устойчивостью. Для этого результаты аналитики больших данных должны быть интерпретируемы. Машинное обучение используется для изучения исторических данных об управляющих действиях оператора и помощи в принятии решений или для изучения новых решений с использованием экспертных систем [2.6]. В литературе описаны методы классификации и регрессии создания интерпретируемого классификатора состояний энергосистемы или областей стабильности, которые могут использоваться при диспетчеризации [2.4]. Даже внедрение вспомогательных систем приводит к увеличению нагрузки на оператора, потому что ему необходимо классифицировать приоритет тревог, выдаваемых системой по тем или иным поводам. Проектируемые аналитические системы должны не только генерировать сигналы тревоги, но и оценивать последовательность таких сигналов для снижения когнитивной нагрузки на оператора во время аварийных сценариев и улучшения процесса принятия решений [2.6].

Большое влияние на надежность энергосистем имеет способность синхронно отслеживать погодные угрозы по мере их развития и оценивать связанные с ними последствия. Погодные воздействия на отключения в энергосистемах можно разделить на прямые и косвенные. К прямым воздействиям относятся ситуации, когда неблагоприятные погодные условия непосредственно привели к выходу из строя оборудования (удар молнии, падение дерева на ЛЭП). Примерами косвенного воздействия погодных условий являются жара или сильный мороз, увеличивающие нагрузку (для кондиционирования или обогрева).

Синхронизация данных о погоде, геопозиций оборудования и исторических данных о состоянии сети позволяет прогнозировать перебои, связанные с погодными условиями, на 1–3 часа вперед. Такие результаты показаны в ходе реализации проекта компанией Bonneville Power Administration (США). Для отображения вероятности отключений в режиме реального времени использовались открытые данные спутниковых наблюдений и метеостанций [2.6].

Аналитика больших данных может использоваться для оптимального размещения и подбора характеристик нелинейных ограничителей перенапряжений с целью минимизации рисков отключений, связанных с молниевыми разрядами. Входными параметрами являются исторические данные о нарушениях работы из-за грозы, данные о климатических условиях и рельефе местности, параметры расположения оборудования и проч., а выходными — необходимые характеристики ограничителей перенапряжений с учетом наиболее вероятных параметров молнии.

Также аналитика больших данных может применяться для оценки ущерба и прогнозирования отключений, вызываемых катастрофическими погодными явлениями (ураганы, штормы, наводнения и т.п.). Это помогает заранее сформировать запасы и оценить ресурсы для восстановления инфраструктуры, предусмотреть альтернативные варианты электроснабжения.



**Прогнозирование нагрузки** рассматривалось как важнейший компонент долгосрочного планирования энергосистем, когда данные о нагрузке собирались ежемесячно или ежегодно. Все более сложные эксплуатационные потребности стали требовать точных краткосрочных прогнозов нагрузки [2.6].

Моделирование нагрузки осуществляется на основе компонентов или на основе измерений. В первом случае модель совокупной нагрузки строится путем комбинирования отдельных характеристик компонентов. Такой подход в значительной степени зависит от статистики состава нагрузки, которую обычно трудно получить для больших энергосистем. Подход, основанный на измерениях, строит модель нагрузки на основе полевых измерений. Подбираются такие параметры модели нагрузки, которые как можно точнее соответствуют динамическим измерениям в системе [2.4]. Проблема заключается в том, что такие методы плохо масштабируются и требуют значительных вычислительных мощностей, поэтому распространение получили методы аналитики больших данных.

Для прогнозирования нагрузки активно используют искусственные нейронные сети и регрессионный анализ. Доступность данных измерений с высоким пространственно-временным разрешением позволила использовать почасовые и субчасовые данные для долгосрочного прогнозирования нагрузки [2.6]. Такие данные позволяют прогнозистам строить модели с сотнями параметров для более полного отражения характера нагрузки. Также отмечается, что учет данных о погоде повышает точность прогнозов нагрузки, однако для промышленной нагрузки это влияние минимально [2.7].

Нагрузка домохозяйства является более стохастической и непостоянной. Чтобы уловить характер нагрузки, применяются методы глубокого обучения, позволяющие динамически классифицировать поведение потребителей и электрические характеристики, что может помочь энергетическим компаниям принимать оптимальные операционные решения [2.3, 2.6]. Немало способствует развитию аналитики больших данных внедрение программ управления спросом. Выявление подходящих для программ управления спросом потребителей осуществляется методами кластеризации на основе временных рядов.



**Прогнозирование производства электроэнергии.** Значительная часть исследований применения аналитики больших данных в электроэнергетике направлена на изучение того, как оптимально использовать доступные данные для прогнозирования производства электроэнергии из ВИЭ. Выработка электроэнергии из ВИЭ является достаточно труднопредсказуемой, поскольку она обусловлена множеством факторов, таких как рельеф местности, погодные условия, характеристики генератора и т.д. [2.4].

Системы аналитики больших данных реализуют интервальное прогнозирование выработки электроэнергии из ВИЭ. Они показывают не только прогнозное значение, но и диапазон, в котором это значение может изменяться с заданной вероятностью. Интервалы производства электроэнергии в дальнейшем используются для обеспечения стабильности и планировании развития энергосистем с высокой долей генерации на ВИЭ [2.4].

Хотя минимальное временное разрешение данных от оборудования ветрогенератора или инвертора фотоэлектрической установки составляет порядка 1 с, традиционные данные о погоде могут поступать с гораздо меньшей частотой. В связи с этим увеличивают объем поступающих данных, используя снимки неба (фиксируется облачность и движение облаков каждые 30 с), данные метеорадаров (от 1 до 10 минут, радиус от 60 до 250 км), данные атмосферных лидаров (каждые 1–5 с), спутниковые снимки. Новые методы аналитики данных и доступность вычислительных мощностей повысили разрешение прогнозов погодных условий до десятков метров и десятков минут [2.6]. Это приводит к увеличению точности прогнозирования производства электроэнергии.



**Оценка состояния оборудования.** Методы предиктивной аналитики применяются для оценки технического состояния оборудования. Применение методов предиктивной аналитики можно проиллюстрировать на примере трансформатора. Традиционный подход к оценке состояния трансформатора основывается на знаниях о проходящих в нем физических и химических процессах, соответствующих физических моделях и результатах экспериментов. Растущий объем данных о работе трансформаторов, включающий результаты периодического анализа растворенного газа и масла, данные от датчиков температуры, влажности, побуждает использовать методы машинного обучения для оценки их состояния.

Например, в Южной Корее для исследования отказов понижающих трансформаторов в распределительных сетях применялись многослойные искусственные нейронные сети, реализующие алгоритмы контролируемого и неконтролируемого обучения [2.6]. При этом столкнулись со следующими проблемами алгоритмов контролируемого обучения: (а) большинство алгоритмов предлагают низкую интерпретируемость для лиц, принимающих решения; (б) отсутствуют доступные данные об отказах высокого качества; (в) классификация состояния трансформатора осуществляется субъективно человеком. При использовании неконтролируемого обучения формировался индекс работоспособности, обобщающий состояние трансформатора путем объединения результатов наблюдений, инспекций, тестирований на месте эксплуатации и в лаборатории. Проблемами в этом случае являются (а) эмпирическое распределение весов для каждого влияющего фактора и (б) отсутствие информации о конкретном типе неисправности.

Платформы для оценки состояния оборудования методами предиктивной аналитики разрабатывают несколько компаний, включая Siemens, General Electric (GE), ABB, OSIsoft и др. Платформа PREDIX разработана General Electric для консолидации данных от датчиков, расположенных на оборудовании, интеллектуальных систем учета и систем управления распределительной сетью. Компанией GE реализована облачная архитектура аналитики больших данных (рис. 2.5) для организации параллельного доступа. Платформа реализует инструменты мониторинга сетей в реальном времени, изменения топологии сети, управления энергопотреблением. Также реализована концепция пограничных вычислений, где часть обработки переносится к источнику данных.



**Рис. 2.5.** Архитектура платформы PREDIX [2.3]

Платформа аналитики больших данных ABB Asset Health Center используется в цифровых сетях. Она позволяет интегрировать данные мониторинга оборудования в механизмы управления активами и бизнес-процессами. Также более 1000 предприятий электроэнергетики по всему миру используют PI System производства OSIsoft для мониторинга состояния оборудования, прогнозирования нагрузки и выработки электроэнергии на ВИЭ [2.3]. Компания Siemens разработала платформу больших данных под названием EnergyIP Analytics. Эта аналитическая платформа использует большие данные для предиктивного корректирующего управления состоянием электросети. EnergyIP Analytics уже используется в Европе более чем 50 энергетическими компаниями [2.3].



Отдельно следует выделить **аналитику данных интеллектуальных приборов учета** (умных счетчиков). В США и европейских странах проникновение умных приборов учета превышает 50% от общего количества [2.6], что открывает новые возможности для улучшения взаимодействия с клиентами, операционной деятельности и планирования развития энергосистем.

К электросети подключается значительное количество распределенных энергетических ресурсов, включая фотоэлектрические элементы, накопители энергии, электромобили и др. Эти ресурсы создают новые проблемы для электросетевых компаний, такие как перепады напряжения, обратные потоки, что приводит к нарушению тепловых режимов, сокращению сроков службы трансформаторов и регуляторов напряжения. Не менее важной является проблема потребления электроэнергии по субсидируемым тарифам с целью питания майнинговых ферм. Исследования показали, что аналитика данных от интеллектуальных приборов учета позволяет обнаруживать распределенные энергетические ресурсы в электросети и за счетчиком. Методы глубокого обучения по данным умных счетчиков в совокупности с данными погоды и геопозицией могут даже определить угол наклона и расположение фотоэлектрических установок.

Данные интеллектуальных приборов учета использовались для обнаружения аномалий в сети, таких как резкие изменения потребления или напряжения. Также по результатам анализа данных умных счетчиков можно определить параметры оптимального восстановления после отключения в сети и проектирования реконфигурации фидера. Аналитика интеллектуальных счетчиков также используется для корректировки подключений трансформаторов, идентификации фаз и топологии [2.6].



Аналитика больших данных имеет большой потенциал при решении задач **повышения энергоэффективности**. Традиционные методы оптимизации потребления основываются на анализе физических моделей процессов, которые имеют собственные ограничения (точность, степень приближения к реальности, сложность и др.). Анализ данных от приборов учета и датчиков на оборудовании, применение обучающих алгоритмов позволяют осуществлять управление энергопотреблением в режиме реального времени. Важным фактором при этом является доступность наборов данных об энергоэффективности зданий и оборудования. Например, база данных эффективности зданий Министерства энергетики США может использоваться для оценки потенциала энергосбережения и оценки воздействия энергетических технологий. Фактически методы, основанные на данных, могут использоваться для априорной оценки мер по модернизации с точки зрения энергосбережения и снижения риска инвестиций в энергетические технологии [2.6].

Таким образом, аналитика больших данных уже сейчас активно применяется в электроэнергетической отрасли. В перспективе аналитические инструменты и платформы должны обеспечивать [2.6]:

- ▶ количественную оценку рисков с расчетом прогнозов неопределенности;
- ▶ монетизацию исторических данных в интересах владельцев и пользователей;
- ▶ объединение физических моделей и средств анализа данных;
- ▶ использование данных из разрозненных источников (социальные сети, данные геолокации смартфонов, подписки на онлайн-сервисы, данные доставки товаров и услуг, такси и др.).

## 2.3. Барьеры использования больших данных в электроэнергетике

Электроэнергетические компании являются сильно регулируемыми организациями, и они больше сосредоточены на обеспечении надежности энергосистемы, чем на опробовании новых технологий. Вследствие этого внедрение аналитики больших данных в энергетике идет несколько меньшими темпами, чем, например, в телекоммуникациях, финансовом секторе или торговле. К основным проблемам внедрения аналитики больших данных можно отнести отсутствие поддержки руководства, нехватку квалифицированных кадров, трудности с управлением данными и отсутствие новых бизнес-моделей, связанных с данными [2.3].

Внедрение аналитики больших данных требует значительных вложений в инфраструктуру для хранения и обработки, перестройку коммуникаций, привлечение квалифицированных сотрудников, изменение бизнес-процессов и отчасти нормативного технического регулирования. По этой причине проблемы, которые могут решать большие данные, должны быть достаточно серьезными, чтобы обеспечить разумную отдачу от инвестиций [2.8].

Не менее остро стоит проблема стандартизации, определения общих подходов к обращению с данными. Как минимум необходим общий словарь для принятия решений об использовании больших данных, поскольку поставщики решений и эксплуатанты могут иметь разный опыт.



**Доступность данных.** Аналитика больших данных становится эффективной, когда совокупной обработке подвергаются данные из самых разных источников, причем чем больше объем данных, тем точнее и ценнее результат. Децентрализация электроэнергетики привела к тому, что данные на отдельных этапах цепочки создания стоимости контролируются различными организациями и оказываются недоступны для других участников рынка. Эта проблема усугубляется тем, что компании эксплуатируют информационные системы с несовместимыми форматами данных и требуется дополнительное время и ресурсы на их интеграцию. Существует несколько стандартов информационных моделей и коммуникационных протоколов (например, IEC 61850, IEC 61850-90-7, IEC 61970/61968, IEEE 1815 и IEEE 2030.5) для обеспечения интероперабельности в энергетических системах. Однако ни один из этих стандартов пока не направлен на обеспечение совместимости между платформами аналитики больших данных. Вместо этого компании внедряют аналитику больших данных с использованием различных платформ хранения, вычислений и обработки. Дополнительным фактором во многих странах является то, что различные аспекты отраслевой деятельности контролируются различными органами и возникают нормативные коллизии в части обеспечения доступа к данным [2.2].

Очевидно, что участники рынка R&D смогли бы предложить больше инновационных проектов, если обеспечить доступ к реальным энергетическим данным и эталонным моделям. Однако для этого необходимо решить вопросы владения данными, конфиденциальности и кибербезопасности. Разработчики могут обеспечиваться открытыми наборами реальных обезличенных данных, как это сделано в случаях, приведенных в таблице 2.3.

**Таблица 2.3.** Открытые наборы данных в электроэнергетике

Источник данных	Комментарий
<b>CER Smart Metering Project.</b> <b>Ирландская комиссия по регулированию в области электроэнергетики [2.9]</b>	В 2009–2010 годах проведен эксперимент по анализу данных от 5000 умных приборов учета, установленных в домохозяйствах Ирландии. Полученные результаты использовались при планировании централизованной замены приборов учета по всей стране
<b>ARPA-E GRID DATA [2.10]</b>	В рамках программы создан репозиторий данных о работе энергосистем в США. На основании данных проектные команды строят модели и предлагают варианты оптимизации работы энергосистем

<b>My Electric Avenue [2.11]</b>	Проект по анализу потребления локальных сообществ, в которых большинство жителей используют электромобили. Результаты анализа позволяют лучше планировать развитие сетевой инфраструктуры при увеличении доли электротранспорта
<b>ENTSO-E Transparency Platform [2.12]</b>	Платформа Ensto-E аккумулирует данные по нагрузке, выработке, передаче и отключениях на европейском рынке электроэнергии с 2015 года
<b>Great Britain National Grid Status (Gridwatch) [2.13]</b>	Открытые наборы данных о работе энергосистемы Великобритании с 2011 года. Данные включают потребление, энергобаланс, частоту и т.д.
<b>Данные измерений умных приборов учета в распределительной сети штата Айова (США) [2.14]</b>	В набор данных входят результаты измерений в распределительной сети, где все 1120 потребителей оборудованы умными приборами учета. Результаты аналитики позволяют создавать решения по оптимизации потребления
<b>Sotavento Wind Farm Historical Data [2.15]</b>	Набор данных о скорости и направлении ветра, а также выработке электроэнергии ВЭС в Испании. Исторические данные используются для прогнозирования выработки

Репозитории данных могут иметь низкую ценность, если они содержат ошибочные и некачественные данные. Такие «загрязненные» данные должны обнаруживаться на ранней стадии и изолироваться. Решения, принятые на основе ошибочных данных, могут иметь серьезные последствия в электроэнергетике.

Помещение данных в контекст является обязательным, в противном случае операторы сталкиваются с проблемой наличия большого количества данных, но недостаточной информации. Для понимания причинно-следственных связей необходимы не только модели данных, но и физические модели энергосистем.



**Информационная безопасность.** Критической проблемой для всех организаций является обеспечение безопасности и конфиденциальности данных. Учитывая, что энергосистемы являются критической инфраструктурой, эта проблема стоит особенно остро для компаний электроэнергетики.

Компании, ведущие деятельность на отдельных этапах цепочки создания стоимости, передают данные друг другу через стандартизированные интерфейсы, которые уязвимы к различным видам кибератак (фишинговые атаки, подмена метаданных, атаки путем внедрения) [2.2]. Для обеспечения информационной безопасности генерирующим, передающим и сбытовым организациям необходимо согласованно придерживаться одних и тех же политик безопасности и соответствующих стандартов.

Большие данные в энергетике могут содержать частную информацию отдельных лиц, которая должна быть защищена в соответствии с различными правовыми нормами. Это могут быть не только персональные данные клиентов, но и, например, профили потребления, полученные от интеллектуальных приборов учета. Такие конфиденциальные данные потребителей должны безопасно передаваться для защиты их частной жизни. Все конфиденциальные данные перед передачей должны быть зашифрованы или анонимизированы.



**Инвестиции, ресурсы и квалификации.** Сценарии использования, которые оправдывают крупные инвестиции в инфраструктуру анализа данных, должны быть должным образом продемонстрированы, чтобы гарантировать четкую отдачу от инвестиций. В обзоре Energy Advisory Committee (США) за 2021 год указывается, что исследования больших данных в электроэнергетике по сравнению с другими отраслями находятся в зачаточном состоянии из-за нехватки ресурсов и опыта [2.8].

Для реализации аналитики больших данных необходимо коренным образом изменить дизайн устаревших служебных решений, обрабатывающих большие объемы данных. В отдельных рекомендациях предлагается активно внедрять платформы с открытым исходным кодом для управления данными, вариативно подходить

к наращиванию вычислительных мощностей, чтобы обеспечить компромисс между централизованными и децентрализованными вычислениями [2.6].

Внедрение аналитики данных требует опыта и навыков, которые в настоящее время отсутствуют в отрасли. У большинства компаний электроэнергетики нет собственного отдела, занимающегося аналитикой больших данных или предлагающего решения в этой области. Необходима совместная работа исследовательских центров в области данных и специалистов в области энергетических систем для получения эффективных результатов. Отработка решений может проводиться на испытательных стендах и полигонах, позволяющих имитировать процессы на всех этапах цепочки создания стоимости.

В сфере аналитики больших данных наблюдается постоянная нехватка квалифицированных кадров. Существует необходимость в развитии программ повышения квалификации, переподготовки для специалистов из смежных областей (инженерные и естественно-научные специальности), а также обеспечении возможности стажировки на предприятиях и работы с реальными наборами данных [2.8].



**Рекомендации.** Для преодоления рассмотренных выше барьеров внедрения аналитики больших данных в электроэнергетическом секторе в работах [2.1, 2.4, 2.8] предлагаются следующие рекомендации:

- ▶ с целью синхронизации усилий энергетических компаний, промышленности и R&D в электроэнергетической отрасли должны быть созданы общедоступные репозитории наборов данных для продвижения разработок в области аналитики больших данных; для повышения точности прогнозов наборы данных должны сопровождаться физическими моделями;
- ▶ необходимо финансировать создание больших испытательных стендов анализа данных, где передовые решения могут быть продемонстрированы и оценены с точки зрения инвестиционной привлекательности;
- ▶ необходимо развивать стандартизацию и надлежащие практики обращения с данными: обеспечивать информационную безопасность, конфиденциальность и анонимность электроэнергетических данных;
- ▶ необходимо обеспечить надлежащий доступ к данным, содержащимся в государственных информационных системах, в том числе предусмотреть средства предварительной обработки и визуализации;
- ▶ необходимо развивать программы подготовки в области анализа данных с привлечением предприятий энергетики и промышленности для увеличения числа квалифицированных специалистов с отраслевым профилем;
- ▶ регуляторы энергетической отрасли должны координировать действия с другими органами власти для развертывания аналитики данных.

Бизнес должен разрабатывать модели возмещения затрат, чтобы оправданные инвестиции в аналитику данных можно было рассматривать как капиталовложения с четко определенными преимуществами для клиентов. Затраты, связанные с данными, постоянно снижаются. За последние 30 лет стоимость хранения данных сокращалась вдвое примерно каждые 14 месяцев. Например, хранение гигабайта данных в 1995 году стоило около 11 200 долл. США, к 2000 году — 11 долл. США, а сегодня — всего три цента [2.1]. Снижение стоимости хранения данных и управления данными делает сбор и хранение данных в режиме реального времени экономически оправданным, тем самым предоставляя предприятиям электроэнергетики значительные возможности для создания успешных бизнес-моделей.

Потребители электроэнергии также владеют данными, однако неясно, как распределяются потоки доходов, связанные с монетизацией потребительских данных. Эта проблема требует решения в области нормативного регулирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

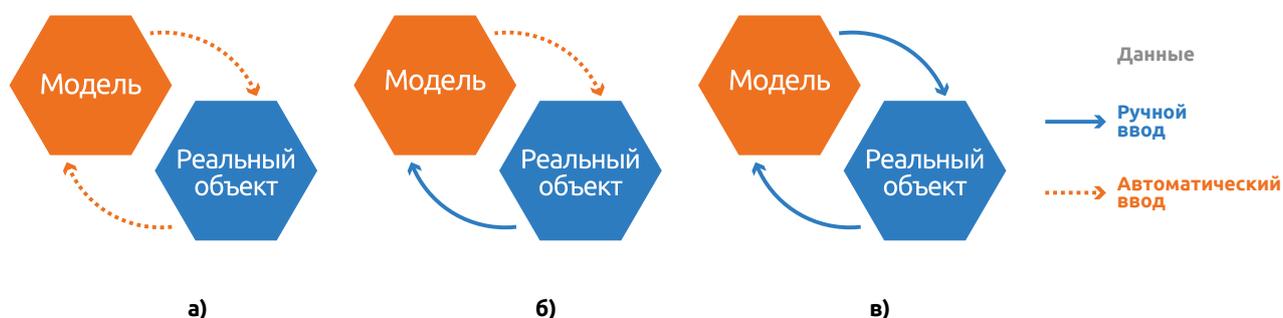
2. 1. Akerkar R., Hong M. Big Data in Electric Power Industry. Opportunities and Challenges for Sogn og Fjordane region. Vestlandsforskning, 2021. 43 p.
2. 2. Schuelke-Leech B.-A. et al. Big Data issues and opportunities for electric utilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 52. P. 937–947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.128>.
2. 3. Bhattarai B.P. et al. Big data analytics in smart grids: state-of-the-art, challenges, opportunities and future directions // IET Smart Grid. 2019. V. 2. N. 2. P. 141–154. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2018.0261>.
2. 4. Pei Z. et al. Power Big Data: New Assets of Electric Power Utilities // Journal of Energy Engineering. 2019. V. 145. N. 3. P. 04019009-1-10. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000604](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000604).
2. 5. Special Publication 1500-1r2. NIST Big Data Interoperability Framework. V. 1, Definitions. 2019. 53 p. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-1r2>.
2. 6. Kezunovic M. et al. Big data analytics for future electricity grids // Electric Power Systems Research. 2020. V. 189. P. 106788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106788>.
2. 7. Ausmus J. et al. Big Data Analytics and the Electric Utility Industry // Proc. of Int. Conf. on Smart Grid Synchronized Measurements and Analytics (SGSMA). 2019. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/SGSMA.2019.8784657>.
2. 8. Big Data Analytics: Recommendations for the U.S. Department of Energy // Electricity Advisory Committee. 2021. 8 p. URL: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f83/EAC%20Big%20Data%20Analytics%20Work%20Product\\_Final.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f83/EAC%20Big%20Data%20Analytics%20Work%20Product_Final.pdf).
2. 9. URL: <https://www.ucd.ie/issda/data/commissionforenergyregulationcer/>.
2. 10. Generating Realistic Information for the Development of Distribution and Transmission Algorithms // ARPA-E. 2016. URL: <https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/grid-data>.
2. 11. My electric avenue project // EA Technology. 2018. URL: <https://eatechnology.com/media/iwjxzeg/1-myelectricavenue-i2ev-projectssummaryreport.pdf>.
2. 12. ENTSO-E Transparency Platform // ENTSO-E. 2015. URL: <https://transparency.entsoe.eu>.
2. 13. Gridwatch // Elexon portal and Sheffield University. 2022. URL: <http://www.gridwatch.templar.co.uk>.
2. 14. Iowa Distribution Test Systems // Iowa State University. 2019. URL: <http://wzy.ece.iastate.edu/Testsystem.html>.
2. 15. Historical Data // Sotavento. 2021. URL: <https://www.sotaventogalicia.com/en/technical-area/real-time-data/historical/>.

### 3. ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК

По прогнозам Управления энергетической информации США, общемировое производство электроэнергии увеличится на 80% в период с 2020 по 2050 год [3.1]. При этом в структуре энергобаланса будут преобладать ВИЭ, так как в настоящее время генерация на основе невозобновляемых источников энергии является одним из основных эмитентов парниковых газов (до 50% от общего объема [3.2]). Эти предпосылки заставляют мировую энергетику активно повышать эффективность работы для снижения влияния колебаний стоимости топлива, последствий климатических изменений и незапланированных отключений. Одной из технологий, способствующих быстрой трансформации энергосистем и повышению гибкости управления, является **цифровой двойник** (digital twin).

Впервые данный термин предложен в 2003 году М. Гривзом (Флоридский технологический институт, США). В соответствии с его определением цифровой двойник — это набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физический продукт на микро- и макроуровне, причем в оптимальном варианте любая информация, которую можно получить при осмотре физического изделия, может быть получена от его цифрового двойника [3.3]. Менее академически цифровой двойник определяют как сочетание вычислительной модели и реальной системы, разработанное для мониторинга, контроля и оптимизации ее функциональности на протяжении жизненного цикла и основанное на анализе данных [3.3].

Моделирование с помощью компьютерных систем активно внедряется в промышленности, энергетике и на транспорте начиная уже с 1970-х годов, например, компаниями General Electric, Siemens и Rolls Royce для проектирования роторов, турбин и авиационных двигателей. Тогда же начинают использовать термины «цифровая модель» и «цифровая тень». Их отличие от цифрового двойника можно показать, ориентируясь на интенсивность потоков информации между вычислительной моделью и реальным объектом (рис. 3.1).



**Рис. 3.1.** Цифровая модель (а), цифровая тень (б) и цифровой двойник (в)

**Цифровая модель** является программным представлением реального объекта (процесса), при этом не предполагается какой-либо автоматический обмен данными между ними. Цифровая модель может иметь различные уровни детализации, причем разработчики могут уточнять модель в соответствии с новыми требованиями. Изменения в состоянии цифрового или реального объекта не отражаются автоматически на его контрагенте. **Цифровая тень** предполагает организацию потока данных от реального объекта к цифровому (например, данные, поступающие от датчиков, установленных на оборудовании). Таким образом, изменение состояния реального объекта определяет изменение состояния цифрового объекта. Если же организован двусторонний автоматический обмен данными между реальным и цифровым объектами, то можно говорить о наличии **цифрового двойника**. В этом случае изменение состояния цифрового объекта также приводит к изменению состояния реального объекта (например, выявленный выход параметров цифрового объекта за допустимые границы инициирует изменение режимов работы реального объекта для предотвращения аварии) [3.4].

**Характеристики цифрового двойника.** Цифровые двойники возможно классифицировать по различным признакам (метрикам): уровень интеграции, автономность, интеллект, обучаемость, детализация [3.3].

В зависимости от уровня интеграции выделяют цифровые двойники компонента, устройства в целом, процесса, системы и совокупности систем. Классификация по другим указанным выше метрикам приведена в таблице 3.1.

**Таблица 3.1.** Метрики цифрового двойника [3.3]

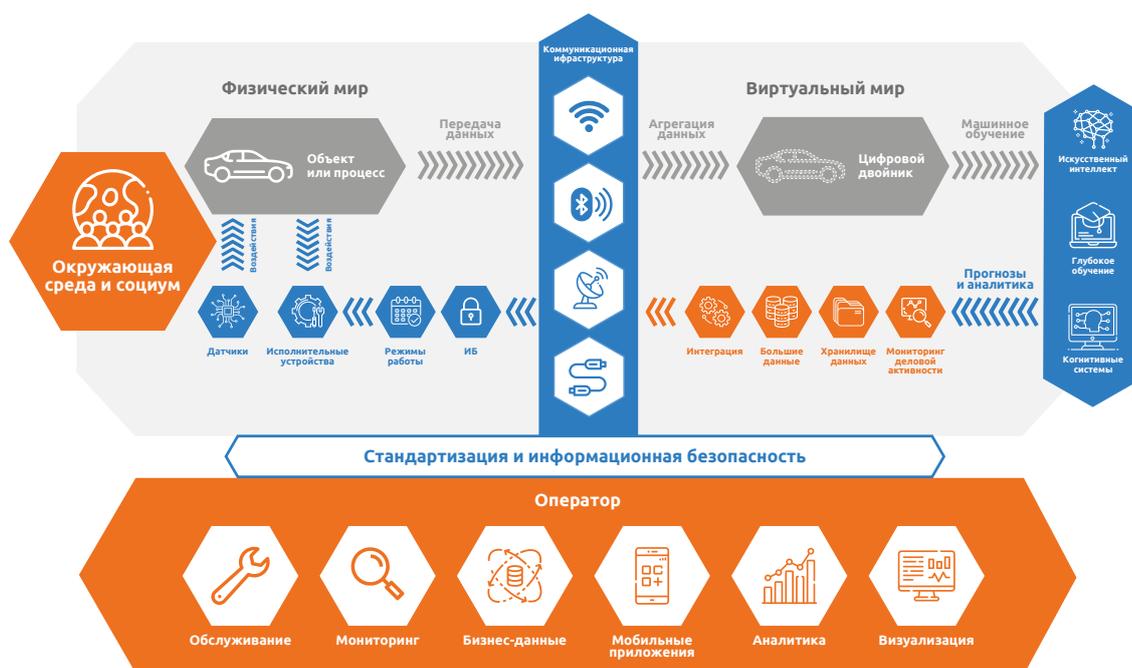
Метрика	Описание
<b>Автономность</b>	<p>Способность цифрового двойника действовать без участия человека. Основные уровни:</p> <p>I — оператор контролирует все аспекты цифрового двойника;</p> <p>II — цифровой двойник генерирует уведомления о состоянии системы и соответствующие рекомендации по действиям оператора;</p> <p>III — цифровой двойник частично осуществляет управляющие воздействия на реальный объект без участия оператора;</p> <p>IV — цифровой двойник выполняет все задачи без участия человека, кроме критических ситуаций;</p> <p>V — цифровой двойник безопасно выполняет все задачи при полном отсутствии вмешательства оператора</p>
<b>Интеллект</b>	<p>Способность цифрового двойника воспроизводить когнитивные процессы. Основные уровни:</p> <p>I — отсутствие интеллектуальных функций;</p> <p>II — реактивный интеллект, не используется ранее приобретенный опыт для корректировки текущих действий;</p> <p>III — используется обучение на исторических данных для улучшения реакции на изменения и принятия решений;</p> <p>IV — возможность взаимодействия с другими интеллектуальными системами</p>
<b>Обучаемость</b>	<p>Способность цифрового двойника обучаться на основе данных, не будучи явно запрограммированным на конкретные действия. Основные уровни:</p> <p>I — отсутствует реализация обучаемости;</p> <p>II — контролируемое обучение (на размеченных данных, способных обеспечить обратную связь);</p> <p>III — неконтролируемое обучение (на неразмеченных данных);</p> <p>IV — обучение с подкреплением</p>
<b>Детализация</b>	<p>Степень приближения модели к реальному объекту. Основные уровни:</p> <p>I — концептуальная модель;</p> <p>II — цифровой двойник может использоваться для получения результатов отдельных измерений низкой и средней точности;</p> <p>III — цифровой двойник может использоваться как источник результатов измерений средней и высокой точности;</p> <p>IV — цифровой двойник является источником результатов измерений высокой точности;</p> <p>V — точность результатов измерений с помощью цифрового двойника обеспечивает возможность его использования для принятия критических оперативных решений</p>

При создании цифрового двойника, как правило, проходят несколько стадий, связанных с постепенным усложнением системы (табл. 3.2). При этом возрастает важность обратной связи и прогнозирования. Далее реализуются возможности машинного обучения и увеличивается потенциал масштабирования. Наконец, реализуются возможности автономной работы и взаимодействие с иными интеллектуальными системами (например, для объединения цифровых двойников более низкого уровня) [3.3].

**Таблица 3.2.** Стадии развития цифрового двойника

Стадия	Описание
1	Цифровая модель, связанная с реальным объектом, но не обладающая интеллектом, обучением или автономностью; ограниченная функциональность. Пример: цифровой план здания
2	Цифровая модель с отдельными возможностями обратной связи. Пример: тепловая карта здания, созданная на основе данных от датчиков температуры
3	Цифровая модель, способная обеспечить предиктивное обслуживание и аналитику. Пример: информационная система здания, прогнозирующая необходимость ремонта или замены оборудования на основе данных о температуре в отдельных помещениях
4	Цифровая модель, способная эффективно обучаться на основе различных источников данных. Результаты обучения применяются для автономного принятия решений в определенной области. Пример: система энергоэффективности здания, использующая исторические данные и прогнозы температуры окружающей среды, облачности, силы и направления ветра и проч.
5	Цифровая модель с более широким спектром возможностей, способная автономно решать поставленные задачи на более высоком уровне, включая использование цифровых моделей низшего уровня. Пример: система энергоэффективности района или города, взаимодействующая с цифровыми двойниками отдельных зданий, электрических и тепловых сетей, систем водоснабжения и т.д.

**Архитектура цифрового двойника.** Общая концепция архитектуры цифрового двойника показана на рис. 3.2. Она включает три основные части: реальный объект (физический мир), цифровой объект (виртуальный мир), коммуникационные интерфейсы между ними, а также средства визуализации для пользователя [3.5]. Каждая часть может включать в себя различные компоненты, в зависимости от требований разработчика.



**Рис. 3.2.** Концептуальная архитектура цифрового двойника [3.5]

В общем случае в физический мир входят датчики и исполнительные устройства на реальном объекте, системы обеспечения безопасности (в том числе информационной). В виртуальный мир входят информационная модель объекта, средства машинного обучения, инфраструктура анализа больших данных. Коммуникации между частями цифрового двойника могут осуществляться с помощью беспроводных и проводных интерфейсов (Bluetooth, Wi-Fi, спутниковая связь и др.).

В работе [3.6] более детально рассмотрены подходы к разработке архитектуры цифрового двойника с точки зрения системной инженерии. Вначале формулируются общие требования к цифровому двойнику:

- ▶ должны использоваться актуальные физические параметры реального объекта;
- ▶ должен быть обеспечен непрерывный поток данных от датчиков на реальном объекте;
- ▶ должна быть создана динамическая компьютерная модель объекта;
- ▶ должна быть создана система обнаружения аномалий в данных, полученных от датчиков на реальном объекте;
- ▶ должна быть создана система для выявления причин расхождений параметров объекта, определенных на основе динамического компьютерного моделирования и анализа данных;
- ▶ должна быть реализована система визуализации и информирования пользователя;
- ▶ должна быть реализована система для моделирования сценариев переходных режимов или внесения изменений в реальный объект.

Таким образом, архитектура цифрового двойника состоит из следующих ключевых компонентов: динамической компьютерной модели, распределенной сенсорной сети объекта, системы обнаружения аномалий данных и системы выявления причин расхождений параметров объекта, определенных на основе динамической компьютерной модели и анализа данных.

**Динамическая компьютерная модель** представляет собой математическую модель объекта (процесса, системы), реализованную с помощью языка программирования. Модели могут включать геометрию, свойства материалов, термодинамические параметры и проч.

**Распределенная сенсорная сеть** обеспечивает считывание параметров системы в режиме реального времени, она формирует основу данных, которые будут использоваться в дальнейшем для анализа. При развертывании распределенной сенсорной сети для цифрового двойника необходимо предотвратить установку избыточного количества датчиков, проанализировав, какие данные уже поступают в системы КИПиА предприятия и как эти системы взаимодействуют между собой [3.7]. На этапе создания распределенной сенсорной сети также должен быть рассмотрен вопрос обеспечения информационной безопасности для минимизации уязвимостей и возможных рисков подвергнуться злонамеренным атакам и потерять информацию.

Используя алгоритмы машинного обучения для анализа данных, поступающих от распределенной сенсорной сети на реальном объекте, **система обнаружения аномалий** позволяет выявить несоответствие параметров объекта результатам моделирования с помощью динамической компьютерной модели.

**Выявление причин расхождений** осуществляется с помощью углубленного моделирования отдельных частей объекта. Создается база таких моделей, а результаты моделирования используются для самообучения цифрового двойника. В результате углубленного моделирования могут быть сделаны выводы о неисправности датчика, изменении параметров реального объекта, необходимости уточнения или повышения детализации динамической компьютерной модели.

**Технологические предпосылки создания цифровых двойников.** Активное внедрение цифровых двойников объектов в самых разных отраслях обусловлено несколькими технологическими изменениями, произошедшими в последние десятилетия. К ним относится экспоненциальный рост вычислительных мощностей, создание новых типов датчиков и беспроводных сенсорных сетей, а также развитие возможностей визуализации.

Технология цифрового двойника коренным образом зависит от возможностей обработки и скорости доступа к данным. Произошли глобальные изменения как в подходах к обработке и анализу данных, так и в методах и средствах их передачи, обеспечения доступа и проч. (см. раздел 2 «Большие данные в электроэнергетике»).

Другой технологической предпосылкой является развитие промышленного интернета вещей, а также теории и практики сенсорных сетей. Современные интеллектуальные датчики могут контролировать множество параметров, взаимодействовать между собой (см. раздел 4 «Интернет вещей»). Не менее важным является развитие систем машинного зрения и анализа изображений (см. раздел 6 «Машинное зрение»), а также трехмерного сканирования. Современные системы позволяют в реальном времени по изображениям идентифицировать неполадки, изменение геометрии, осуществлять контроль параметров (например, по данным тепловизионной съемки).

Третьей предпосылкой стало расширение возможностей визуализации. Сюда можно отнести современные системы трехмерного моделирования и проектирования, системы виртуальной и дополненной реальности.

**Применение цифровых двойников.** Цифровые двойники могут использоваться для воспроизведения физических и эксплуатационных характеристик объектов на всех этапах жизненного цикла [3.8]. Широкое использование цифровых двойников обещает повысить эффективность работы, оптимизировать ресурсы, улучшить управление активами, обеспечить экономию затрат, повысить производительность и безопасность [3.3]. В таблице 3.3 приведены основные направления использования цифровых двойников.

**Таблица 3.3.** Области использования цифровых двойников

Область применения	Описание
<b>Спрос и предложение</b>	Цифровой двойник может использоваться для отслеживания всех этапов цепочки поставки продукции и дальнейшей рекомендации перераспределения ресурсов в соответствии со спросом. Другим примером может служить цифровой двойник городской парковочной сети, используемый для выявления перегруженных или недостаточно используемых парковочных мест и дальнейшего перераспределения инфраструктуры или динамического изменения цен
<b>Операционная деятельность</b>	Цифровые двойники применяются для непрерывного мониторинга операций и выявления аномального поведения объектов и систем, позволяя оператором оперативно реагировать и сокращать время простоя. Также они могут применяться для предиктивного обслуживания оборудования, сокращая издержки эксплуатанта на ремонты и поддержание складских запасов
<b>Управление данными в реальном времени</b>	Аккумуляция исторических данных цифровым двойником (включая информацию о ремонтах, инвентаризации и проч.) позволяет владельцам объектов повышать эффективность их эксплуатации. Сами по себе аккумулярованные цифровым двойником данные имеют стоимость и могут быть реализованы сторонними потребителями. Например, данные о температуре, влажности, скорости ветра, получаемые датчиками на ветровых установках, могут использоваться метеослужбами для повышения точности прогнозов
<b>Цели моделирования</b>	Инженеры могут использовать цифровые двойники для быстрого и недорогого создания прототипов новых идей, особенно с точки зрения пользовательского опыта. Эти двойники могут учитывать все: от шума до погоды, взаимодействия людей, освещения. Цифровые двойники транспортных узлов, например, улучшают впечатления пассажиров, определяя пиковое время и оптимизируя человеческие потоки, что в конечном итоге приводит к уменьшению заторов. Моделируемые системы могут включать роторы, турбины, двигатели, поезда, самолеты и автономные транспортные средства

В отчете [3.9] прогнозируется, что к 2026 году объем рынка цифровых двойников в электроэнергетике вырастет до 1,3 млрд долл. США. Наибольшую долю рынка будет занимать сегмент цифровых двойников электросетей и энергосистем в целом. Такие двойники обеспечивают наблюдаемость сети, позволяют осуществлять мониторинг работы энергетических объектов. Доминирующим регионом на рынке цифровых двойников является Северная Америка. Это обусловлено увеличением инвестиций в развертывание передовых цифровых технологий для модернизации устаревшей инфраструктуры, а также переориентацией на производство электроэнергии из ВИЭ. Не менее важным фактором является наблюдаемый рост исследований и разработок в области облачных технологий, аналитики больших данных, интернета вещей, а также стабильный спрос на эффективные и экономичные технологии для повышения производительности активов и оптимизации бизнес-операций.

Далее в настоящем разделе рассмотрен международный опыт применения цифровых двойников в электроэнергетике, а также сделаны общие выводы относительно развития данной технологии и приведены рекомендации по преодолению барьеров ее внедрения.



### 3.1. Применение цифровых двойников в электроэнергетике

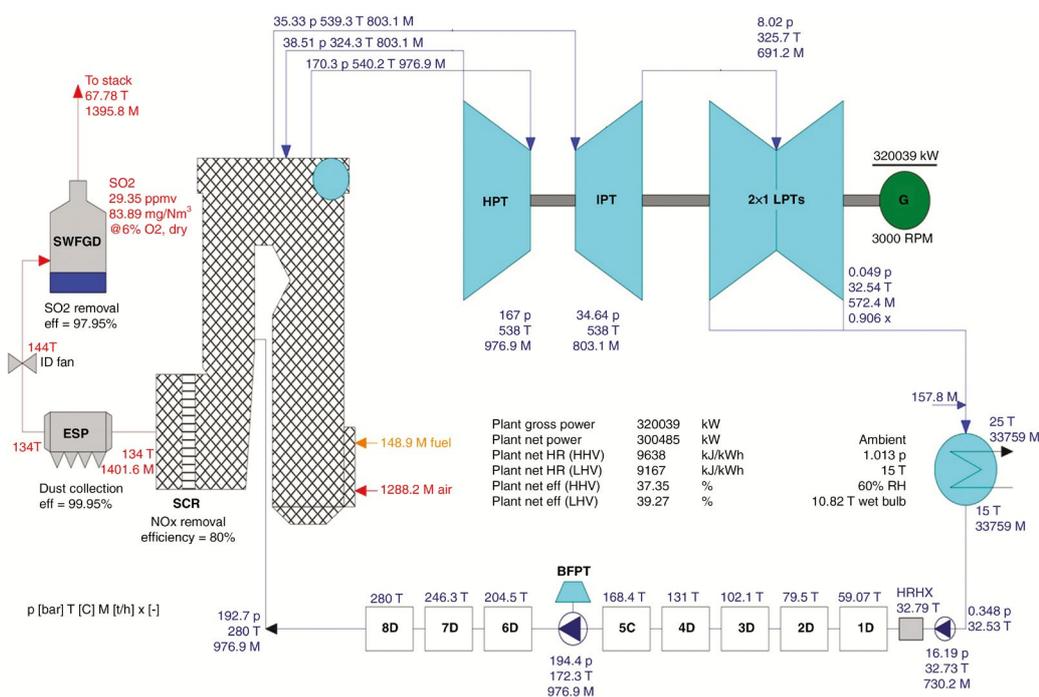
Анализ международного опыта показывает, что цифровые двойники находят применение на всех этапах цепочки создания стоимости в электроэнергетике.

Цифровые двойники внедряются на новых и существующих электростанциях для предотвращения выхода параметров и характеристик оборудования энергоблоков за проектные пределы, в том числе при изменении нагрузки, характеристик топлива, погодных условий и проч. Также цифровые двойники позволяют повысить надежность работы оборудования и оптимизировать ремонты и техническое обслуживание за счет применения предиктивной аналитики. Наконец, цифровые двойники на электростанциях являются источником данных для рекомендательных систем, позволяя подбирать наиболее эффективные режимы в реальном времени.

В идеале цифровой двойник электростанции должен [3.6]:

- ▶ учитывать процессы старения реального объекта, используя совокупность физического моделирования и анализа эксплуатационных данных, в том числе данных об отключениях, нагрузке, состоянии окружающей среды на площадке;
- ▶ иметь способность выполнять динамические оценки и настройку модели (например, справляться с обрастанием в трубопроводах, теплообменниках, отказом входного направляющего аппарата, неисправностью термомпар, устройств измерения давления, расхода и мощности).

В работе [3.10] приводится пример цифрового двойника для оптимизации производительности электростанции на угольном тепловом энергоблоке мощностью 320 МВт компании China Energy. Цифровой двойник использовался для сравнения фактических характеристик агрегатов и расчетных характеристик, указанных производителем, анализа влияния условий эксплуатации на тепловые характеристики станции, а также влияния вариации цен на топливо, электроэнергию и тепло на экономику электростанции. В предложенной системе использовалось ПО Thermoflow, в котором реализованы модели для оборудования контроля выбросов, турбинного и котельного островов (рис. 3.3). Выявлены проблемы, обусловленные частичной нагрузкой, приводящие к снижению срока службы и увеличению затрат на ремонты и техническое обслуживание. В результате оптимизации работы оборудования показано снижение потребления топлива на 3,5 г/кВт·ч, что выливается в существенную годовую экономию. Также оптимизация режимов управления позволила летом перераспределить дополнительно до 6% тепла топлива на выработку электроэнергии от стандартных параметров когенерационной установки.



**Рис. 3.3.**  
Цифровой двойник агрегатов ТЭС [3.10]

Гибридный метод моделирования оборудования предложен в работе [3.11]. На основе эксплуатационных данных создавались цифровые двойники регулирующих ступеней паровых турбин на докритические и сверхкритические параметры пара мощностью 330 и 1000 МВт соответственно. Результаты показывают средние относительные ошибки в пределах 1% между расчетными и измеренными значениями давления и температуры на выходе, что говорит о возможности разработки цифровых двойников в масштабах всей установки. Аналогично технологии машинного обучения использованы компанией Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS) для создания цифрового двойника угольного котла. Цифровой двойник обеспечивает обратную связь с системой управления реального котла для подбора оптимальных параметров. Энергоблок электростанции Taiwan Power Linkou (800 МВт), оборудованный такой системой, показал ежегодное снижение затрат на 750 тыс. долл. США [3.6].

Цифровые двойники компании General Electric (GE) интегрированы на многих электростанциях по всему миру. Основой цифровых двойников GE является промышленная платформа Predix.

Цифровой двойник GE учитывает тепловые, механические, электрические, химические, гидродинамические и другие параметры реального объекта. Цифровой двойник опирается на данные о производстве, результаты инспекций и обходов, сведения о ремонтах, эксплуатационных параметрах в режиме реального времени.

В состав цифрового двойника входят следующие вычислительные модели (рис. 3.4):

- ▶ **Lifing** — для оценки старения оборудования в зависимости от условий эксплуатации и внешних воздействий; предназначена для оптимизации технического обслуживания и ремонтов оборудования;
- ▶ **Anomaly** — для обнаружения неисправностей; предназначена для сокращения незапланированных простоев;
- ▶ **Thermal** — для определения тепловой эффективности и мощности установки, прогнозирования выбросов;
- ▶ **Transient** — для моделирования работы установки в изменяющихся условиях (параметры окружающей среды, изменения регулирования и др.).



Рис. 3.4. Компоненты цифрового двойника General Electric [3.12]

Для практического применения результатов цифрового моделирования разработаны различные приложения, оптимизирующие использование оборудования, параметры диспетчеризации, пуски и остановки, техническое обслуживание и ремонты. Например, приложение Asset Life Optimizer использует модели Lifting и Anomaly для точного прогнозирования времени до следующего технического обслуживания агрегата. Особенностью является то, что цифровой двойник позволяет учитывать зарегистрированные отклонения в режимах работы оборудования для их учета при планировании стратегии отключений. Применение данного приложения позволило минимизировать незапланированные простои газовых, паровых турбин и генераторов на электростанциях, оборудованных цифровым двойником GE.

Цифровые двойники играют большую роль в задачах оптимального проектирования и эксплуатации больших генерирующих систем на ВИЭ.

Достаточно часто ветровые турбины эксплуатируются в сложных условиях (в море, в гористой местности) под динамической нагрузкой, поэтому их обслуживание должно быть минимальным. В исследовании, проведенном компанией GE, было указано, что замена подшипника ветровой турбины стоимостью 5000 долл. США может повлечь за собой дополнительные расходы в размере 250 тыс. долл. США в виде замены редуктора, перемотки генератора, затрат на сервисную бригаду, широкого использования крана и подъемного оборудования, не говоря уже о снижении выработки электроэнергии из-за простоя [3.13].

Цифровые двойники позволяют осуществлять мониторинг оборудования с учетом старения, параметров окружающей среды и проч. для оптимального планирования обслуживания. Инженеры могут анализировать и дистанционно диагностировать ветряную турбину, направляя сервисную бригаду только в случае необходимости для физического ремонта идентифицированных компонентов. Более того, интеграция в системы цифрового двойника дополненной или виртуальной реальности ускоряет принятие решений на месте и приводит к экономии ресурсов. Компания GE также представила концепцию, когда цифровой двойник турбины создается уже на этапах проектирования и производства, а дальше поддерживается на всем протяжении жизненного цикла. Такой подход позволяет с высокой точностью оптимизировать производительность ветроустановки, учитывая детали и особенности конкретного экземпляра [3.14].

Отказы механических компонентов ветряной турбины можно разделить на пластическую деформацию, разрушение и загрязнение смазки, трещины и изломы, износ, электродуговую эрозию и разрушение крепления. Эти отказы могут быть обусловлены разрушением материала и предусталостным состоянием. Если отказавший механический компонент не будет вовремя идентифицирован и отремонтирован, это может привести к отказу других компонентов или всей системы. Цифровой двойник позволяет осуществлять наблюдение за изменениями рабочих параметров физической системы. Мониторинг в режиме реального времени может дать представление о стадии развития неисправности, а также быть сопряжен с системой SCADA для подачи сигнала тревоги [3.13].

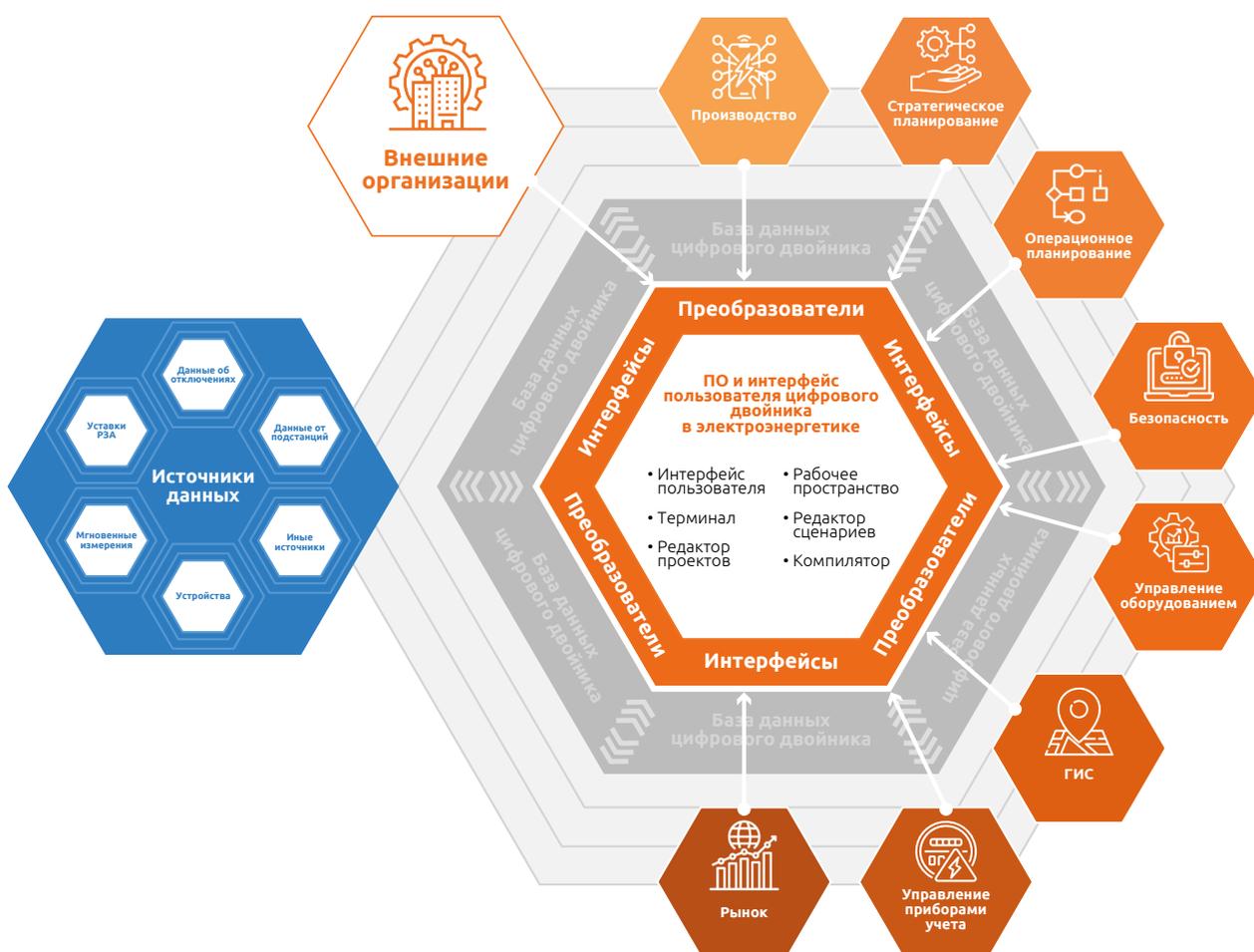
Несмотря на выгоды от использования цифровых двойников на электростанциях, некоторые компоненты еще требуют дальнейших исследований и доработок:

- ▶ необходима оптимизация проектирования сенсорных сетей на оборудовании;
- ▶ необходима разработка и внедрение интегрированных динамических симуляций и технологий дополненной и виртуальной реальности;
- ▶ необходимо стимулирование развития цифровых двойников для сложных распределенных систем, включающих ВИЭ, накопители энергии и проч.

Для эффективной работы энергосистемы решающее значение имеет надежная модель прогнозирования нагрузки, охватывающая различные временные горизонты. В работе [3.15] рассмотрены различные цифровые двойники энергосистемы, предназначенные для прогнозирования спроса. Для прогнозирования нагрузки используются методы машинного обучения, включающие искусственные и глубокие нейронные сети, кластеризацию и др. Особенность цифровых двойников энергосистем в том, что они, в отличие от традиционных

подходов, позволяют учесть фактические эксплуатационные параметры электростанций, инфраструктуры сети и проч. на основе поступающих данных. Результаты моделирования используются для планирования нагрузки, цен на электроэнергию и профиля генерации на сутки вперед.

Цифровой двойник для электрической сети, структурная схема которого показана на рис. 3.5, разработан компанией Siemens Electrical [3.16]. Siemens Electrical Digital Twin состоит из трех частей: основного модуля, адаптеров данных, а также пользовательского интерфейса. Основной модуль включает центральную многопользовательскую базу данных, инструменты управления данными, менеджер проектов, системы синхронизации, валидации и обмена данными.



**Рис. 3.5.** Структурная схема Siemens Electrical Digital Twin [3.16]

Адаптеры позволяют импортировать и экспортировать данные от оборудования сети, причем используются как стандарты CIM, так и оригинальные разработки производителей. Пользовательский интерфейс обеспечивает визуализацию данных, обслуживание и администрирование пользователей.

Цифровой двойник реализует следующие функции:

- ▶ автоматизированную синхронизацию моделей, применяемых при планировании и операционной деятельности;
- ▶ синхронизированный обмен данными между системами и устройствами;
- ▶ автоматизированный расчет установок РЗА и ПА;
- ▶ интеграцию ресурсов распределенной энергетики;

- ▶ планирование и отслеживание выполнения задач, в том числе прогнозов выработки и нагрузки, графика отключений и т.д.;
- ▶ синхронизацию с геоинформационными системами, интеллектуальными системами учета электроэнергии и проч.

Цифровой двойник Siemens применяется для моделирования электрической сети Fingrid (Финляндия). Fingrid управляет высоковольтными электрическими сетями в Финляндии протяженностью более 14 тыс. километров, а также более 100 подстанциями. В 2016 году в партнерстве с компанией Siemens внедрен цифровой двойник энергосистемы — ELVIS, который поддерживает управление активами и эксплуатацией, а также планирование инвестиций в инфраструктуру. Средства, которые первоначально тратились на ручное поддержание модели, теперь направляются на инвестиции в инфраструктуру. Процесс сбора и проверки данных сейчас занимает не более 20% времени, а 80% остается для решения задач анализа и принятия решений.

С аналогичными целями цифровой двойник Siemens применяется компанией American Electric Power (AEP) в США [3.16]. Подразделение AEP Transmission управляет крупнейшей в США электрической сетью, насчитывающей более 40 тыс. миль линий, обслуживающих более 5,4 млн потребителей в 11 штатах. Компания использовала различные модели для операционной деятельности, планирования развития сети, предусматривавшие подготовку и ввод данных из многочисленных внутренних и внешних систем. За последние два десятилетия размеры и сложность моделей значительно возросли, а координация моделей стала все более сложной задачей. Новое решение построено на основе стандарта CIM, который позволяет AEP Transmission эффективно поддерживать, анализировать и обмениваться сетевыми данными в различных областях, а также составлять краткосрочные и долгосрочные планы. В результате значительно сокращены затраты, связанные с подготовкой данных и согласованием моделей, создана инфраструктура управления данными, упростилось внедрение передовых технологий (предиктивная аналитика состояния активов, синхронизированные векторные измерения и проч.).

Цифровые двойники активно применяются при решении задач энергосбережения и энергоэффективности. Например, в работе [3.6] приводится информация о цифровом двойнике, предназначенном для проектирования и эксплуатации фотоэлектрических установок на крыше зданий. Цифровой двойник оценивает характеристики фотоэлектрического блока в реальном времени, а также выполняет сравнение реальных и модельных данных. Такое решение позволяет идентифицировать более десяти различных неисправностей, причем в более короткое время и с высокой избирательностью.

## 3.2. Выводы

Цифровые двойники могут существенно преобразовать электроэнергетический сектор. Если вначале распространенным представлением было то, что цифровой двойник — это ультрареалистичная трехмерная модель физического объекта, то теперь он скорее понимается как логическая модель, учитывающая особенности множества процессов [3.17]. В этом смысле он хорошо укладывается в новые бизнес-модели при соблюдении некоторых рекомендаций:

- ▶ в проектах по внедрению цифрового двойника в компании необходимо предусматривать сквозной жизненный цикл, включающий проектирование и строительство (CAPEX), а также эксплуатацию и обслуживание (OPEX);
- ▶ у всех участников проекта должно быть сформировано единое целостное видение роли и ценности внедряемого цифрового двойника для бизнеса;
- ▶ цифровые двойники быстро развиваются в отдельных функциональных подразделениях, однако новую ценность они могут приобрести только при интеграции процессов и данных в рамках компании в целом, поэтому обязательно необходим взгляд сверху вниз;

- ▶ для извлечения максимальной ценности от цифровых двойников требуется создание и поддержка информационной архитектуры, которая обеспечивает доступ к данным на протяжении всего жизненного цикла;
- ▶ экспоненциальный рост объемов данных приводит к симметричному увеличению времени по их обработке: при внедрении цифровых двойников необходимо создать правила и систему обращения с данными, поддержки пользователей при проблемах;
- ▶ внедрение цифровых двойников должно приводить к поиску новых способов сотрудничества между работниками и взаимодействия с информационными моделями в рамках компании.

В конечном итоге цифровые двойники ускоряют цифровую трансформацию путем создания ценности с помощью данных, выявления неэффективности бизнеса, генерации инновационных идей по изменению бизнес-моделей за счет интеллектуальных активов.

В работе [3.5] выделены основные барьеры внедрения цифровых двойников. К ним относятся:

- ▶ барьеры, связанные с данными: доверие, конфиденциальность, кибербезопасность, конвергенция и управление, получение и крупномасштабный анализ; существует проблема учета трудно моделируемых процессов, например социальных конфликтов, экологической устойчивости;
- ▶ отсутствие стандартов, рамок и правил для реализации цифровых двойников ограничивает их функциональную совместимость и взаимодействие между собой;
- ▶ высокая стоимость реализации, обусловленная необходимостью большого количества датчиков и вычислительных ресурсов;
- ▶ риски, связанные с ответственностью при использовании технологий ИИ;
- ▶ барьеры, связанные с ограничениями пропускной способности и надежностью сетей связи; например, для умных городов требуется подключение большого количества датчиков с помощью резервируемого широкополосного доступа.

## Список использованных источников

3. 1. International Energy Outlook 2021 // U.S. Energy Information Administration. 2021. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/electricity/sub-topic-01.php>.
3. 2. Greenhouse Gas Emissions from Energy: Overview. Emissions by sector // International Energy Agency. 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/greenhouse-gas-emissions-from-energy-overview/emissions-by-sector>.
3. 3. Digital Twin. Towards a Meaningful Framework // ARUP. 2019. URL: <https://research.arup.com/publications/digital-twin-towards-a-meaningful-framework/>.
3. 4. Eleftheriou O., Anagnostopoulos C. Digital twins: A brief overview of applications, challenges and enabling technologies in the last decade // Digital Twin. 2022. V. 2. N. 2. DOI: <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17581.1>.
3. 5. Botín-Sanabria D. et al. Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review // Remote Sensing. 2022. V. 14. P. 1335-1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14061335>.
3. 6. Sleiti A., Kapat J., Vesely L. Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems // Energy Reports. 2022. N. 8. P. 3704–3726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2022.02.305>.
3. 7. The Digital Twin in the Nuclear Industry. An Introduction to Its Uses and Functionalities: Opportunities and Challenges // Tecnatom. 2021. URL: <https://nordicnuclearforum.fi/wp-content/uploads/2021/05/TECNATOM-DIGITAL-TWIN-1.pdf>.

3. 8. Rys R. Digital Twin Technologies in the Electric Utilities Industry // Arc Advisory Group. 2021. URL: <https://www.arcweb.com/industry-best-practices/digital-twin-technologies-electric-utilities-industry>.
3. 9. Electrical Digital Twin Market by Twin Type (Gas & Steam Power Plant, Wind Farm, Digital Grid, Others), Usage Type (Product, Process, System), Deployment Type (Cloud, On-Premises), End User, Application, and Geography — Global Forecast to 2026 // MarketsandMarkets. 2021. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electrical-digital-twin-market-192874390.html>.
3. 10. Xu B. et al. A case study of digital-twin-modelling analysis on power-plant-performance optimizations // Clean Energy. 2019. N. 3. P. 227–234. DOI: <https://doi.org/10.1093/ce/zkz025>.
3. 11. Yu J. et al. Hybrid modelling and digital twin development of a steam turbine control stage for online performance monitoring // Renew. Sustain. Energy Rev. 2020. N. 133. P. 110077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020>.
3. 12. General Electric Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant // General Electric. 2016. URL: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant-.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant-.pdf).
3. 13. Olatunji O. Overview of Digital Twin Technology in Wind Turbine Fault Diagnosis and Condition Monitoring // Proc. of 2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMIMT52186.2021.9476186>.
3. 14. Singh P. Digital Twins Fuel the Transformation of Utility Asset Management // Electronic Design. 2020. URL: <https://www.electronicdesign.com/industrial-automation/article/21128503/global-marketing-insights-digital-twins-fuel-the-transformation-of-utility-asset-management>.
3. 15. Onile A.E. et al. Uses of the digital twins concept for energy services, intelligent recommendation systems, and demand side management: A review // Energy Reports. 2021. V. 7. P. 997–1015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.090>.
3. 16. Siemens Electrical Digital Twin. A single source of truth to unlock the potential within a modern utility's data landscape. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:66c9013092b493265e091c154a33f9dd38d36c20/electricaldigitaltwin-brochure-final-intl-version-singlepages-no.pdf>.
3. 17. What CEOs need to know about Digital Twins // AVEVA Group Whitepaper. 2019. URL: <https://engage.aveva.com/lp-what-ceos-need-to-know-about-digital-twin.html>.



## 4. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

С быстрым развитием информационно-коммуникационных технологий текущая форма мировой сети Интернет радикально эволюционирует в сеть взаимосвязанных объектов, которая не только собирает информацию из окружающей среды и взаимодействует с физическим миром, но и предоставляет услуги по передаче информации и аналитике. Последние достижения в области вычислительных и коммуникационных технологий, таких как 5G, а также повсеместное присутствие инфраструктуры сотовой связи и ее доступность позволили интегрировать информационно-коммуникационные технологии практически везде, что привело к возникновению новой парадигмы, известной как **интернет вещей** (Internet of Things, IoT). IoT можно описать как интеллектуальную сеть, которая соединяет различные устройства и системы, расположенные в удаленных местах, с помощью облачных сервисов и может быть оснащена миллионами или миллиардами устройств [4.1]. К 2021 году количество устройств, подключенных к IoT, превысило 12 млрд подключений по всему миру. С началом коммерческого применения сетей 5G и широкого распространения энергоэффективных сетей большого радиуса действия количество подключенных устройств достигнет порядка 27 млрд по всему миру к 2025 году, что демонстрирует огромный потенциал и важность технологии IoT [4.2].

Единого общепризнанного определения понятия «интернет вещей» не существует, тем не менее многие зарубежные литературные источники ссылаются на определение Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) [4.3]: «Интернет вещей — это сеть, соединяющая уникальные идентифицируемые «вещи», для которых возможно осуществление функций управления и считывания данных, с интернетом. Благодаря использованию уникальной идентификации и умных датчиков можно собирать информацию о «вещах» и изменять их состояние дистанционно, в любое время и любым способом».

В данном определении под «вещью» понимается физический объект, представляющий интерес и являющийся значимым с точки зрения пользователя. Понятие «уникально идентифицируемая» относится к присвоению «вещи» уникального адреса в интернете, чтобы каждая конкретная «вещь» могла отправлять данные другим объектам в интернете и получать данные от них. Таким образом, «вещь» является узлом в интернете с адресом интернет-протокола (IP) и использует его для связи. К «вещи» подключаются датчики и исполнительные механизмы, которые выполняют функции считывания, передачи данных и управления, что обеспечивает «вещь» интеллектом [4.3]. Примерами физических устройств являются бытовые приборы и промышленное оборудование. Используя датчики и коммуникационные сети, «вещи» могут предоставлять ценные данные, что расширяет перечень их возможного применения [4.4].

Цель IoT — соединить физический и цифровой миры посредством использования передовых информационно-коммуникационных технологий и реализовать их взаимосвязь. IoT предполагает наличие облачной платформы, которая позволяет датчикам и устройствам беспрепятственно соединяться в единую цифровую среду, обеспечивая тем самым умные услуги. Умные услуги охватывают как коммуникационную инфраструктуру, так и другие направления, включая системы мониторинга, промышленную автоматизацию и даже умные города [4.5].

Сфера применения IoT не ограничивается определенным сектором — данная технология находит применение в таких областях, как здравоохранение, умные дома, промышленность, транспорт. Энергетическая отрасль также не является исключением — IoT приносит изменения в этапы от генерации до сбыта электроэнергии. Например, традиционная система подразумевает только одностороннюю связь, то есть электроэнергия, произведенная на электростанции, передается потребителю, а потребитель должен заплатить за потребленную энергию. Интеллектуальная сеть IoT позволяет осуществлять двустороннюю связь — потребитель может передать избыток произведенной энергии обратно в сеть и получить прибыль.

Объем глобального рынка промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) (рис. 4.1) оценивался в 266,5 млрд долл. США в 2021 году и, по прогнозам Research and Markets, будет расти с совокупным среднегодовым темпом роста (Compound annual growth rate, CAGR) на уровне 23,7% и достигнет 956 млрд долл. США к 2027 году [4.6].

## ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ



Рис. 4.1. Объем мирового рынка промышленного интернета вещей [4.6]

Однако высокий потенциал технологии сдерживается высоким потреблением энергии масштабных сетей IoT, ограниченной емкостью аккумуляторов датчиков и медленным прогрессом развития аккумуляторных технологий. Высокий уровень энергопотребления устройств IoT может привести к прерыванию связи, потере информации и сокращению срока службы сети. Более того, после развертывания батареи внутри IoT устройства не могут быть заменены быстро. Таким образом, одна из ключевых задач в рамках развития IoT — это исследование технологий для повышения энергоэффективности IoT, то есть «зеленых» технологий IoT. В рамках усилий успешного внедрения «зеленого» IoT (Green IoT, G-IoT) [4.7] многие исследовательские работы посвящены решению проблем энергопотребления и энергоэффективности M2M-коммуникаций (machine-to-machine, M2M). Несмотря на недавний прогресс, вопрос, как реализовать энергоэффективные коммуникации для IoT, особенно для масштабного IIoT со строгими требованиями к задержке и надежности, остается открытым [4.8].

### 4.1. Структура интернета вещей

При проектировании структуры IoT выбор таких компонентов системы, как считывающие и передающие данные устройства, протокол связи, хранение данных и вычисления, должен соответствовать предполагаемому целевому применению системы. Например, платформа IoT для управления отоплением, охлаждением и кондиционированием воздуха в здании требует использования соответствующих датчиков окружающей среды [4.1]. На рис. 4.2 показаны основные компоненты IoT-платформы [4.9]. IoT-устройства могут быть представлены датчиками, исполнительными механизмами, шлюзами или любым другим аппаратным обеспечением, которое участвует в цикле сбора, передачи и обработки данных. Например, шлюз IoT позволяет маршрутизировать данные в IoT-системе и обеспечивать двустороннюю связь по принципу устройство—шлюз и шлюз—облако.



**Рис. 4.2.** Составляющие платформы интернета вещей [4.1]

Протоколы связи позволяют различным устройствам обмениваться данными с контроллерами или устройствами для принятия решений. IoT-платформы предполагают высокую гибкость при выборе типа коммуникационных технологий (каждая из которых имеет свои особенности) в соответствии с потребностями системы. Примерами таких технологий являются Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee [4.10] и сотовые технологии, такие как сети LTE-4G и 5G [4.11].

Хранилище данных позволяет хранить и управлять большими объемами данных, полученных от датчиков. Собранные данные, используемые в аналитических целях, являются пятым компонентом платформ IoT [4.12].

#### 4.1.1. Датчики

Датчики используются для сбора и передачи данных в режиме реального времени. Существуют различные типы датчиков, разработанные для конкретных целей применения: сельского хозяйства, мониторинга окружающей среды, системы здравоохранения, общественной безопасности и т.д. [4.1]. В энергетическом секторе датчики используются для снижения затрат на обслуживание инфраструктуры и непосредственно саму электроэнергию. Датчики позволяют создать интеллектуальную систему управления энергетической системой, обеспечивая оптимизацию энергопотребления в реальном времени, а также способствуют применению новых подходов к управлению энергетической нагрузкой.

Далее рассмотрены некоторые наиболее распространенные типы датчиков, применяемых в энергетическом секторе [4.13]:

- ▶ **температурные датчики** — используются для обнаружения колебаний при нагревании и охлаждении различных систем. В жилых домах датчиками температуры определяется оптимальное время работы систем вентиляции и отопления исходя из тарифа, текущей температуры помещения и температуры окружающей среды;
- ▶ **датчики влажности** — обычно используются в производстве ветряной энергии. Датчики данного типа позволяют обеспечить непрерывный мониторинг влажности ветропарка. Это дает возможность операторам принимать своевременные меры в связи с изменениями или отклонениями в их работе, что особенно важно для турбин, расположенных в море;

- ▶ **датчики света** — применяются для автоматического управления уровнями освещения в помещениях и на улице в ответ на изменения в окружающем освещении, что позволяет снизить энергопотребление;
- ▶ **пассивные инфракрасные датчики**, также известные как **датчики движения для управления освещением в помещении**, — уменьшают уровень энергопотребления;
- ▶ **датчик приближения** — позволяет определить наличие объекта перед собой и расстояние до него без прямого контакта. Примером применения является производство ветряной энергии — датчики приближения обеспечивают надежность при определении положения лопастей, ротора и контроля скорости вращения в ветряных турбинах [4.14].

#### 4.1.2. Коммуникационные технологии

Беспроводные системы осуществляют сквозную передачу данных между компонентами IoT со шлюзами IoT. Они разрабатываются на основе различных стандартов беспроводной связи, и выбор в пользу каждого из них зависит от требований к зоне покрытия, пропускной способности и энергопотреблению. Использование систем IoT на удаленных энергетических объектах требует подходящей технологии связи, которая может гарантировать непрерывную связь и поддерживать передачу данных в реальном времени энергоэффективным способом.

Беспроводные технологии малого радиуса действия (Wireless Fidelity, Wi-Fi) для IoT-приложений находят широкое применение, например используются для учета электроэнергии (умные счетчики) и управления энергопотреблением в зданиях [4.15]. Однако из-за высокого уровня энергопотребления Wi-Fi и относительно небольшого радиуса действия данная технология — не лучшее решение для крупных IoT-систем. Альтернативным решением являются энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (Low Power Wide Area Network, LPWAN), такие как стандарт сотовой связи для устройств телеметрии с низкими объемами обмена данными IoT (Narrow Band Internet of Things, NB-IoT), ZigBee, Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth low energy, BLE), а также относительно новые технологии LPWAN, такие как LoRa, Sigfox и LTE-M, работающие в нелицензируемом диапазоне частот, что дает возможность операторам сотовых сетей разгружать часть своего трафика данных [4.16]. Технологии LPWAN позволяют создать надежную, доступную, менее энергозатратную систему с большой зоной покрытия для интеллектуальных решений по дистанционному управлению энергоресурсами, поскольку в среднем одному датчику необходима гораздо меньшая по сравнению с используемыми носимыми устройствами (смартфоны, умные часы и др.) пропускная способность, в отдельных случаях составляющая всего несколько байт информации в секунду [4.16]. Сравнение наиболее распространенных коммуникационных технологий, используемых в IoT приведено в таблице 4.1.

**Таблица 4.1.** Сравнение технологий беспроводной связи для интернета вещей [4.1, 4.17]

Технология	Радиус действия	Скорость передачи данных	Уровень энергопотребления	Уровень информационной безопасности	Стоимость внедрения
<b>LoRA</b>	15 км	50 кбит/с	Очень низкий	Высокий	Низкая
<b>NB-IoT</b>	50 км	127 кбит/с	Умеренный	Высокий	Низкая
<b>LTE-M</b>	200 км	4 Мбит/с	Низкий	Высокий	Умеренная
<b>Sigfox</b>	50 км	0,2 кбит/с	Очень низкий	Высокий	Умеренная
<b>Weightless</b>	10 км	100 кбит/с	Низкий	Высокий	Низкая
<b>Bluetooth low energy</b>	50 м	2 Мбит/с	Низкий	Высокий	Низкая
<b>Zigbee</b>	100 м	250 кбит/с	Очень низкий	Высокий	Низкая

### 4.1.3. Хранение и обработка данных интернета вещей

Анализ данных, генерируемых IoT, позволяет получить цельное понимание ситуации, точнее и быстрее реагировать на изменения в работе системы и помогает принимать правильные решения по эффективной эксплуатации системы. Однако обработка данных IoT является сложной задачей, поскольку генерируемые IoT данные, также известные как большие данные (big data), представляют огромный объем структурированных и неструктурированных данных. Обработка больших данных выходит за рамки возможностей традиционных методов, и необходимы передовые вычислительные и аналитические методы [4.1].

Облачные вычисления — это подход к обработке данных, который предполагает передачу, обмен, хранение и обработку через интернет и позволяет анализировать данные, поступающие от устройств IoT, в том числе с помощью технологии ИИ [4.18]. Облачные вычисления состоят как из прикладных сервисов, доступ к которым осуществляется через интернет, так и из аппаратного обеспечения, расположенного в центрах обработки данных.

Основными преимуществами использования облачных систем являются [4.19]:

- ▶ значительное сокращение затрат для заказчика за счет отсутствия необходимости закупать программное и аппаратное обеспечение;
- ▶ высокий уровень вычислительной мощности и большие объемы хранилища данных;
- ▶ наличие многоядерной архитектуры, что облегчает менеджмент данных;
- ▶ высокий уровень защищенности хранимой информации.

## 4.2. Умные города

Высокие темпы урбанизации и перенаселение в мегаполисах приводят к таким проблемам, как загрязнение окружающей среды и доступ к электроэнергии [4.20]. В связи с этим одной из главных задач является обеспечение городов чистыми, доступными и надежными источниками энергии. Последние достижения в области цифровых технологий послужили движущей силой для применения интеллектуальных решений на основе IoT для решения существующих проблем в контексте умного города [4.21]. Умные заводы (smart factories), умные дома (smart homes) и умные электростанции (smart power plants) в городе могут быть объединены с помощью технологии IoT (рис. 4.3), позволяющей собирать данные о состоянии энергосистемы в режиме реального времени, чтобы при необходимости сбалансировать всю систему при минимальных затратах и без рисков перегрузок или отключения электроэнергии.





**Рис. 4.3.** Визуализация взаимосвязи объектов умного города [4.1]

Экосистема умного города включает четыре различных этапа: сбор данных в режиме реального времени, анализ данных для получения представления о работе инфраструктуры, доведение результатов анализа до лиц, принимающих решения, и принятие мер по улучшению работы города. Тенденция урбанизации быстро растет, и, по различным оценкам, к 2050 году она увеличится до 66%, что означает увеличение численности населения городов более чем на 2,5 млрд человек в ближайшие два десятилетия [4.22]. Это приведет к негативному влиянию на климат и окружающую среду, а также высоким затратам энергетических ресурсов. Таким образом, управление ресурсами и энергоэффективность — все это аспекты оптимизации энергопотребления, одной из ключевых задач, стоящих перед умными городами.

Для функционирования умного города необходимы данные о состоянии инфраструктуры в режиме реального времени. В связи с этим установка IoT-устройств имеет решающее значение для эффективных систем управления окружающей средой, поскольку эти устройства благодаря технологии ИИ обладают способностью к самообучению. IoT-устройства призваны упростить и сделать более эффективной рутинную работу, а также уменьшить болевые точки, связанные с общественной безопасностью, транспортной перегруженностью и экологическими проблемами. Умные счетчики, умные сети, интеллектуальные мониторы качества воздуха и интеллектуальные системы утилизации отходов — вот лишь несколько распространенных применений устройств IoT в умном городе.

### 4.3. Умные сети

Умные сети (smart grids) — это сети, в которых применяются наиболее безопасные и надежные информационно-коммуникационные технологии для их управления, обслуживания и детального анализа структуры спроса путем сбора данных через IoT-платформу. Благодаря множеству умных счетчиков в умной сети реализуется многонаправленный поток информации для оптимального цифрового управления энергосистемой, эффективного распределения энергии, применения динамических тарифов на электроэнергию и заблаговременного предупреждения операторов о риске возникновения неисправностей [4.23].

IoT может применяться также в микросетях и распределенных энергетических системах, особенно когда спрос на электроэнергию остается постоянным, например для центров обработки данных. В таких системах все активы, подключенные к сети, могут взаимодействовать друг с другом, в том числе обмениваться данными о потребности в электроэнергии в целях установления баланса всей системы.

## 4.4. Умные здания

IoT может играть важную роль в управлении энергопотреблением и снижении потерь при освещении, использовании электроприборов, охлаждении, отоплении и кондиционировании воздуха. Как только датчиками обнаруживается зона или прибор с чрезмерным уровнем энергопотребления, система предпринимает определенные действия для его снижения до приемлемого уровня.

IoT также может применяться для управления потерями энергии в системах освещения. Например, благодаря применению систем освещения на основе IoT потребители будут предупреждены, когда потребление энергии выходит за пределы стандартного уровня [4.21].

## 4.5. Умные заводы

IIoT — это направление применения IoT. Термин «промышленный интернет вещей» относится к технологии IoT, используемой в промышленных условиях, а именно на производственных предприятиях. При этом IIoT обладает теми же преимуществами и имеет такую же структуру, что и IoT [4.1].

IIoT позволяет выстраивать эффективное межмашинное взаимодействие и предоставляет руководителям предприятий необходимые данные, которые дают им более четкое понимание того, как в настоящий момент работает производство. Благодаря постоянному сбору подробных данных промышленные предприятия могут тщательнее следить за тем, сколько энергии, воды и других ресурсов используется, а также производить мониторинг состояния оборудования.

IoT может быть использован для разработки полностью взаимосвязанной и гибкой системы производства на умном заводе для снижения потребления энергии при одновременной оптимизации производства, в том числе за счет сокращения доли привлечения человеческих ресурсов для контроля процессов производства. Использование IoT помогает своевременно распознавать сбои, а не выявлять их путем инспекции качества продукции в конце производственного цикла. Таким образом, персонал может оперативно принять соответствующие меры, чтобы предотвратить нерациональное использование ресурсов, в том числе потери энергии [4.24].

Мониторинг производственных процессов на умном заводе осуществляется с помощью мобильных устройств (например, смартфонов или планшетов у оператора), через которые осуществляется доступ к облачной IoT-платформе. Для более эффективного использования технологии IoT на каждой единице оборудования промышленного объекта устанавливается умный датчик, с помощью которого можно определить отдельные узлы или агрегаты. Таким образом, можно осуществлять дистанционное управление каждой единицей промышленного оборудования и оптимизировать энергопотребление производства в целом. С точки зрения поддержания активов производства на требуемом уровне одной из возникающих проблем на заводах является износ оборудования. С помощью IoT-платформы и соответствующих программных инструментов можно осуществлять мониторинг состояния оборудования, чтобы спрогнозировать возникновение неисправностей и своевременно их устранить [4.1, 4.24].

## 4.6. Интернет вещей в энергетическом секторе

IoT может помочь осуществить процесс перехода из централизованной энергетической системы в распределенную и интеллектуальную, что является ключевым требованием для внедрения локальных распределенных ВИЭ, таких как ветряная и солнечная энергия [4.25]. Системы на основе IoT автоматизируют, интегрируют и управляют процессами передачи и распределения энергии с помощью умных датчиков и коммуникационных технологий. Сбор большого количества данных и использование интеллектуальных алгоритмов для анализа данных в реальном времени может помочь отслеживать структуру энергопотребления пользователей и устройств в различных временных масштабах, эффективно контролируя их потребление [4.26]. На рис. 4.4 представлена экосистема технологий в рамках IoT.



Рис. 4.4. Экосистема интернета вещей [4.1]

Таким образом, целевое применение IoT в энергетическом секторе — это целостная оптимизация всей энергосистемы при ее одновременной децентрализации и декарбонизации. Преимущества IoT для энергетического сектора представлены в таблице 4.2. Технология IoT имеет потенциал для содействия достижению цифровой трансформации энергетики, в результате которой [4.27]:

- ▶ возобновляемая энергия генерируется вблизи крупных потребителей;
- ▶ широко используются системы накопления энергии для хранения избыточной энергии в период низкого спроса и отдачи энергии в период высокого спроса;
- ▶ регулируется спрос для большей части генерируемой мощности;
- ▶ централизованные электростанции на ископаемом топливе планируют производство на основе прогнозов для ВИЭ в реальном времени.

**Таблица 4.2.** Преимущества при применении технологии интернета вещей в различных процессах [4.1]

Задача	Описание	Преимущества
<b>Рынок и его регулирование</b>		
Децентрализация рынка	Обеспечение двустороннего доступа к сети для потребителей в целях свободного выбора поставщика электроэнергии	Смягчение иерархии в энергетической цепочке поставок, снижение цен для потребителей
Объединение мелких потребителей (виртуальные электростанции)	Агрегирование мелких участников рынка (мелких потребителей и микрогенерации) с целью создания баланса и альтернативного источника электроэнергии	Привлечение малых мощностей к участию в конкурентном рынке, снижение нагрузки в пиковое время потребления, повышение гибкости энергосистемы и снижение потребности в балансирующей электроэнергии, обеспечение рентабельности оборудования для потребителей
<b>Энергоснабжение</b>		
Профилактическое обслуживание	Мониторинг неисправностей путем анализа больших данных, собранных с помощью датчиков или камер	Снижение риска аварий, производственных потерь и простоев в обслуживании; снижение затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание
Устранение неисправностей	Выявление сбоев и неполадок и их дистанционное устранение при возможности	Повышение надежности услуг электроснабжения, сокращение времени на обнаружение неисправностей и техническое обслуживание
Накопление энергии	Возможность накопления и хранения энергии при необходимости после анализа соответствующих показателей	Снижение риска возникновения дисбаланса спроса и предложения, повышение рентабельности торговли электроэнергией за счет оптимального использования систем накопления энергии, обеспечение оптимальной стратегии для активов накопления электроэнергии
Интеллектуальное управление активами	Анализ больших данных и эффективное управление генерацией	Повышение надежности поставок, повышение эффективности использования активов, снижение затрат на обеспечение резервных мощностей, снижение риска перегрузок и отключения электроэнергии

В энергетической системе с высокой долей ВИЭ балансирование объемов производства энергии со спросом является сложной задачей из-за постоянной изменчивости спроса и предложения. Системы IoT обеспечивают гибкость в балансировании генерации и потребления, что, в свою очередь, позволяет решать некоторые проблемы, связанные с разворачиванием ВИЭ. Также с помощью IoT можно добиться более эффективного энергопотребления, используя ИИ [4.28]. Например, использование алгоритмов машинного обучения дает возможность сбалансировать спрос с мощностью электростанций и источниками микрогенерации, такими как солнечные панели [4.29]. В таблице 4.3 представлены преимущества IoT на уровне передачи, распределения и сбыта электроэнергии.

**Таблица 4.3.** Применение технологии интернета вещей на этапах передачи, распределения и сбыта электроэнергии [4.1]

Задача	Описание	Преимущества
<b>Передача, распределение и сбыт электроэнергии</b>		
Развертывание умных сетей (smart grids)	Единая платформа эксплуатации энергосистемы с использованием технологии больших данных и информационно-коммуникационных технологий	Повышение энергоэффективности и интеграция распределенной генерации и нагрузки, повышение надежности энергоснабжения, снижение потребности в резервных мощностях, выявление слабых мест и соответствующее усовершенствование сети в целях снижения риска отключения электричества
Интегрированный подход к зарядке электромобилей (vehicle to grid, V2G)	Анализ спроса и определение циклов зарядки-разрядки в зависимости от общей нагрузки сети	Повышение гибкости энергосистемы путем задействования электромобилей в снабжении сети электроэнергией в пиковые часы, анализ и прогнозирование влияния электромобилей на нагрузку, определение зон для установки новых зарядных станций и улучшения распределительной сети
Микросети (microgrids)	Платформы для управления сетью, независимой от центральной сети	Повышение надежности поставок электроэнергии, создание совместимости и гибкость между микросетями и основной сетью, обеспечение стабильной цены на электроэнергию для потребителей, подключенных к микросетям
Регулирование спроса (demand response)	Централизованное управление спросом за счет создания соответствующих условий для потребителей	Снижение спроса в пиковое время
<b>Потребители</b>		
Создание продвинутой инфраструктуры учета	Использование датчиков и сенсоров для сбора и анализа нагрузки и температурных данных на потребительском объекте	Доступ к подробной информации о колебаниях нагрузки в различных временных масштабах, выявление областей для повышения энергоэффективности (например, чрезмерное кондиционирование помещения или лишнее освещение), снижение затрат на использование энергии
Эффективное управление аккумуляторными батареями	Аналитика данных для активации аккумулятора в оптимальное время	Оптимальная логика заряда-разряда батареи в различных временных масштабах, снижение затрат на использование энергии
Умные здания (smart buildings)	Централизованное и дистанционное управление приборами и устройствами	Экономия времени и энергии, повышение уровня осведомленности об использовании энергии и воздействия на окружающую среду, повышение готовности присоединения к интеллектуальной сети или виртуальной электростанции, улучшенная интеграция распределенной генерации и систем хранения

Компания «Дженерал Электрик» (General Electric, GE) внедрила несколько решений IoT для управления эффективностью активов, которые представлены в таблице 4.4.

**Таблица 4.4.** Использование интернета вещей на электростанциях для управления эффективностью активов [4.1]

Кейс	Решение	Преимущества
<p>Bord Gáis Energy (Ирландия). Электростанция с комбинированным циклом, 445 МВт. Задача: непрерывная работа без незапланированных простоев</p>	<p>141 датчик для мониторинга состояния активов. Система раннего предупреждения отказов, позволяющая эффективно и своевременно проводить обслуживание и ремонт</p>	<p>Сокращение времени простоя оборудования, снижение затрат на эксплуатацию электростанции</p>
<p>Scottish Southern Energy (Великобритания). 11 тепловых электростанций. Задача: повысить эксплуатационную надежность оборудования за счет раннего обнаружения потенциальных отказов и предотвратить их повторение</p>	<p>Создан Центр по повышению эффективности оборудования. Осуществляется непрерывный мониторинг показателей на 11 объектах генерации и суммарно отслеживается 1026 умных датчиков. Развернуты алгоритмы прогнозной аналитики</p>	<p>Значительное снижение количества отказов оборудования, что привело к повышению эксплуатационной надежности и увеличению объемов генерации. Раннее обнаружение отказов позволило сэкономить около 3 млн фунтов стерлингов в год. Сократились общие расходы на страхование. Экономия до 100 тыс. фунтов стерлингов на ремонте одного генератора</p>
<p>Salt River Project (Феникс, штат Аризона, США). 11 объектов генерации (угольные, комбинированные, АЭС, ВИЭ). Задача: интеграция данных с разных объектов для управления отключениями, оптимизации стратегии технического обслуживания</p>	<p>Внедрение сотен умных датчиков и интегрированная обработка данных, поступающих с разных электростанций, на единой IoT-платформе</p>	<p>Высокий уровень надежности активов и установок, обеспечение высокого качества услуг для потребителей. Отсутствие незапланированных простоев. Экономия 0,5 млн долл. США в год</p>

На базе IoT компания C3.ai (штаб-квартира — Калифорния, США) развернула решение по предиктивному техническому обслуживанию на угольной электростанции мощностью 700 МВт. Более 80 датчиков используются для мониторинга паровой турбины и насосов с 10-секундной частотой. Для прогнозирования утечек и отказов оборудования, вызванных вибрацией, применяют машинное обучение в целях обнаружения закономерностей. Результатом такого развертывания стало заблаговременное уведомление о предстоящих отказах за 3 недели, что позволяет снизить стоимость ремонта и уменьшить количество простоев, вызванных отказом оборудования.

Согласно информации компании C3.ai, преимущества технологии IoT в данном случае следующие [4.27]:

- ▶ улучшение и увеличение времени возможного прогнозирования и гибкости планирования задач технического обслуживания;
- ▶ повышение временной точности и локализация прогнозов отказов активов;
- ▶ сокращение или избежание незапланированных, аварийных задач, связанных с техническим обслуживанием;
- ▶ повышение надежности производства энергии.

**Интернет вещей и возобновляемые источники энергии.** Различные исследования показали, что энергетическая система, построенная на неископаемых источниках энергии, практически невозможна без эффективного использования энергии и снижения спроса на энергию, а также высокого уровня интеграции ВИЭ от регионального до глобального уровня [4.30].

За последние несколько десятилетий в энергетическом секторе происходят радикальные изменения, связанные с ВИЭ. Согласно прогнозам, в период с 2020 по 2026 год мощность возобновляемых источников электроэнергии в мире увеличится более чем на 60% и достигнет более 4800 ГВт. В целом в ближайшие пять лет лидером останется Китай, на долю которого придется 43% глобального прироста мощностей ВИЭ, за ним следуют Европа, США и Индия. Только на эти четыре рынка приходится 80% прироста возобновляемых мощностей во всем мире. При этом IoT играет одну из ключевых ролей в развитии в энергетическом секторе [4.31].

Солнце и ветер являются самыми популярными ВИЭ благодаря их доступности и надежности по сравнению с любыми другими. В 2019 году Германия обеспечила четверть своих потребностей в энергии за счет ветряных электростанций. Стоимость производства энергии с помощью этих ресурсов также значительно снизилась [4.32].

Интеграция IoT и ВИЭ позволит увеличить надежность и доступность электроэнергии, поскольку производство энергии из ВИЭ зависит от факторов окружающей среды (таких как температура, скорость ветра, интенсивность света и т.д.), которые влияют на эффективность преобразования энергии. На рис. 4.5 представлены преимущества IoT для ветрогенерации.



**Рис. 4.5.** Преимущества использования интернета вещей в ветрогенерации [4.30]

Благодаря внедрению технологий ИИ и IoT в солнечную энергетику и ветрогенерацию повышается эффективность генерации. Например, система слежения калибрует угол наклона солнечных панелей, чтобы получить максимальное количество солнечной энергии в течение дня или сообщить диспетчеру о разного рода неполадках [4.30].

## 4.7. Энергия как услуга

Распространение устройств IoT, особенно носимых, приводит к развитию экосистемы IoT на основе краудсорсинга (распределенные между пользователями считывающие и вычислительные ресурсы устройств IoT). Например, пользователи носимых устройств смогут обмениваться широким спектром услуг IoT, таких как разгрузка вычислений, точки интернет-доступа, обмен энергией и т.д. Подобные возможности IoT представляют собой удобное, экономически эффективное, а иногда и единственно возможное решение для устройства с ограниченными ресурсами. Например, смартфон пассажира с низким зарядом батареи может принять решение получать энергию от расположенных рядом устройств через беспроводную сеть [4.33].

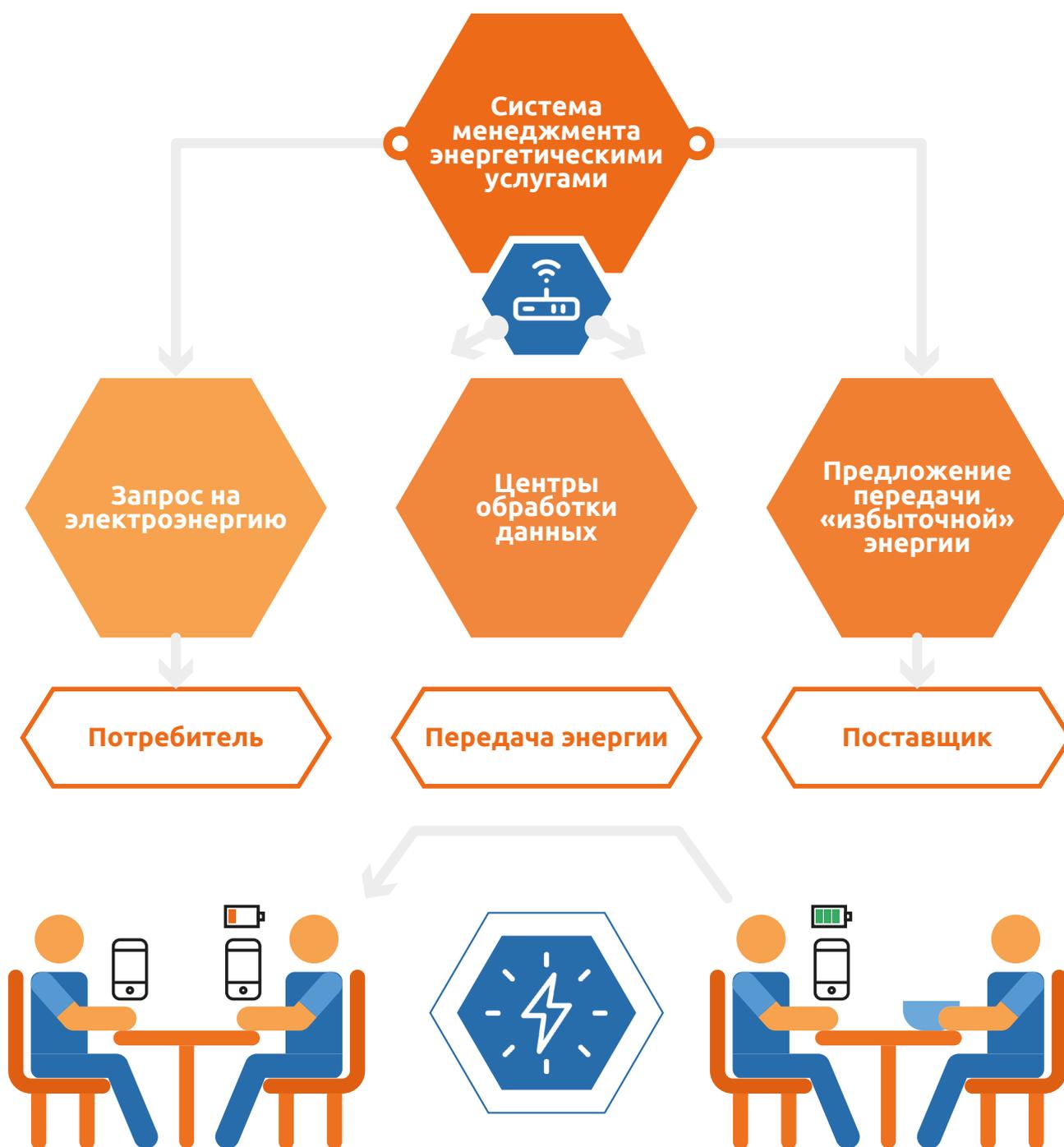
Энергия как услуга (Energy-as-a-Service, EaaS) определяется как беспроводная доставка энергии от устройства поставщика к близлежащему устройству потребителя [4.34]. Под поставщиком энергии понимается IoT-устройство (смартфоны, смарт-часы и т.д.), которое может делиться резервной энергией, а потребитель — это IoT-устройство, которому требуется энергия. Также поставщиками энергии могут выступать умный текстиль или солнечные часы, которые генерируют энергию из природных ресурсов (например, тепла тела или физической активности). Собранной энергией можно поделиться с близлежащими IoT-устройствами в качестве услуги.

Энергетические услуги также могут быть развернуты с появлением новых технологий, известных как беспроводная зарядка по воздуху. Например, компания Energous (США) разработала технологию, позволяющую осуществлять беспроводную зарядку на расстоянии до 4,5 метров. Другой пример: зарядное устройство Mi Air компании Xiaomi (Китай) посылает энергию по беспроводной связи на несколько близлежащих IoT-устройств [4.33].

Предоставление энергии как услуги имеет ряд преимуществ: EaaS — это «зеленое» решение на основе краудсорсинга, поскольку оно оперирует запасной энергией. Кроме того, EaaS предлагает мобильность и удобство в качестве альтернативы ношению с собой аккумуляторов или подключению к розеткам, то есть EaaS предлагает повсеместный доступ к энергии, где пользователи могут заряжать свои устройства в любом месте и в любое время.

Исследователи из Университета Сиднея (The University of Sydney, Австралия) разрабатывают собственную экосистему по беспроводной передаче электроэнергии между IoT-устройствами. В исследовании в качестве примера рассмотрен торговый центр, который разделен на отдельные зоны, такие как кафе, рестораны, кино-театры и т.д.

В каждой зоне находятся пользователи с устройствами IoT, такими как смартфон или смарт-часы, которые выступают в качестве поставщиков или потребителей услуг через облачный сервис (рис. 4.6). Все локальные энергетические услуги и запросы отправляются через мобильное приложение, которое использует Bluetooth для подключения поставщиков энергии к потребителям для установления связи. Кроме того, мобильное приложение синхронизирует мониторинг и запись передачи энергии между поставщиком и потребителем. Текущая версия мобильного приложения для обмена энергией поддерживает режим передачи энергии один к одному, то есть один поставщик энергии может поставлять энергию только одному потребителю энергии. Эффективность беспроводных зарядных станций может достигать до 90%, но этот показатель очень сильно зависит от таких факторов, как дистанция, наличие препятствий и др.



**Рис. 4.6.** Визуализация принципа услуги по беспроводной передаче энергии [4.33]

Примерами других организаций, которые сосредоточены на разработке технологии беспроводной зарядки IoT-устройств на расстоянии, являются Ossia (штаб-квартира — США), Powercast (штаб-квартира — США), TechNovator (штаб-квартира — Великобритания) и LumenFreedom (штаб-квартира — Австралия) [4.33].

## 4.8. Тренды в интернете вещей

Современные системы IoT в основном полагаются на централизованные облачные платформы. В большинстве приложений IoT необходимо подключить тысячи устройств, которые трудно синхронизировать. Также из-за централизованной природы IoT, в том случае если сервер не обладает достаточным уровнем защищенности, все подключенные объекты могут быть взломаны, а данные — скомпрометированы. Решением данной проблемы может стать технология блокчейн, которая обеспечивает децентрализованную и безопасную структуру, исключающую вмешательство третьей стороны. Платформа, построенная на технологии блокчейн, проверяет каждый узел IoT, а также осуществляет проверку на «безвредность» обновлений системы и сохраняет весь информационный обмен. Проверенные транзакции хранятся в виде блока (связанной структуры), который связан с предыдущим таким образом, что информация не может быть стерта или изменена без следов. При этом может быть записана история каждой отдельной транзакции на каждом узле и доступна всем авторизованным пользователям IoT-платформы, что позволяет немедленно узнать о любых изменениях. Более того, технология распределенного реестра дает возможность легко синхронизировать даже тысячи устройств IoT. Таким образом, в энергетическом секторе применение технологии блокчейн может дополнить технологию IoT, обеспечив децентрализованную платформу для распределенных систем генерации и хранения электроэнергии и повысив энергетическую безопасность и эффективность [4.1].

Другим значимым трендом в IoT можно выделить так называемый **зеленый интернет вещей**. При крупномасштабном развертывании технологий IoT в ближайшем будущем важной проблемой будет являться энергопотребление устройств IoT. Для работы миллиардов устройств, которые будут подключены к интернету, требуется значительное количество энергии. А большое количество устройств IoT означает большое количество электронных отходов. Для решения этих проблем необходимо развитие энергоэффективных коммуникационных сетей, пример которых приведен ранее в данном разделе, а также оптимизация производства устройств IoT, например уменьшение их размера при одновременном увеличении срока службы [4.1].

Таким образом, IoT объединяет множество устройств, людей, данных и процессов, позволяя им беспрепятственно общаться друг с другом. IoT может потенциально повысить качество жизни в различных областях, включая медицинские услуги, умные города, строительную промышленность, сельское хозяйство и энергетический сектор. Это возможно благодаря автоматизированному принятию решений в режиме реального времени и созданию инструментов для оптимизации таких решений [4.27].

IoT обладает также большим потенциалом для всех заинтересованных сторон энергетического сектора. С точки зрения генерации, передачи и распределения электроэнергии технология IoT переводит в цифровой формат управление электростанциями и подстанциями с помощью датчиков для мониторинга и аналитики в целях оптимизации эксплуатационных аспектов бизнес-процессов. С точки зрения эксплуатации внедрение IoT приведет к значительному повышению эффективности производства и снижению выбросов парниковых газов. С точки зрения технического обслуживания результатом будет снижение затрат на обслуживание, повышение надежности и увеличение жизненного цикла оборудования, кроме того, применение IoT повышает гибкость всей энергосистемы, что позволяет увеличить долю ВИЭ. Для потребителей основными преимуществами от внедрения IoT являются повышение качества предоставляемых услуг, возможность оценивать и планировать свои затраты на электроэнергию, а также использовать микрогенерацию как для личных нужд, так и для передачи «излишек» электроэнергии в сеть [4.1].

## Список использованных источников

4. 1. Hossein Motlagh N., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // *Energies*. 2020. V. 13. N. 2. P. 494. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13020494>.
4. 2. IoT Analytics. State of IoT 2022. Electricity Advisory Committee. 2021. 8 p. URL: <http://www.iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (дата обращения: 11.04.2022).
4. 3. Minerva R., Biru A., Rotondi D. Towards a Definition of the Internet of Things (IoT). 2015. URL: [http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf) (дата обращения: 11.04.2022).
4. 4. Zouinkhi A., Ayadi H., Val T. et al. Auto-management of energy in IoT networks // *Int. J. Commun. Syst.* 2019. V. 33. N. 1. P. e4168.
4. 5. Khatua P.K., Ramachandaramurthy V.K., Kasinathan P. et al. Application and Assessment of Internet of Things toward the Sustainability of Energy Systems: Challenges and Issues. 2020. V. 53. N. 400. P. 101957. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101957>.
4. 6. Industrial Internet of Things Market Research Report. URL: <http://www.researchandmarkets.com/reports/5470794/industrial-internet-of-things-market-research> (дата обращения: 12.04.2022).
4. 7. Zhang C., Zhou Z., Liu P., Gu B. Resource Allocation for Energy Harvesting Based Cognitive Machine-to-Machine Communications / IEEE International Conference on Communications (ICC). 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8761936>.
4. 8. Zhou Z. et al. Green Internet of Things (IoT): Energy Efficiency Perspective. *Wireless Networks*, 2019. 185 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64054-5>.
4. 9. Jia M., Komeily A., Wang Y., Srinivasan R.S. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications // *Autom. Constr.* 2019. V. 101. P. 111–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>.
4. 10. Karunarathne G.G.K.W.M.S.I.R., Kulawansa K.A.D.T., Firdhous M.F.M. Wireless Communication Technologies in Internet of Things: A Critical Evaluation. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICONIC.2018.8601226>.
4. 11. Li S., Da Xu L., Zhao S. 5G Internet of Things: A survey // *J. Ind. Inf. Integr.* 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JII.2018.01.005>.
4. 12. Watson Internet of Things. URL: <https://internetofthings.ibmcloud.com/> (дата обращения: 12.04.2022).
4. 13. Smart Sensor Technology for the IoT. URL: <http://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/33212> (дата обращения 12.04.2022).
4. 14. Sensors for Wind Energy Applications. 2019. URL: [www.pepperl-fuchs.com/global/en/15351.htm](http://www.pepperl-fuchs.com/global/en/15351.htm) (дата обращения: 13.04.2022).
4. 15. Kabalci Y., Kabalci E., Padmanaban S. et al. Internet of Things applications as energy internet in Smart Grids and Smart Environments // *Electronics*. 2019. V. 8. N. 9. P. 972. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics8090972>.
4. 16. Jain S., Pradish M., Paventhan A. et al. Smart Energy Metering Using LPWAN IoT Technology. 2021.
4. 17. Сравнительные характеристики широкополосных и узкополосных сетей LPWAN нелицензируемого диапазона для приложений M2M и IoT. URL: [www.wireless-e.ru/standarty/seti-lpwwan-dlya-prilozhenij-m2m-i-iot/](http://www.wireless-e.ru/standarty/seti-lpwwan-dlya-prilozhenij-m2m-i-iot/) (дата обращения: 14.04.2022).
4. 18. Stergiou C., Psannis K.E., Kim B.G., Gupta B. Secure integration of IoT and Cloud Computing // *Future Gener. Comput. Syst.* 2021.
4. 19. Josep A.D., Katz R., Konwinski A. et al. A view of cloud computing // *Commun.* 2020.

4. 20. Lagerspetz E., Motlagh N.H., Zaidan M.A. et al. Feasibility of Low-Cost Sensors for Pollution Hot-spot Detection. 2021.
4. 21. Ejaz W., Naeem M., Shahid A. et al. Efficient energy management for the internet of things in smart cities // IEEE Commun. 2020.
4. 22. Humayun M., Alsaqer M.S., Jhanjhi N. Energy Optimization for Smart Cities Using IoT // Applied Artificial Intelligence. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2037255>.
4. 23. Bhardwaj A. Leveraging the Internet of Things and Analytics for Smart Energy Management. 2020. URL: <https://studylib.net/doc/18652739/leveraging-the-internet-of-things-and-analytics-for-smart> (дата обращения: 14.04.2022).
4. 24. Shrouf F., Ordieres J., Miragliotta G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. 2020.
4. 25. Zhou K., Yang S., Shao Z. Energy Internet: The business perspective // Appl. Energy. 2019.
4. 26. Motlagh N.H., Khajavi S.H., Jaribion A., Holmstrom J. An IoT-based automation system for older homes: A use case for lighting system. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/SOCA.2018.8645771>.
4. 27. Ramamurthy A., Jain P. The Internet of Things in the Power Sector: Opportunities in Asia and the Pacific. Asian Development Bank, 2017. N. 48. 36 p. DOI: <https://doi.org/10.22617/wps178914-2>.
4. 28. Connolly D., Lund H., Mathiesen B. Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union // Renew. Sustain. Energy Rev. 2016. V. 60. P. 1634–1653. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.02.025>.
4. 29. Al-Ali A. Internet of things role in the renewable energy resources // Energy Procedia. 2019.
4. 30. Ponnalagarsamy S., Geetha V., Pushpavalli M., Abirami P. Impact of IoT on Renewable Energy // IntechOpen. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98320>.
4. 31. IEA Renewables 2021 Report. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021> (дата обращения: 05.05.2022).
4. 32. Aghenta L.O., Iqbal M.T. Development of an IoT based open-source SCADA system for PV system monitoring / 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), Edmonton, AB, Canada, 2019.
4. 33. Yao J., Abusafia A., Lakhdari A., Bouguettaya A. Wireless IoT Energy Sharing Platform. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/PerComWorkshops53856.2022.9767478>.
4. 34. Lakhdari A., Abusafia A., Bouguettaya A. “Crowdsharing wireless energy services” in 2020 IEEE 6th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC). IEEE. 2020.



## 5. НОВЫЕ МОДЕЛИ И ИННОВАЦИИ НА ОПТОВЫХ И РОЗНИЧНЫХ РЫНКАХ



Олег Баркин окончил Московский энергетический институт (энергомашиностроительный факультет, а также факультет повышения квалификации по финансовому менеджменту).

В настоящее время занимает должность заместителя председателя правления Ассоциации «НП Совет рынка», входит в состав правления партнерства.

С 2002 года в должности начальника Управления разработки правил НП «АТС» занимался проектом запуска конкурентных торгов и подготовкой регламентов оптового рынка электроэнергии переходного периода.

С 1999 года работал в РАО «ЕЭС России», принимал участие в разработке конкурентной модели оптового рынка электроэнергии и формировании инфраструктуры рынка, занимал должность начальника отдела Департамента развития рынка электроэнергии.

До сих пор мы в основном рассматривали внедрение цифровых решений в областях генерации и транспорта электроэнергии. Однако цифровая трансформация затрагивает все отраслевые аспекты и приводит к комплексному преобразованию бизнеса, переходу к новым бизнес-моделям, каналам коммуникаций с клиентами и поставщиками, продуктам, бизнес- и производственным процессам. Очевидно, что трансформируются и схемы торговли электроэнергией: на рынках появляется все больше участников, цифровые решения повышают гибкость ценообразования, позволяя в большей степени удовлетворять потребностям как потребителей, так и производителей электроэнергии.

Для подготовки настоящего раздела мы обратились за экспертным комментарием к О. Баркину — заместителю председателя правления Ассоциации «НП Совет рынка» (далее Ц.Э. — вопросы Ассоциации «Цифровая энергетика», О.Б. — ответы эксперта).

**Ц.Э.:** Какие инновационные цифровые решения и технологии применяются для регулирования оптовых и розничных рынков за рубежом и в России? Какие новые идеи, основанные на цифровых технологиях, способствуют повышению эффективности регулирования рынков, созданию новых бизнес-моделей?

**О.Б.:** Для развития электроэнергетических рынков в первую очередь требуется соответствующая цифровая инфраструктура: автоматический или автоматизированный коммерческий учет, базы данных потребителей, электронный документооборот с ними и др. Это позволяет оперативно получать актуальную информацию о состоянии и параметрах энергообъектов, заявки участников, финансовую информацию, выстраивать корректную договорную обвязку участников рынка, решать оптимизационные задачи на больших данных, повышает прозрачность, гибкость и скорость самого рынка. Если на оптовом рынке электроэнергии такая инфраструктура уже выстроена и длительное время доказывает свою эффективность (при этом она сопоставима по технологическому уровню с передовыми мировыми аналогами), то на наших розничных рынках ее только еще предстоит создать.

Безусловно, начало внедрения интеллектуального учета на розничных рынках — это важный первый шаг к созданию цифровой инфраструктуры. Но этого явно недостаточно для полноценной цифровизации отношений в локальной электроэнергетике и создания новых сервисов на энергорынке. Мы рассматривали и анализировали ряд идей по развитию розничных рынков электроэнергии, и **самый первый вывод, что для их реализации необходима комплексная цифровая инфраструктура: интеллектуальные системы учета, цифровые реестры субъектов рынка и договорных отношений (в них могут найти применение в том числе блокчейн-технологии), системы телеуправления, цифровые модели сети, торговые сервисы (маркетплейсы).** В идеале такие системы должны быть максимально автоматизированы и защищены — как раз современные технологии уже

позволяют решать такие задачи. При наличии такой инфраструктуры на розничном рынке любой его участник (потребитель, генератор, просьюмер, «накопитель», «агрегатор», «трейдер», провайдер сервисов и др.) сможет легко покупать, продавать, выбирать различных контрагентов, оказывать профессиональные услуги, создавать и продвигать новые сервисы. В мировой практике реализуется множество пилотных проектов, в той или иной степени реализующих новые подходы к организации эффективных розничных рынков электроэнергии.

Появление просьюмеров (prosumer)<sup>11</sup> требует организации эффективной схемы торговли энергией. Оптовый рынок электроэнергии, который развернут во многих странах, не позволяет легко обслуживать торговлю энергией для всех его участников, поскольку порог входа по мощности зачастую оказывается высоким для мелких потребителей, а централизованная структура рынка трудно масштабируется для обслуживания огромного количества просьюмеров [5.1]. В связи с этим в перспективе для просьюмеров предпочтительнее становится децентрализованный и масштабируемый механизм торговли энергией.

Рост децентрализации производства и хранения энергии в сочетании с возможностями управления спросом и предложением на рынках в Европе и США приводит к созданию рынка энергетических данных. Количество источников данных продолжает расти: согласно информации Еврокомиссии, к 2024 году у 77% потребителей в Европе будут установлены умные счетчики [5.2], а в США по состоянию на 2021 год умные счетчики установлены у 75% потребителей [5.3]. Доступ к точным данным и возможность их продажи упростят принятие инвестиционных решений как для новых игроков, таких как просьюмеры и микросетевые хозяйства, так и для крупных операторов. Основная цель обмена данными — оптимизация и максимально эффективное управление энергосистемой и миллионами подключенных к ней устройств.

Компания re.alto (Бельгия) разработала торговую площадку Energy API Marketplace, которая предоставляет источники данных и поддерживает интеграцию с системами своих клиентов. Эта площадка предназначена для обмена и продажи данных компаниями энергетического сектора, включающих климатические условия, генерацию, передачу и потребление электроэнергии, ценообразование и данные об электромобилях (рис. 5.1) [5.4].



**Рис. 5.1.** Данные предоставляемые на маркетплейсе re.alto [5.5]

<sup>11</sup> Просьюмер — участник энергетического рынка, который передает (продает) в сеть избытки энергии, генерируемой за счет собственных мощностей.

Спрос на внешние данные со стороны энергетических компаний растет, поскольку они необходимы для прогнозирования потребления и выработки ВИЭ, а также для оптимизации использования систем накопления энергии [5.4].

Для того чтобы гарантировать трансграничную передачу данных, их необходимо стандартизировать. Это делается с помощью программного интерфейса приложений (API). Наиболее полезные API формируют набор данных, которые необходимы для оптимизации и повышения надежности работы системы. Сюда входит рыночная информация, информация о работе сетей и прогноза погоды, что в совокупности важно для прогнозирования не только централизованного, но и децентрализованного производства энергии. На рынке API становятся продуктами, которые компенсируют затраты на сбор данных и представляют собой источник дохода для поставщиков данных. Таким образом, еще одним важным кластером продуктов на энергетических рынках становятся маркетплейсы отраслевого ПО.

Кроме энергетических маркетплейсов, за рубежом среди потребителей и производителей энергии набирает популярность технология интернета энергии (Internet of Energy, IoE) — область технологии IoT, — позволяя потребителям стать просьюмерами. IoE позволяет реализовать интеллектуальное распределенное управление энергоресурсами транзакций между участниками сети. Применение технологий IoE необходимо для развития умных сетей и улучшает координацию и оптимизацию в макроэнергетической системе.

Некоторые примеры стартапов в области IoE [5.1]<sup>12</sup>:

- ▶ **NYDRO** — *платформа IoE*. Аргентинский стартап NYDRO разрабатывает платформу IoE, которая соединяет разработчиков, потребителей и инвесторов. Их решение использует технологию блокчейн для создания единой экосистемы распределенной генерации, координируя сбор данных, совместное владение, торговлю зелеными сертификатами и поставки энергии;
- ▶ **Energeia**. Индийский стартап Energeia предлагает решения для мониторинга, финансирования и внедрения энергоэффективных технологий. Умные счетчики Energeia собирают данные об уровнях энергопотребления и прогнозируют потенциальные возможности по увеличению энергоэффективности различных процессов, в том числе обмену энергией между различными участниками сети.

---

**Ц.Э.:** В 2020 году в России запущен пилотный проект по созданию активных энергетических комплексов (АЭК). Каким образом НП «Совет рынка» участвует в пилотном проекте? Насколько актуальным видится развитие микрогридов в текущих условиях? Какие цифровые решения уже применяются или являются перспективными для реализации функционала АЭК, взаимодействия АЭК с рынками?

**О.Б.:** Заложенные в концепцию АЭК принципы, на наш взгляд, не теряют актуальности, так как они направлены на решение задачи эффективного встраивания в энергосистему энергетических комплексов с собственной генерацией (микрогрид), стимулируют таких участников к долгосрочному ответственному поведению. К сожалению, легкого пути развития этого направления нет. Пока электроэнергетика обременена значительным объемом перекрестного субсидирования и нерыночных «надбавок», и при этом не оцифрованы условия резервирования в общей энергосистеме — это создает экономический конфликт развития распределенной и централизованной генерации. Возможность технической реализации такой концепции на сегодняшний день не вызывает больших сомнений, но для ее масштабирования, помимо борьбы с «перекресткой», надо одновременно создать и отладить соответствующую технологию и описывать новые формы взаимоотношений в нормативных правовых актах. Разработка и последующее усовершенствование нормативной базы — это традиционно сфера компетенции и участия «Совета рынка» в этом проекте. Кроме этого, предусмотрено участие представителя «Совета рынка» в комиссии по рассмотрению заявок субъектов активных энергетических комплексов и анализе результатов пилотных проектов.

<sup>12</sup> Подробнее с различными аспектами технологии IoE можно ознакомиться в разделе 4 «Интернет вещей».

В чем может проявляться технологическая эффективность АЭК? Микрогриды используют интеллектуальное управление для покрытия нагрузок, которое может гибко управлять разными видами генерации и других энергоресурсов, в том числе ВИЭ, накопителями, агрегаторами спроса, проч. Благодаря этому, например, минимизируется потребность в строительстве новых резервных энергоустановок для ЭЭС, сетевые компании могут оптимизировать инвестиции в строительство систем распределения энергии и увеличить загрузку существующих электросетевых объектов, а дорогостоящие пики потребления могут покрываться за счет собственной локальной генерации.

Перспективным цифровым решением для АЭК является создание управляемого интеллектуального соединения — совокупность функционально объединенных устройств, компонентов и ПО, предназначенных для поддержания параметров перетока в пределах величины разрешенной мощности АЭК. Управляемое интеллектуальное соединение предназначено для контроля параметров потребления энергии из ЭЭС, определения необходимых технических и экономических условий для выравнивания графика нагрузки микрогрида и отработки технологий информационного взаимодействия микрогрид с СО и сетевой компанией. Новые формы взаимодействия АЭК с сетью повысят надежность энергоснабжения потребителей в микрогриде и энергосистеме.

**Ц.Э.:** Правительство Российской Федерации издало постановление от 2 марта 2021 года № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации». Как в настоящий момент обстоят дела с просьюмерами? Какие цифровые решения уже применяются или будут применяться в перспективе для взаимодействия просьюмеров с рынком?

**О.Б.:** Можно сказать, что в отсутствие этого постановления цифровизации в микрогенерации возможно даже было чуть больше, так как некоторые потребители ставили систему управления, которая регулировала работу генерирующего оборудования таким образом, чтобы не допустить отпуска производимой электроэнергии в сеть. Постановление упростило установку и присоединение микрогенераторов, все избытки выработки электроэнергии должны быть приняты сетью и куплены гарантирующим поставщиком. Безусловно, это стимулирует развитие микрогенерации с точки зрения увеличения объемов подключенного к сети генерирующего оборудования, но такой подход не требует и не стимулирует какие-то специальные цифровые решения, кроме двустороннего учета. Скорее всего, к вопросу ее цифровизации вернемся, когда увидим хоть сколько-нибудь значимый рост объемов в данном сегменте. Хотя эффективнее это делать в упреждающем режиме, опять же в рамках формирования инфраструктуры будущего розничного рынка. В нем микрогенерация может стать активным участником или объединяться в агрегированные ресурсы для оказания услуг энергосистеме.

---

За рубежом в последние годы микросети стали растущим сегментом энергетической отрасли, который представляет собой переход от централизованных энергетических систем к распределенной генерации. Согласно исследованию [5.6] аналитического агентства Global Market Insights, объем рынка микросетей превысил 6 млрд долл. США в 2020 году (рис. 5.2) и, как ожидается, достигнет к 2027 году более 30 млрд долл. США. Драйверами роста рынка микросетей, по оценкам аналитиков, выступают такие аспекты, как развитие ВИЭ и соответствующих цифровых решений, растущий спрос на надежное электропотребление. При этом отмечается, что сдерживающими факторами являются высокие капитальные затраты на развертывание микросетей и отсутствие соответствующей нормативной базы в определенных регионах.



**Рис. 5.2.** Распределение объема рынка микросетей между регионами в 2020 году (млрд долл. США)

При этом стоит отметить, что кроме основных сдерживающих факторов развития микрогридов, касающихся нормативно-правового регулирования и высоких капитальных затрат, существуют и другие недостатки:

- ▶ ограниченное количество масштабируемых моделей микросетей с технологической точки зрения, которые соответствуют возрастающим запросам потребителя к энергоэффективности и стабильности электроснабжения;
- ▶ технические и эксплуатационные сложности, связанные с качеством электроснабжения, необходимостью периодического ремонта и модернизации системы, а также обеспечением требуемого уровня безопасности и отказоустойчивости системы.

Микросеть, или микрогрид (microgrid), можно описать как локальную, ограниченную и самодостаточную энергетическую систему, которая имеет собственную генерацию, возможности хранения электроэнергии и ее распределения на локализованной территории. Распространенной ошибкой является то, что термин «микросеть» или «микрогрид» используется для описания простой распределенной энергетической системы, как, например, установленные на крыше солнечные панели для экономии электроэнергии. Ключевое различие заключается в том, что микросеть может поддерживать подачу электроэнергии в полном объеме для определенного количества потребителей круглый год в режиме 24/7, если внешняя сеть по какой-либо причине станет недоступна, в то время как установленные на крыше дома солнечные панели могут не справиться с нагрузкой в одиночку.

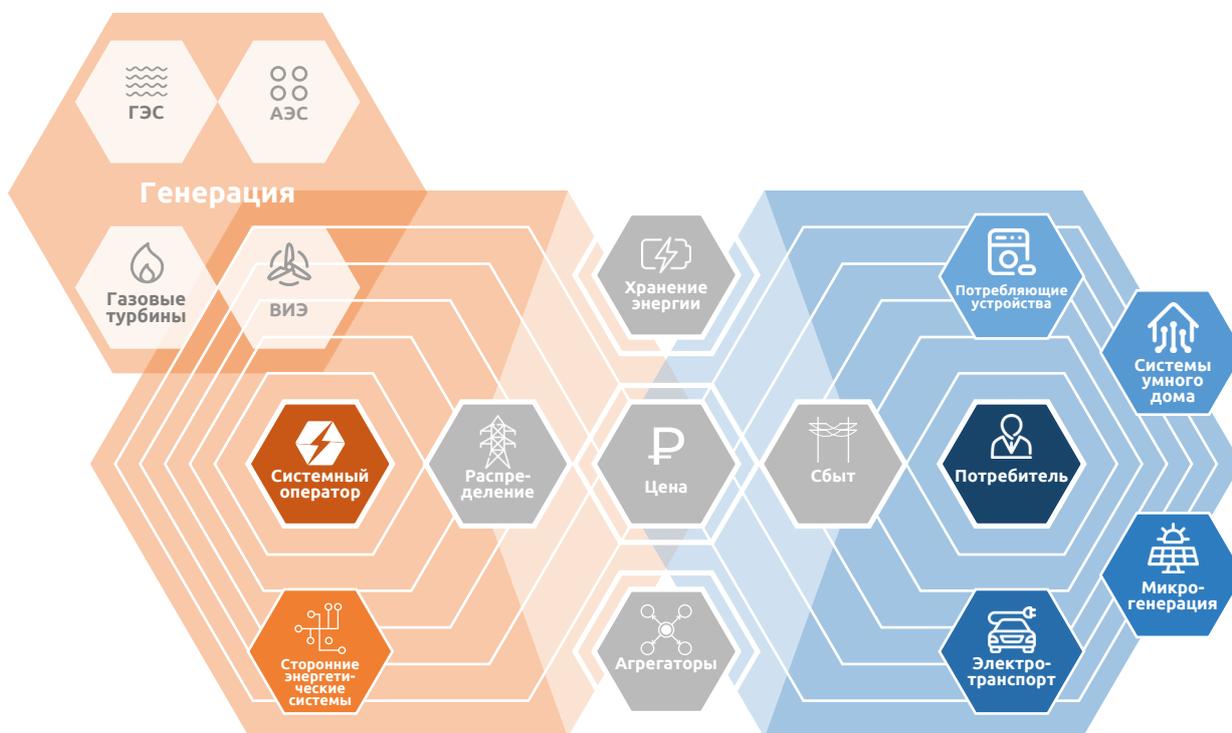
Локализованными территориями в рамках понятия «микросеть» могут выступать такие субъекты, как несколько частных домов, комплекс зданий одной компании или даже жилой район.

В зарубежной литературе микросети распределяют на три основных типа архитектуры [5.7]:

1. присоединенные к внешней сети (Grid-connected);
2. островные (Island mode), когда микросеть может быть при необходимости присоединена к внешней сети (для передачи избытка электроэнергии) и при этом есть возможность полностью автономной работы;
3. автономные или изолированные (Stand-Alone/Isolated mode), если микросеть по каким-либо причинам изолирована от внешней сети.

По сути, микросети состоят из распределенных энергетических ресурсов (distributed energy resources) [5.8] или распределенной генерации, систем накопления энергии, специализированного ПО для контроля и управления, а также объектов потребления (рис. 5.3). Термин «распределенные энергетические ресурсы» дословно

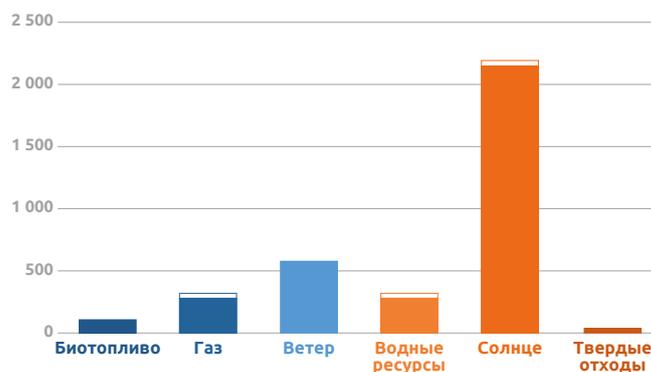
обозначает ресурсы, которые могут отдавать электроэнергию в местную распределительную сеть или соединены с основным объектом потребления в местной распределительной сети [5.9]. К таким ресурсам могут относиться солнечные батареи, теплоэлектростанции, накопители электроэнергии, небольшие генераторы, работающие на природном газе, которые, как правило, относительно небольшие по масштабу и объемам генерации.



**Рис. 5.3.** Визуализация типичной архитектуры микросети [5.10]

Преимущества микросетей состоят в том, что они обеспечивают потребителей недорогой и «чистой» энергией, обеспечивают высокую устойчивость и надежность функционирования критически важной инфраструктуры, увеличивают надежность работы региональной электрической сети, позволяют снизить нагрузку на общую сеть, а также обеспечивают возможность появления новых энергетических услуг.

Канадской компанией IESO (The Independent Electricity System Operator), ответственной за поставки электроэнергии в провинции Онтарио, за последние 10 лет было установлено распределенных энергетических ресурсов суммарной мощностью более 4000 МВт [5.9]. На рис. 5.4 представлено квотирование мощностей по источникам энергии в рамках распределенной энергетики в Онтарио.



**Рис. 5.4.** Распределенная генерация в Онтарио (МВт)

Министерством энергетики США (United States Department of Energy, DOE) была запущена интерактивная карта микросетей (рис. 5.5), расположенных по всей территории США, с целью предоставления актуальной информации для всех заинтересованных сторон. Цифровой реестр, обновляемый ежемесячно, содержит информацию о 461 действующей микросети суммарной мощностью 3,1 ГВт. В интерактивной карте реализована возможность фильтрации и поиска объектов по видам генерации, категориям потребителей электроэнергии, мощностям генерации и объемам хранения [5.11, 5.12].

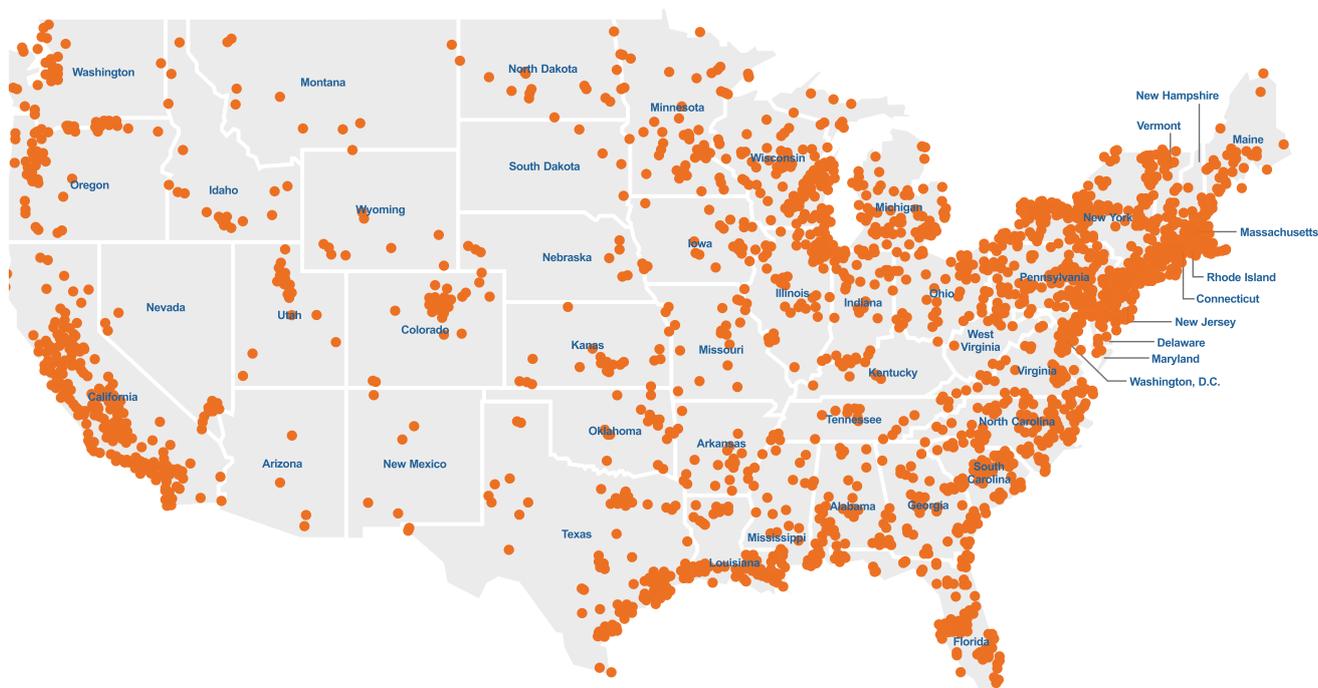


Рис. 5.5. Карта активных микрогридов в США (июнь 2022 г.)

**Ц.Э.:** Какие цифровые технологии будут применяться в национальной системе зеленых сертификатов? Насколько это соотносится с международным опытом?

**О.Б.:** Мы сейчас рассматриваем технологию распределенного реестра (блокчейн) в качестве референтной при разработке системы сертификации и координации зеленых инструментов. Насколько мы знаем мировой опыт, блокчейн в сфере зеленой маркировки электроэнергии пока не самая распространенная технология, возможно потому, что основные мировые системы сертификации энергии формировались относительно давно, когда таких технологий еще не было. **Блокчейн-технологии обладают гораздо более высоким уровнем надежности, защищенности, прозрачности и возможностями автоматизации юридически и финансово ответственных операций, при этом стоимость таких технологий уже не превышает «традиционные» при сопоставимых параметрах производительности.** Вследствие этого все современные реестровые и финансово-расчетные сервисы рассматривают их в качестве приоритетных. Для цифрового реестра атрибутов генерации и сертификатов происхождения электроэнергии это также важно.

**Распределенный реестр** — это база данных, которая распределена между несколькими сетевыми узлами или вычислительными устройствами. Каждый узел получает данные из других узлов и хранит полную копию реестра. Обновления узлов происходят независимо друг от друга. Ключевая особенность распределенного реестра — отсутствие единого центра управления. Каждый узел составляет и записывает обновления реестра независимо от других узлов. Затем узлы голосуют за обновления, чтобы удостовериться, что большинство узлов согласно с окончательным вариантом. Голосование и достижение согласия в отношении одной из копий

реестра называется **консенсусом**, этот процесс выполняется автоматически с помощью алгоритма консенсуса. Как только консенсус достигнут, распределенный реестр обновляется, и последняя согласованная версия реестра сохраняется в каждом узле [5.13].

**Блокчейн** — это один из видов распределенного реестра. Не все распределенные реестры используют последовательность блоков для достижения достоверного консенсуса в распределенной системе защищенным от злоупотреблений способом. То есть каждый блокчейн является распределенным реестром, но не каждый распределенный реестр — это блокчейн. Оба этих понятия подразумевают децентрализацию и достижение консенсуса между узлами. Кроме того, в блокчейне данные организованы в блоки, и разрешено только добавлять новые данные. Распределенные реестры в целом и блокчейн в частности представляют собой концептуальные прорывы в управлении данными, которые наверняка найдут применение в каждой отрасли экономики [5.13].

Компания IBM определяет понятие технологии блокчейн как неизменяемый реестр, который облегчает процесс регистрации транзакций и отслеживания активов в бизнес-сети. Активы могут быть материальными (дом, автомобиль, наличные деньги) или нематериальными (интеллектуальная собственность, патенты, авторские права). Практически все, что имеет ценность, можно отслеживать и обменивать в сети блокчейн, снижая риск и сокращая расходы для всех участников [5.14].

Таким образом, блокчейн подходит для доставки и обмена информацией, которая необходима для функционирования бизнеса, поскольку данная технология обеспечивает быстрое, совместное и полностью прозрачное хранение информации в неизменяемом реестре, доступ к которому могут иметь только авторизованные пользователи. С помощью сети блокчейн можно отслеживать заказы, платежи, счета, производство и многое другое.

Ключевыми элементами сети блокчейн являются:

- ▶ **технология распределенного реестра.** Все участники сети имеют доступ к реестру и неизменяемой записи транзакций. В децентрализованном реестре транзакции записываются только один раз, что полностью исключает возможность дублирования;
- ▶ **неизменяемые записи.** Ни один участник не может изменить транзакцию после того, как она была записана. Если запись транзакции содержит ошибку, то для ее исправления необходимо добавить новую транзакцию, после чего обе транзакции становятся видимыми всем участникам;
- ▶ **смарт-контракты.** Набор правил, или смарт-контракт, хранится в блокчейне и выполняется автоматически для ускорения транзакций. Умный контракт может определять условия передачи корпоративных облигаций, включать условия выплаты по страховке и многое другое.

Технология блокчейн обладает потенциалом для внедрения и в энергетическом секторе благодаря смарт-контрактам и интероперабельности. Всемирный экономический форум (World Economic Forum), Стэнфордский институт окружающей среды Вудса (Stanford Woods Institute for the Environment) и PwC выпустили совместный отчет, в котором указали более 65 существующих и новых вариантов использования блокчейна для окружающей среды. Эти примеры включают новые бизнес-модели для энергетических рынков, управление данными в режиме реального времени, а также перенос зеленых сертификатов на блокчейн [5.15]. Технология распределенных реестров способна повысить эффективность работы поставщиков коммунальных услуг за счет отслеживания цепочки поставок материалов для энергосистем [5.16].

Особенно острыми являются вопросы безопасности и коммерческой тайны. Частные блокчейн-сети предлагают разрешение на доступ к данным и выборочный доступ для заранее одобренных пользователей. Частные и консорциумные блокчейны являются промежуточным решением до тех пор, пока публичные блокчейны не смогут реализовать необходимый уровень безопасности и конфиденциальности, требуемый предприятиями.

Компании, стремящиеся внедрить технологию блокчейн в распределение и сбыт электроэнергии, сосредоточены на соединении конечных потребителей с сетью с помощью технологии IoT. Одна из подобных компаний — Grid+ (США) — предлагает услуги на основании технологии блокчейн, например заключение дого-

воров на обслуживание, выставление счетов и учет использования электроэнергии, вместо использования традиционных способов [5.17].

Хотя сбыт электроэнергии является основным применением блокчейна для многих компаний, не все энергетические фирмы сосредоточены на этом. Отчет Blockchain In Energy, подготовленный компанией Wood Mackenzie, показывает, что 59% проектов в области энергетики на основе блокчейна касаются создания **одноранговых энергетических рынков** (peer-to-peer energy market, P2P)<sup>13</sup>, что позволит людям, которые производят собственную энергию (просьюмеры), продавать её избытки на рынке. Например, австралийская компания Power Ledger соединяет просьюмеров друг с другом для создания микросетей с помощью распределенного реестра.

Блокчейн может обеспечить потребителям и просьюмерам большую эффективность и контроль над потреблением энергии и микрогенерацией в режиме реального времени. Различные типы данных об использовании энергии включают рыночные цены, предельные затраты, соблюдение энергетического законодательства и цены. В 2018 году Национальная энергетическая комиссия Чили (Chilean National Energy Commission) запустила блокчейн-проект для записи, хранения и отслеживания энергетических данных в целях повышения эффективности и качества энергоснабжения.

Основными преимуществами технологии блокчейн являются [5.18]:

- ▶ **прозрачность** — данные в блокчейне записываются в хронологическом порядке и могут быть доступны всем участникам блокчейна;
- ▶ **децентрализация** — любой участник может добавлять транзакции в реестр, нет необходимости в третьей стороне. Кроме того, данные хранятся на нескольких компьютерах участников цепочки;
- ▶ **неизменяемость** — после внесения данных в блокчейн они не могут быть изменены или удалены;
- ▶ **безопасность** — все данные проверяются участниками блокчейна перед тем, как быть прикрепленными к блоку, и защищены криптографическими методами.

В энергетическом секторе технология блокчейн считается перспективным инструментом для регистрации и упрощения транзакций между производителями и потребителями энергии, что включает в себя различные варианты использования. За последние несколько лет в мире появилось множество инициатив, и более 180 игроков, в основном стартапов, работают над разработкой сценариев использования технологии блокчейна, среди них [5.18, 5.19]:

- ▶ **одноранговая торговля электроэнергией (P2P)** — продажа избыточной энергии другим участникам сети с помощью смарт-контрактов и сетевых услуг. Такими компаниями, как Power Ledger (Австралия), Greenuem (Израиль) и Rowan Energy (Великобритания), разработаны P2P-платформы для продажи электроэнергии, и еще ряд проектов находится в стадии реализации. Например, Power Ledger реализовали экологичный проект по строительству жилого комплекса, который будет оснащен солнечными панелями на крыше и аккумуляторными батареями, а владельцы апартаментов смогут продавать излишки вырабатываемой ими солнечной электроэнергии обратно в сеть с помощью платформы;
- ▶ **управление зелеными сертификатами** — автоматизированный учет и выдача зеленых сертификатов в режиме реального времени во избежание двойного учета. В декабре 2019 года EDP Group (Energias de Portugal), один из мировых лидеров в секторе ВИЭ, совместно с партнерами запустил проект на основе блокчейна, чтобы в режиме реального времени подтверждать происхождение энергии из возобновляемых источников, используемой в торговых центрах в Испании;
- ▶ **управление сетью** — автоматическое управление всеми потоками электроэнергии и накопителей в сети для балансировки спроса и предложения в условиях растущей интеграции ВИЭ. Например, Министерство бизнеса, энергетики и промышленной стратегии Великобритании (Department for Business, Energy &

<sup>13</sup> Одноранговый энергетический рынок (P2P) — это децентрализованная сеть, в которой одни участники торгуют и покупают избыточную энергию у других участников без необходимости участия третьей стороны.

Industrial Strategy) выделило финансирование разработчику технологии блокчейн компании Electron для подключения ВИЭ к местным энергетическим активам с целью создания маркетплейса по продаже энергии. Консорциум по продаже энергии на маркетплейсе объединяет такие компании, как Community Energy Scotland (фонд поддержки проектов в области ВИЭ, Шотландия), CGI (ИТ-компания, Канада), EDF (энергогенерирующая компания, Франция), Elexon (коммерческий оператор рынка электроэнергии, Великобритания) и др.

Несмотря на появление нескольких инициатив, блокчейн все еще сталкивается с некоторыми проблемами для широкомасштабного внедрения в энергетике, такими как [5.18, 5.19]:

- ▶ **масштабируемость и энергопотребление.** В силу своей конструкции публичные блокчейны, как правило, требуют большого потребления энергии на транзакцию, и могут возникать длительные задержки до подтверждения транзакции. Примером требований ко времени и энергии для публичных блокчейнов может служить использование биткоинов. Транзакция Visa требует 0,001 кВт·ч электроэнергии, в то время как транзакция биткоина требует примерно 740 кВт·ч на одну транзакцию (данные за 2020 год). Кроме того, платформа Visa способна обрабатывать до 65 тыс. транзакций в секунду, тогда как подтверждение транзакций в биткоинах может занимать от нескольких минут до нескольких часов;
- ▶ **отсутствие четкого и последовательного регулирования.** Хотя работа над нормативными актами уже началась в различных регионах, например в Японии и Европе, отсутствие процедур блокчейна или глобальных нормативных актов является ключевым препятствием для внедрения блокчейна в энергетическом секторе. Нормативные акты необходимы для управления будущей децентрализованной энергетической системой, регулирования тарифов на электроэнергию и решения возможных споров и отмены транзакций;
- ▶ **ограниченная сетевая инфраструктура.** Для оптимизации использования блокчейна в энергетическом секторе требуется более взаимосвязанная интеллектуальная сеть, в которой новые игроки могут участвовать на существующих интеллектуальных счетчиках;
- ▶ **безопасность небольших сетей.** В тех случаях, когда одному участнику публичной сети принадлежит более 50% сетевых активов или мощности, у них появляется возможность нарушить проведение транзакций. Данный тип атаки представляет большой риск для небольших публичных сетей, поскольку вычислительные мощности, необходимые для захвата 51% крупных блокчейнов, должны быть крайне большими.

## Список использованных источников

5. 1. StartUs Insights. Top 10 Energy Industry Trends & Innovations in 2022. URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-energy-industry-trends-innovations-in-2021/#trend-four> (дата обращения: 06.06.2022).
5. 2. European Commission. Smart grids and meters. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en) (дата обращения: 07.06.2022).
5. 3. Smart Energy International. 75% of US households have smart meters — report. URL: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/smart-meters/75-of-us-households-have-smart-meters-report/> (дата обращения: 08.06.2022).
5. 4. Energy Post. A marketplace for energy data will enable Europe's grid expansion. URL: <https://energypost.eu/a-marketplace-for-energy-data-will-enable-europes-grid-expansion/> (дата обращения: 08.06.2022).
5. 5. Re.alto. European digital marketplace for energy data and services. URL: <https://portal.realto.io/browse-apis> (дата обращения: 08.06.2022).

5. 6. Global Market Insights. Microgrid Market 2021. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/microgrid-market#:~:text=Microgrid%20Market%20size%20exceeded%20USD,college%20campus%20and%20business%20centers> (дата обращения: 06.06.2022).
5. 7. National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy. Grid Technologies and Systems. URL: <https://www.nrel.gov/grid/grid-technologies-systems.html> (дата обращения: 06.06.2022).
5. 8. National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy. Distributed Energy resources. URL: <https://www.energy.gov/eere/femp/distributed-energy-resources-resilience> (дата обращения: 06.06.2022).
5. 9. IESO. Distributed Energy Resources. URL: <https://www.ieso.ca/en/Learn/Ontario-Power-System/A-Smarter-Grid/Distributed-Energy-Resources> (дата обращения: 07.06.2022).
5. 10. Electrical Volt. What is a Microgrid? Its Types & Benefits. URL: <https://www.electricalvolt.com/2022/03/what-is-a-microgrid-its-types-benefits-and-challenges/> (дата обращения: 07.06.2022).
5. 11. U.S. Department of Energy. New Tool Tracking Microgrid Installations in the United States. URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/departement-energy-releases-new-tool-tracking-microgrid-installations-united> (дата обращения: 07.06.2022).
5. 12. U.S. Department of Energy. The Microgrid Installation Database. URL: <https://doe.icfwebservices.com/microgrid> (дата обращения: 07.06.2022).
5. 13. AIZ. Чем различаются блокчейн и распределенный реестр. URL: <https://aiz.com/documentation/articles/blockchain/#:~:text=%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D1%80%D0%B5%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%2-0%E2%80%93%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%B0%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85,%D0%BF%D1%80%D0%BE> (дата обращения: 08.06.2022).
5. 14. IBM. Blockchain. URL: <https://www.ibm.com/topics/what-is-blockchain> (дата обращения: 08.06.2022).
5. 15. World Economic Forum in collaboration with PwC and Stanford Woods Institute for the Environment: Building Block(chain)s for a Better Planet. 2018.
5. 16. Wood Mackenzie. For Utilities Exploring Blockchain, There's Beauty in the Mundane. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/for-utilities-exploring-blockchain-theres-beauty-in-the-mundane> (дата обращения: 09.06.2022).
5. 17. GridPlus. URL: <https://gridplus.io/> (дата обращения: 09.06.2022).
5. 18. Alcimed. Blockchain technology for the energy sector: significant potential but still key challenges to overcome. URL: <https://www.alcimed.com/en/alcim-articles/blockchain-technology-for-the-energy-sector-significant-potential-but-still-key-challenges-to-overcome/> (дата обращения: 09.06.2022).
5. 19. Consensus. Blockchain in Energy and Sustainability URL: <https://consensus.net/blockchain-use-cases/energy-and-sustainability/> (дата обращения: 09.06.2022).

## 6. МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ

Говоря о технологии машинного зрения (machine vision), необходимо иметь в виду следующее определение: направление ИИ, которое фокусируется на извлечении информации из цифровых изображений или видео. Во многих системах машинного зрения применяется технология машинного обучения [6.1].

Хотя различные формы компьютерного зрения используются уже в течение многих десятилетий, относительно недавние разработки в области машинного обучения и обработки изображений открыли новые возможности — системы компьютерного зрения с поддержкой ИИ могут применяться во все более разнообразных условиях, больше не ограничиваясь систематизированной и рутинной деятельностью. Технология машинного зрения может помогать операторам на производстве, повышая их эффективность, уменьшая количество ошибок, при одновременном улучшении качества собираемых данных в режиме реального времени. С использованием технологии глубокого обучения ПО можно обучить определять, как «в идеале» должны выглядеть различные физические объекты. Системы обучаются на тысячах изображений, чтобы обнаружить отклонения от «стандартного» внешнего вида [6.2, 6.3].

Применение машинного зрения в связке с машинным обучением на практике имеет значительные преимущества. Например, задача по извлечению деталей (bin-picking): робот извлекает расположенные в случайном порядке детали из контейнера и, используя машинное зрение, сортирует их. Основной проблемой для робота в данном случае является корректный анализ и идентификация предметов, находящихся в контейнере, поскольку они имеют разную форму и размеры, а также хаотичное расположение. Машинное зрение в связке с машинным обучением используется как для распознавания предметов и определения мест захвата роботами, так и для обучения робота корректным движениям для извлечения предметов, чтобы избежать повреждений [6.4].

Еще одно распространенное применение машинного зрения в связке с ИИ — использование машинного обучения для проведения контроля качества продукции и анализа дефектов. ИИ помогает машинному зрению анализировать сложные поверхностные дефекты, например царапины или вмятины на повернутых под разными углами с разной степенью освещенности и матовости деталях. Технология глубокого обучения использует тысячи слоев в нейронных сетях для выявления аномалий, при этом учитывая различные естественные вариации, которые могут присутствовать на изображении. Нейронные сети совершенствуются по мере роста числа итераций с использованием новых изображений, речи и текста [6.5].

Таким образом, сочетание технологий машинного зрения и машинного обучения позволяет упростить как отдельные этапы, так и производство в целом: отпадает необходимость дополнительного микроконтроля за рабочим процессом со стороны человека, увеличивается количество одновременно решаемых задач, сокращается затрата времени и ресурсов, повышается уровень автоматизации производства.

### 6.1. Компьютерное зрение и машинное зрение

Термины «компьютерное зрение» и «машинное зрение» иногда употребляются в различных источниках как синонимы. На самом деле в иностранной литературе эти два термина различаются и в то же время связаны. Машинное зрение — это область системной инженерии, которая может рассматриваться как отличная от компьютерного зрения [6.6].

**Компьютерное зрение** представляет собой комбинацию обработки изображений, распознавания образов и технологии ИИ, фокусируясь на анализе одного или нескольких изображений. Изображение может быть получено одним или несколькими датчиками, или это может быть последовательность изображений, полученных одним датчиком в определенный промежуток времени.

**Машинное зрение** фокусируется на техническом проектировании и применении на практике компьютерного зрения и может автоматически получать и анализировать определенные изображения или их набор, чтобы

затем формировать соответствующее управляющее воздействие. В частности, компьютерное зрение обеспечивает теоретическую и алгоритмическую основу для анализа изображений в машинном зрении. В свою очередь, машинное зрение обеспечивает визуальный датчик, построение системы и аппаратное обеспечение. Таким образом, можно считать, что система машинного зрения — это система, которая может автоматически получать одно или несколько изображений целевого объекта, а затем обрабатывает, анализирует и измеряет различные извлеченные параметры изображения (изображений), на основании которых компьютер или оператор получает определенное представление о целевом объекте, чтобы далее принять соответствующее решение [6.6].

## 6.2. Рынок машинного зрения

Использование в машинном зрении технологий ИИ и глубокого обучения, включая продвинутую аналитику данных, приводит к тому, что системы искусственного зрения становятся удовлетворяющими, а зачастую и превосходящими рыночные потребности. Системы соответствуют постоянно растущим темпам спроса и в то же время становятся более доступными [6.7].

Согласно отчету аналитического агентства Grandviewresearch, объем мирового рынка машинного зрения оценивался в 13,23 млрд долл. США в 2021 году (рис. 6.1). В отчете, исходя из применения технологии, рынок машинного зрения разделен на следующие направления: обеспечение качества и контроль, позиционирование и управление промышленным оборудованием и роботами, измерение и идентификация [6.8].



Растущий спрос на контроль качества и автоматизацию в различных промышленных секторах будет стимулировать рынок. Кроме того, ожидается, что потребность в роботизированных системах, управляемых искусственным зрением, в различных отраслях промышленности будет способствовать росту рынка. Согласно прогнозам Grandviewresearch, мировой рынок машинного зрения будет расти с совокупным среднегодовым темпом роста (CAGR) на уровне 7,7% с 2022 по 2030 год [6.8].

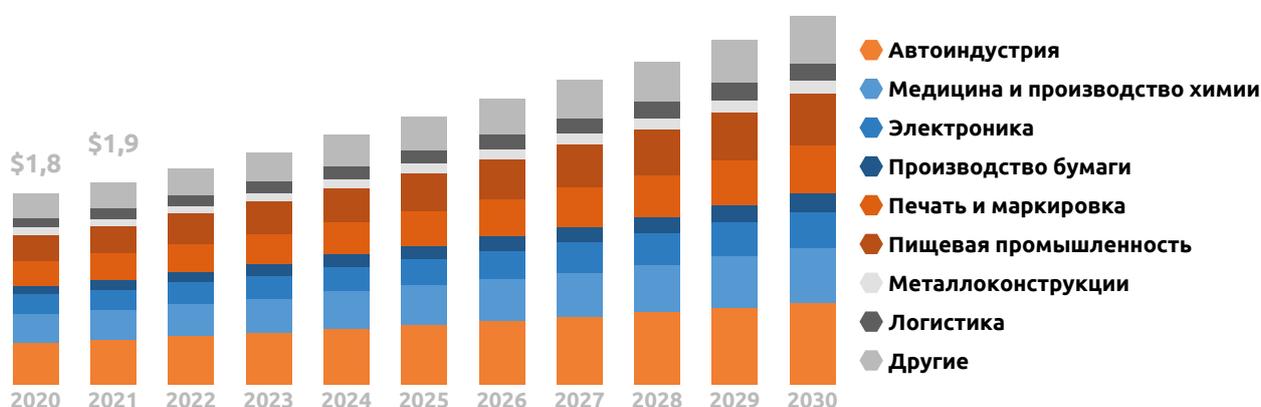
В недавнем опросе членов Ассоциации по развитию автоматизации (Association for Advancing Automation, A3) 82% компаний, внедривших технологию ИИ, заявили, что они используют его в процессах визуального кон-

троля, что в том числе позволяет обнаруживать дефекты продукции, невидимые человеческому глазу, с высокой скоростью [6.4]. Совершенствование лидарных, лазерных, 3D-, инфракрасных и 2D-систем в технологиях машинного зрения в сочетании с машинным обучением приводит к беспрецедентному повышению качества производства и анализу окружающей среды.

Несмотря на то что машинное зрение является относительно зрелой технологией, снижение стоимости компонентов, ПО и инженерных разработок в сочетании с растущей простотой использования и расширением сферы применения продолжают стимулировать рост доходов поставщиков компонентов и систем, обслуживающих рынок машинного зрения. Согласно недавнему отчету Ассоциации по развитию автоматизации (Association for Advancing Automation, США) [6.9], во втором квартале 2021 года рынки роботов и машинного зрения значительно выросли по сравнению с 2020 годом. В то время как заказы на роботов во втором квартале 2021 года выросли более чем на 67% по сравнению со вторым кварталом 2020 года, североамериканский рынок машинного зрения вырос на 26% (до 764 млн долл. США). Более половины заказов на роботов поступило из отраслей, не связанных с автомобилестроением, включая металлургическую промышленность (рост на 99% по сравнению со вторым кварталом 2020 года), полупроводниковую и электронную промышленность (рост на 62%), производителей пластмассы и резины (рост на 51%), производителей продуктов питания и потребительских товаров (рост на 50%), а также научный сектор, фармацевтику, медицину (рост на 21%) [6.9].

Помимо значительного увеличения заказов на роботов, в отчете показан рекордный рост рынков машинного зрения по сравнению со вторым кварталом 2020 года, а с января по июнь 2021 года североамериканский рынок машинного зрения вырос на 18% (до 1,5 млрд долл. США), что является лучшим началом года в истории. Для США показатель CAGR составляет 6,7%, а объем домашнего рынка — 1,9 млрд долл. США по состоянию на 2021 год. Распределение по объему денежных средств между сферами применения машинного зрения в США за период с 2020 по 2030 год приведено на рис. 6.2 [6.8].

**Использование машинного зрения в различных секторах экономики, 2020-2030 гг. (млрд долл. США)**



**Рис. 6.2.** Рынок машинного зрения в США [6.8]

## ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК МАШИННОГО ЗРЕНИЯ



**Рис. 6.3.** Объем рынка машинного зрения по версии агентства Research and Markets [6.10]

В отчете Research and Markets на период 2021–2026 годов также сообщается, что такие страны, как Китай, Япония и Южная Корея, будут вносить основной вклад в развитие рынка машинного зрения в Азиатско-Тихоокеанском регионе. При этом машинное зрение будет занимать большую долю рынка в течение прогнозируемого периода, поскольку в таких странах, как Китай, Япония, Индия и Южная Корея, находятся одни из крупнейших производственных предприятий, где автоматизация производственных процессов имеет наивысший приоритет. Кроме того, сильная конкуренция среди компаний, производящих бытовую электронику, в Азиатско-Тихоокеанском регионе также будет способствовать внедрению систем машинного зрения в этом регионе.

### 6.3. Основные принципы работы машинного зрения

Машинное зрение — это комплексная технология, которая охватывает обработку изображений, освещение, датчики, аналоговые и цифровые технологии фото- и видеозаписи, аппаратное и программное обеспечение (например, алгоритмы улучшения и анализа изображений, карты памяти, платы ввода/вывода), технологии человеко-машинного интерфейса и т.д. Типичная прикладная система машинного зрения включает систему захвата изображения, систему источников света, модуль оцифровки изображения, модуль цифровой обработки изображения, модуль принятия интеллектуальных решений и модуль выполнения механического управления [6.11].

Машинное зрение подразумевает систему визуального восприятия, которая обеспечивает визуальную способность, схожую с человеческой, для облегчения ситуационной осведомленности. Система машинного зрения преобразует объект в сигнал изображения с помощью устройства захвата изображения, передает его в специальную систему обработки изображения и преобразует в цифровой сигнал в соответствии с распределением пикселей, шириной, цветом и т.д. Система обработки изображений выполняет различные вычисления для извлечения характеристик или признаков объекта. После различения результатов осуществляется управление операциями на объекте. На рис. 6.4 представлены основные этапы процесса системы машинного зрения [6.11].



Рис. 6.4. Рабочие процессы системы машинного зрения [6.11]

Цифровые данные, поступающие от аппаратуры, могут быть проанализированы с помощью алгоритмов обработки изображений. Основные этапы обработки изображений в машинном зрении следующие [6.3]:

- ▶ предварительная обработка, которая состоит из удаления шума и повышения контрастности;
- ▶ распознавание изображения, которое делится на два подэтапа:
  - сегментация: применяется пороговое значение, в процессе которого определяются края объекта на изображении;
  - извлечение характеристик: размера, цвета, длины, формы или их комбинации.

Система машинного зрения состоит из следующих модулей: визуального датчика, высокоскоростной системы сбора изображений и специализированной системы обработки изображений (рис. 6.5) [6.6].

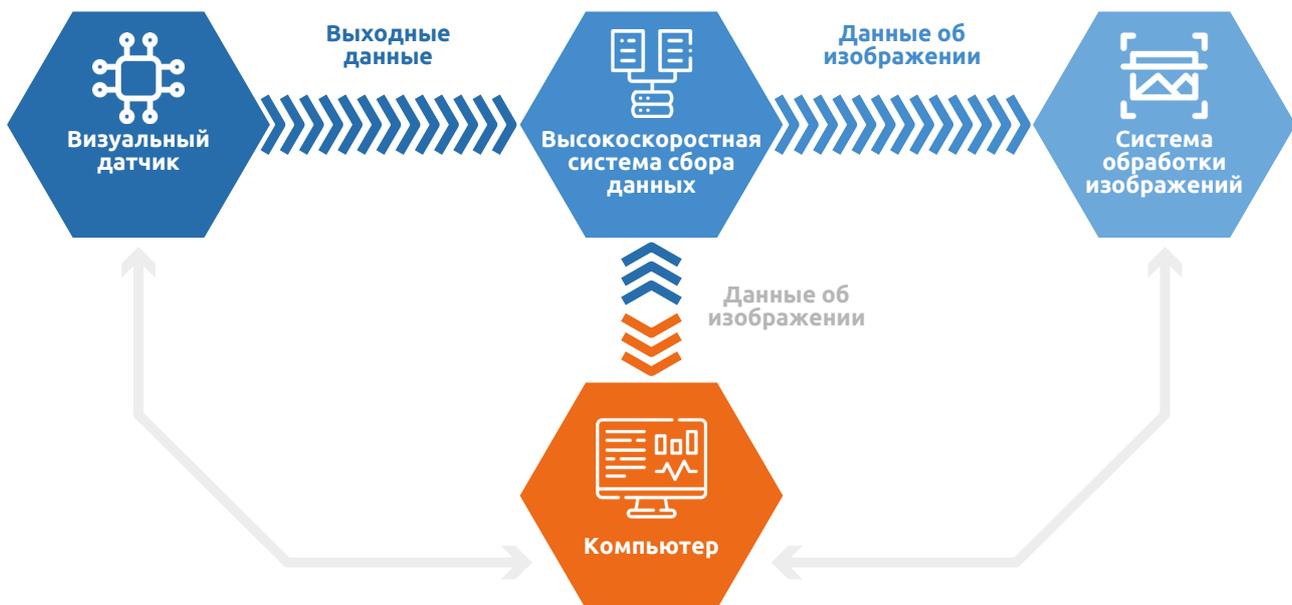


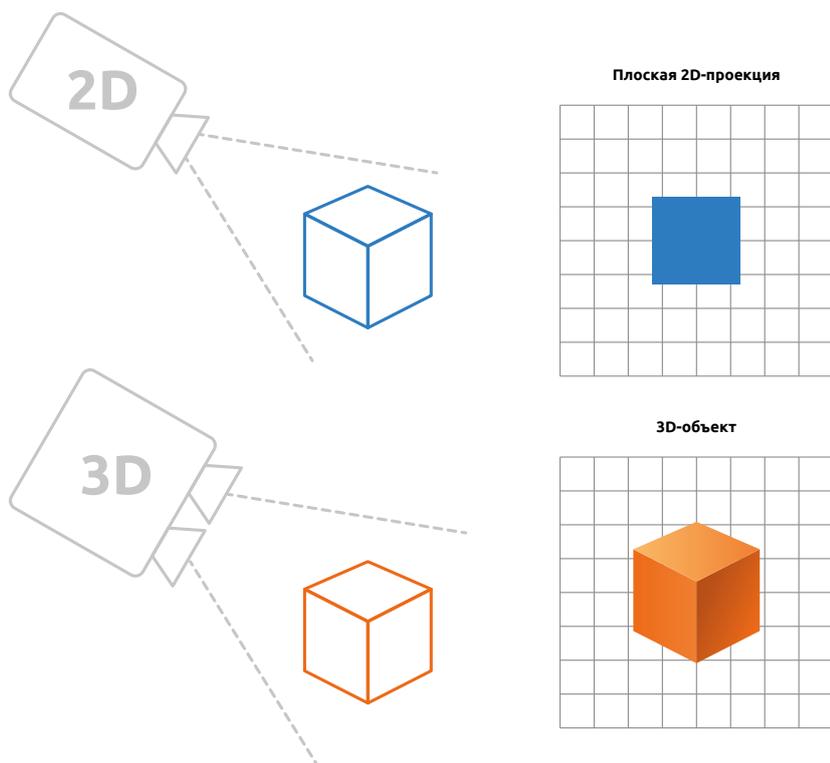
Рис. 6.5. Принципиальная схема обработки изображений машинного зрения [6.6]

Двумя основными критериями любой визуальной системы являются чувствительность и разрешение. Под чувствительностью понимается способность машины видеть при тусклом свете или обнаруживать слабые импульсы в инфракрасном диапазоне. Разрешение относится к способности системы машинного зрения различать объекты — чем выше разрешение, тем меньше поле зрения. Термины «чувствительность» и «разрешение» взаимозаменяемы: повышение чувствительности снижает разрешение, а повышение разрешения повышает чувствительность, при условии что все остальные факторы остаются неизменными [6.11].

## 6.4. Превосходство трехмерного машинного зрения над двумерным

Основная цель исследований в области машинного зрения заключается в том, чтобы дать компьютерам возможность распознавать трехмерную информацию об окружающей среде через двумерные изображения, а также воспринимать и обрабатывать геометрическую информацию, такую как форма, положение и движение объектов в трехмерной среде [6.6].

Двумерное (2D) машинное зрение — хороший инструмент для решения ряда производственных задач, но у него есть ряд фундаментальных проблем. 2D-камеры «видят» объекты только в плоских проекциях, как показано на рис. 6.6 (сверху), что означает невозможность исследования объектов так, как можно было бы ожидать, если бы эту же функцию выполнял человек. Соответственно, возникает необходимость применения сложных алгоритмов в ПО. Например, темные блестящие поверхности на изображении при использовании 2D-систем не будут детализированы из-за недостатка контраста [6.3].



**Рис. 6.6.** Визуализация проекций реального объекта при использовании 2D-системы (сверху) и 3D-системы (снизу) [6.3]

Таким образом, преимуществом 3D-системы машинного зрения является то, что в силу возможности захвата третьего измерения, как показано на рис. 6.6 (снизу), получаемые данные более надежны, потому что 3D-системы машинного зрения невосприимчивы к факторам окружающей среды, которые негативно влияют на 2D-системы. Примерами таких факторов являются освещение, контрастность, дистанция до объекта [6.3].

Стоит отметить, что кроме 2D- и 3D-камер существуют и другие типы камер [6.3]:

- ▶ **1D (линейная).** Сканирует предмет построчно и выдает собранный кадр из линий. Такая камера обладает высоким разрешением и способна снимать на очень высоких скоростях. Используется преимущественно в полиграфии и инспекции материалов на производственных участках с длинной непрерывной продукцией (например, провода);
- ▶ **LiDAR.** Камера формирует трехмерную картину окружающего пространства за счет считывания время возврата сигнала (света) от объектов, после чего строится 3D-модель, состоящая из множества точек. Широкое распространение системы LiDAR получили в беспилотных технологиях сканирования пространств и объектов с целью формирования объемного цифрового образа.

В технологии машинного зрения также используются камеры, которые могут работать в диапазонах света, невидимых человеческому глазу, — ультрафиолетовом, инфракрасном.

## 6.5. Преимущества машинного зрения

Во многих случаях системы машинного зрения превосходят человеческое зрение при определении качественных и количественных показателей благодаря своей скорости и точности. Искусственное зрение может распознавать детали объектов, слишком мелкие для человеческого глаза, и проверять их с высокой надежностью результатов [6.12].

Если человеческое зрение лучше всего подходит для качественной интерпретации сложной, неструктурированной обстановки, то машинное зрение превосходит человеческое в количественном измерении структурированных объектов благодаря своей скорости и точности. Например, на производственной линии система машинного зрения может проверять сотни или даже тысячи деталей в минуту. Система машинного зрения, построенная на основе правильного разрешения камеры и оптики, может легко контролировать детали объекта, которые чересчур малы для человеческого глаза.

Устраняя физический контакт с проверяемыми объектами, использование системы машинного зрения предотвращает их повреждение, при этом снижаются временные и материальные траты на техническое обслуживание подобной системы, связанные с износом механических компонентов. Дополнительно машинное зрение обеспечивает безопасность и эксплуатационные преимущества за счет снижения участия человека в производственном процессе, например предотвращает загрязнение чистых помещений персоналом на производстве микроэлектроники, защищает работников от воздействия опасных сред [6.11, 6.12]. Основные преимущества использования машинного зрения приведены в таблице 6.1.

**Таблица 6.1.** Преимущества использования машинного зрения [6.11, 6.12]

Задача	Преимущества применения технологий машинного зрения
<b>Повышение качества продукции</b>	Применение 3D-системы машинного зрения обеспечивает необходимую точность при производстве продукции. С помощью данной технологии производитель может выявлять видимые дефекты, а также производить точные замеры габаритов на соответствие требованиям
<b>Повышение производительности</b>	Повторяющиеся однотипные действия, которые раньше выполнялись вручную, могут выполняться в автоматизированном режиме. Системы машинного зрения могут проверять тысячи единиц продукции в минуту на производствах непрерывного цикла и представлять результаты с высокой точностью
<b>Повышение эффективности сбора и качества данных</b>	Машинное зрение является инструментом для расширения возможностей по сбору данных и, как следствие, создания производственных цепочек, устойчивых к ошибкам
<b>Гибкость производства</b>	Роль машинного зрения в промышленной автоматизации усиливается благодаря технологии глубокого обучения (deep learning). Интеграция глубокого обучения сделала возможным автономно адаптировать машинное зрение к производственным изменениям
<b>Сокращение простоев оборудования и времени наладки</b>	Перенастройка системы машинного зрения может быть запрограммирована заранее
<b>Более строгий контроль процесса производства</b>	Машинное зрение позволяет получать обратную связь при выполнении ручных задач, а также в автоматизированном режиме собирать на производственных линиях данные для оценки работы оборудования, производить количественный расчет и формировать отчетность
<b>Снижение капитальных затрат на оборудование</b>	Увеличение эффективности оборудования и предотвращение его морального устаревания

<b>Снижение производственных затрат</b>	Предотвращение ошибок при производстве. Система в постоянном режиме отслеживает производственный цикл продукции, вместо того чтобы ждать, пока партия продукции пройдет испытания или экспертизу вручную, что позволяет избежать потери всей или части партии
<b>Снижение количества отходов производства</b>	Более точная настройка производственного оборудования. Например, система машинного зрения позволяет применять резку металла штампами с такой же точностью, как и лазерную резку
<b>Инвентаризация</b>	Визуальное распознавание и подсчет продукции и складских запасов, считывание штрих- и QR-кодов
<b>Оптимизация производственной площади</b>	Для системы машинного зрения необходимо меньше места, и ее возможно размещать в тех местах, где сложно или невозможно разместить персонал
<b>Повышение эффективности промышленных роботов</b>	Машинное зрение наделяет роботов способностью снимать, распознавать изображения и принимать решения так же, как это делает человек. Развитие искусственного интеллекта позволяет технологии машинного зрения автоматически идентифицировать определенные паттерны на различных изображениях и запустить ряд действий в зависимости от результатов
<b>Повышение уровня безопасности труда</b>	Машинное зрение может быть использовано с целью контроля передвижения и действий работников на предприятиях с вредными или опасными производственными факторами

## 6.6. Стандарты машинного зрения

Разработка стандартов является ключом к успеху отрасли, и отраслевые ассоциации помогают финансировать, поддерживать, управлять и продвигать стандарты машинного зрения. В 2009 году три ведущие ассоциации по машинному зрению: Ассоциация развития автоматизации (Association for Advancing Automation, AAA), Европейская ассоциация машинного зрения (European machine vision association, EMVA) и Ассоциация промышленной визуализации Японии (Japan Industrial Imaging Association, JIIA) — начали совместную инициативу по разработке мировых стандартов машинного зрения. В 2014 году к ним присоединились Ассоциация машиностроительной промышленности (Mechanical Engineering Industry Association, VDMA; Германия), а в 2016 году — Ассоциация машинного зрения Китая (China Machine vision Association, CMVU) [6.13].

Стандарты машинного зрения охватывают работу и производительность камер, стандарты крепления объективов, освещение, программные интерфейсы, вопросы интеграции систем машинного зрения.

## 6.7. Применение машинного зрения

Как специфическая область применения оптоэлектронных технологий, машинное зрение широко используется во многих отраслях промышленности. Визуальные технологии могут эффективно справляться с обнаружением и распознаванием объектов (таких как лицо, рукописные символы или товары), классификацией изображений и субъективной оценкой качества изображения [6.6].

Главными особенностями систем машинного зрения являются высокая гибкость и автоматизация работы. Машинное зрение часто используется в опасных рабочих средах, которые не подходят для ручного труда, а также там, где необходима автоматизация, или на производствах непрерывного цикла, что может значительно повысить его эффективность и автоматизацию. В технологии машинного зрения делается акцент на практичности, способности адаптироваться к различным условиям рабочего процесса (универсальности), разумной стоимости, высокой отказоустойчивости, безопасности, портативности.

В то же время благодаря достижениям в области ИИ и других научных и инженерных областях, которые используются в связке с машинным зрением (рис. 6.7), оно имеет огромный потенциал применения в передовых технологических отраслях (интеллектуальные роботы, беспилотные автомобили, лодки, дроны), а также в научных областях (медицина, биология, геология) [6.11, 6.14].



**Рис. 6.7.** Области знаний и науки в рамках машинного зрения [6.10]

Выделяют следующие **основные направления применения машинного зрения в промышленности** [6.3, 6.15–6.17].

**Контроль качества.** Система, состоящая из одной или нескольких камер, выполняет визуальный контроль продукции на производственной или упаковочной линии и затем передает результат инспекции в автоматизированную систему управления. Например, фармацевтические компании используют искусственное зрение для проверки состояния медицинских капсул перед тем, как помещать их в упаковку. В сочетании с методами предиктивного управления визуальный контроль технологического процесса с применением машинного зрения также может использоваться в целях поиска и анализа закономерностей на основе получаемых данных.

**Контроль и инспекция с использованием 3D-зрения.** В данном случае система машинного зрения делает несколько снимков высокого разрешения под разными углами, используемых для построения полной 3D-модели инспектируемого объекта. Технология машинного зрения делает несколько снимков под разными углами, чтобы сформировать 3D-образ по мере прохождения компонентов по производственному цеху. В связке с алгоритмами ИИ выявляются любые внешние дефекты или незначительные отклонения от спецификации.

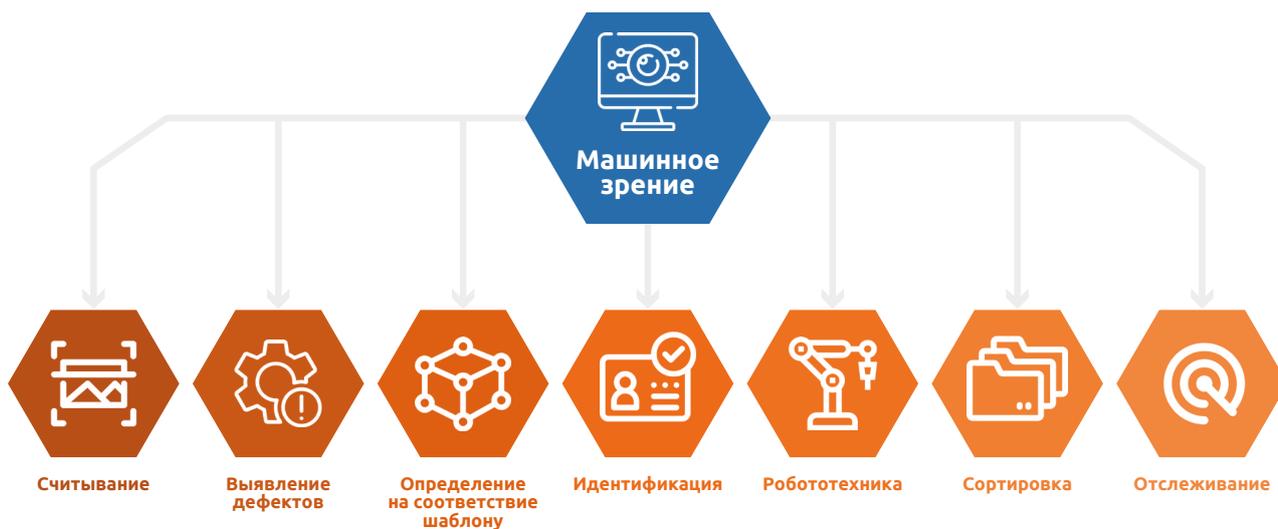
**Распознавание.** Задача состоит в том, чтобы распознать или определить наличие либо отсутствие объекта или какого-либо признака объекта на изображении. Камеры могут информировать людей о замеченном лесном пожаре, различать объекты на фотографиях, текст и подписи, наблюдать за процессом стройки, повреждениями на оборудовании и др. К распознаванию также можно отнести и процессы автоматизированной сортировки на производственной линии. Один из методов идентификации в машинном зрении — сравнение изображений, полученных с камеры в реальном времени с шаблоном.

**Измерение.** Измерение объектов производится путем определения местоположения определенных точек на изображении и измерения геометрических размеров (расстояние, радиус, диаметр и т.д.), например внутреннего диаметра цилиндра двигателя.

**Логистика.** Для проверки и контроля перечня товаров используется система считывания QR-кодов, штрих-кодов.

**Робототехника.** Технология машинного зрения позволяет роботам выполнять значительную часть промышленной работы. В автомобильной промышленности данная технология позволяет управлять роботами на всех этапах сборки автомобиля.

На рис. 6.8 представлены основные направления применения машинного зрения в промышленности.



**Рис. 6.8.** Основные направления применения технологии машинного зрения [6.3]

В автомобилестроительной промышленности технология машинного зрения получила широкое распространение в связи с нехваткой квалифицированных рабочих, необходимостью сокращения затрат на производство автомобилей на фоне роста цен на сырье и электронные компоненты. Таким образом, автомобильная промышленность уделяет больше внимания автоматизации производственных процессов и в будущем будет предъявлять высокий спрос на технологии машинного зрения [6.3]. В большей степени искусственное зрение используется для управления процессом конвейерной сборки и его контроля. Система машинного зрения отслеживает движения и положение роботов (часто встречается определение «роборука»), а также персонала на сборочной линии и непрерывно их направляет.

Машинное зрение может не только помочь упростить производственные операции, но и повысить уровень безопасности персонала и защиты окружающей среды. Технология машинного зрения позволяет собирать и анализировать фото- и видеоизображения в режиме реального времени, что дает возможность получить точную информацию о том, когда сотрудники находятся в опасных для жизни и здоровья условиях, чтобы ответственные за безопасность труда сотрудники своевременно приняли необходимые меры.

Таким образом, в технологии машинного зрения делается акцент на практичности, способности адаптироваться к переменным условиям рабочего процесса (универсальности), разумной стоимости, высокой отказоустойчивости и безопасности [6.18, 6.19].

Высококонкурентная среда энергетического рынка предъявляет повышенные требования к обеспечению безопасности при работе с электрооборудованием и низким эксплуатационным расходам. Возможности машинного зрения позволяют выполнять задачи по осмотру в автономном режиме без угрозы безопасности для работников в постоянном режиме [6.3, 6.5].

По сравнению с большинством сенсорных технологий системы машинного зрения для распознавания изображений легко внедряются благодаря малой занимаемой площади и минимальному воздействию на существующую инфраструктуру. Системы компьютерного зрения очень экономичны и могут эффективно покрывать большие площади, даже в удаленных и распределенных районах, системы искусственного зрения также легко обслуживать, что делает данную технологию подходящей для различных задач в энергетической отрасли. Некоторые **возможности применения технологии машинного зрения в энергетике** представлены ниже [6.3, 6.5].

**Мониторинг и диагностика неисправностей оборудования подстанций.** Технология искусственного зрения применяется для распознавания и мониторинга состояния оборудования подстанций: трансформаторов, выключателей, конденсаторов, молниеотводов, комбинированных электроприборов и т.д. Автоматизированное раннее обнаружение отказов оборудования, скрытых опасностей и аномалий помогает снизить затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, повышать качество услуг электроснабжения. По сравнению с осмотром человеком компьютерное зрение отличается высокой точностью, последовательностью, объективностью и полной автоматизацией.

**Распознавание аналоговых элементов управления.** Система искусственного зрения, как показано на рис. 6.9, используется для распознавания и оцифровки аналоговых элементов управления для обнаружения сигнальных лампочек, положения стрелок на аналоговых приборах, определения положения переключателя или уровня трансформаторного масла, что позволяет автоматизировать считывание показаний без участия оператора, а также необходимо для предиктивного мониторинга с целью предупреждения неисправности оборудования.



Рис. 6.9. Распознавание сигналов аналоговых приборов искусственным зрением [6.20]

**Обнаружение посторонних объектов.** Применение машинного зрения позволяет проводить автоматизированное обнаружение посторонних предметов, которые могут вызвать сбой в работе подстанций.

**Контроль средств индивидуальной защиты.** Модели глубокого обучения все чаще используются для проверки наличия средств индивидуальной защиты в режиме реального времени (рис. 6.10). В опасных производственных условиях чрезвычайно важно усилить контроль за безопасностью на рабочем месте путем автоматизации проверки ношения защитного оборудования: касок, спецодежды, жилетов. ИИ анализирует видеозаписи с камер, чтобы автоматически отслеживать и сообщать ответственным сотрудникам о нарушениях требований техники безопасности.



**Рис. 6.10.** Распознавание средств индивидуальной защиты у персонала [6.20]

**Информирование о нарушениях техники безопасности.** Модели машинного зрения могут быть обучены для обнаружения конкретных событий, которые вызывают сбой или повышают риск аварий, включая интеллектуальный мониторинг и отчетность о неправомерных действиях, нарушающих протоколы безопасности. Автоматизированный мониторинг с помощью ИИ снижает затраты на проверку оборудования и предотвращает человеческие ошибки.

**Обнаружение возгорания и задымления.** Искусственное зрение с помощью обычных камер видеонаблюдения может распознавать возгорание и задымление на удаленных подстанциях. Автоматическое обнаружение пожара может быть совмещено с мониторингом индикаторов на панелях пожарной сигнализации.

**Контроль состояния разъединителей.** Знание информации о состоянии разъединителей на распределительной подстанции (рис. 6.11) крайне важно. Ошибки при эксплуатации и природные факторы могут привести к авариям, отключениям и повреждению оборудования.

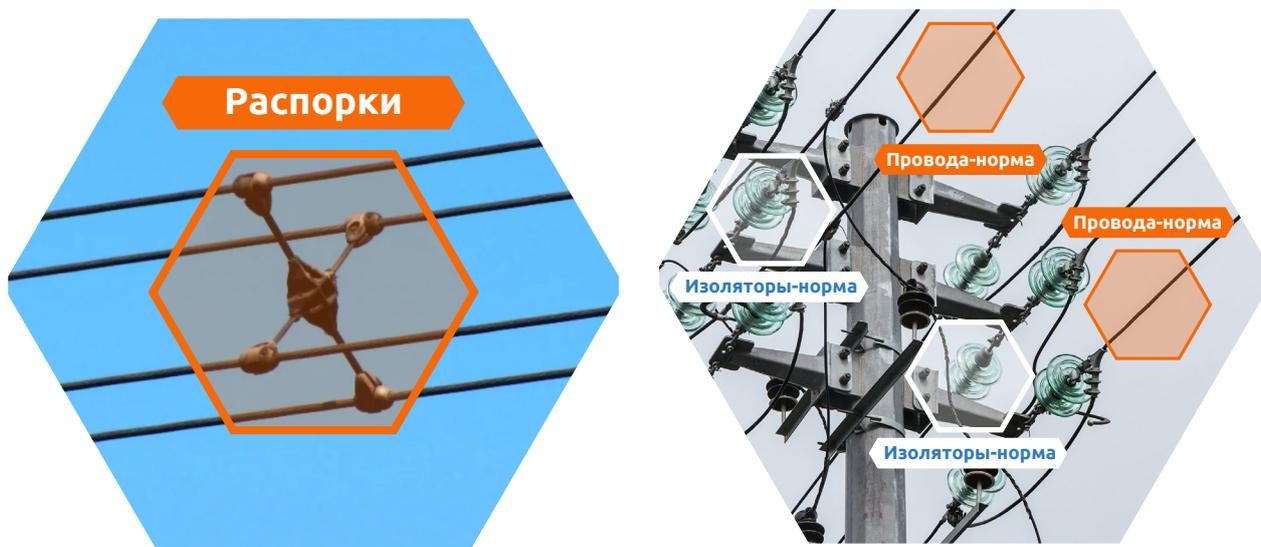


**Рис. 6.11.** Визуальный контроль разъединителей с помощью технологии машинного зрения [6.20]

Компьютерное зрение может применяться с использованием обычных камер видеонаблюдения, которые могут быть использованы для других целей, что приводит к снижению стоимости и упрощению установки и обслуживания оборудования по сравнению с отдельными датчиками для каждого разъединителя.

**Проверка состояния линий электропередач.** Инспектирование ЛЭП необходимо для непрерывной и надежной работы электросети. Ранее осмотр ЛЭП проводился исключительно вручную — технический персонал осматривал ЛЭП в полевых условиях. Чуть позднее осмотр стали проводить с помощью беспилотных летательных аппаратов. Однако ручной осмотр занимает большое количество времени и, соответственно, увеличивает стоимость обслуживания.

Использование компьютерного зрения в связке с дронами может эффективно автоматизировать задачи инспекции в энергетической и коммунальной отраслях. Примером является инспектирование распорок, проводов и линейных изоляторов ЛЭП (рис. 6.12).



**Рис. 6.12.** Инспекция распорок, проводов и изоляторов линий электропередачи [6.20]

Таким образом, машинное зрение с точки зрения промышленности — один из подходов в автоматизации и направлений развития взаимосвязанных технологий. Сочетание подходов и технологий машинного обучения, машинного зрения и робототехники открывает новые возможности для реализации самых современных идей, таких как умный завод.

В индустрии 4.0 технологии и машины соединяются в экосистему, известную как IoT. Интеграция машинного зрения с системами автоматизации повышает качество и объем собираемых данных, позволяя умному заводу стать реальностью. Машинное зрение — это развивающийся рынок, который, как ожидается, будет расти в долгосрочной перспективе и имеет многообещающее будущее благодаря простоте использования, а также увеличению способов его применения.

## Список использованных источников

6. 1. What is Computer Vision? The Complete Technology Guide for 2022. URL: <https://viso.ai/computer-vision/what-is-computer-vision/> (дата обращения: 19.04.2022).
6. 2. Ammar M., Haleem A., Javaid M. et al. Implementing Industry 4.0 technologies in self-healing materials and digitally managing the quality of manufacturing. 2022. V. 52. Part 4. P. 2285–2294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.248>.

6. 3. Charan A., Karthik Chowdary Ch., Komal P. The Future of Machine Vision in Industries — A systematic review. 2022. V. 1224. Iss. 1. 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1224/1/012027>.
6. 4. Association for Advancing Automation AI Applications Whitepaper. Intelligent Automation: 6 AI Applications that are Changing Industry. 2020.
6. 5. Chen P. Application of Machine Vision Technology in Intelligent Manufacturing. 2020.
6. 6. Xin Bi. Environmental Perception Technology for Unmanned Systems. Singapore: Springer, 2021. 252 p. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-8093-2>.
6. 7. Recognition System by Using Machine Vision Tools and Machine Learning Techniques for Mobile Robots. URL: <https://www.igi-global.com/chapter/recognition-system-by-using-machine-vision-tools-and-machine-learning-techniques-for-mobile-robots/269678> (дата обращения: 20.04.2022).
6. 8. Grand View Research. Machine vision market. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/machine-vision-market> (дата обращения: 05.05.2022).
6. 9. Trends and Lessons From the 2021 Machine Vision Market. URL: <https://www.automate.org/industry-insights/trends-and-lessons-from-the-2021-machine-vision-market#:~:text=While%20ongoing%20advances%20in%20every,learning%20and%20other%20advanced%20software> (дата обращения: 05.05.2022).
6. 10. Research and Markets. Machine vision market. URL: [https://www.researchandmarkets.com/reports/5438476/machine-vision-market-with-covid-19-impact-by?utm\\_source=dynamic&utm\\_medium=GNOM&utm\\_code=cpd8tf&utm\\_campaign=1359144+-+Global+%2414.7B+Machine+Vision+Market+Outlook%2c+2025+-+Increasing+Demand+for+AI+in+Machine+Vision%2c+Growing+Adoption+of+Industry+4.0&utm\\_ехес=joca220gnomd](https://www.researchandmarkets.com/reports/5438476/machine-vision-market-with-covid-19-impact-by?utm_source=dynamic&utm_medium=GNOM&utm_code=cpd8tf&utm_campaign=1359144+-+Global+%2414.7B+Machine+Vision+Market+Outlook%2c+2025+-+Increasing+Demand+for+AI+in+Machine+Vision%2c+Growing+Adoption+of+Industry+4.0&utm_ехес=joca220gnomd) (дата обращения: 05.05.2022).
6. 11. Javaid M., Haleem A., Singh R. et al. Exploring impact and features of machine vision for progressive industry 4.0 culture. V. 3. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100132>.
6. 12. Cognex. Introduction to Machine Vision. A guide to automating process & quality improvements. 2019. URL: <https://emptechgroup.com/wp-content/uploads/2022/02/Introduction-To-Machine-Vision.pdf> (дата обращения: 05.05.2022).
6. 13. Association for Advanced Automation. Guide to understanding Machine vision standards. 2018.
6. 14. Nardo M., Forino D., Murino T. The evolution of man-machine interaction: the role of human in Industry 4.0 paradigm. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1737592>.
6. 15. 10 Examples of Using Machine Vision in Manufacturing. URL: <https://www.devteam.space/blog/10-examples-of-using-machine-vision-in-manufacturing/> (дата обращения: 11.05.2022).
6. 16. Teledyne DALSA. Markets and Applications. URL: <https://www.teledynedalsa.com/en/learn/markets-and-applications/> (дата обращения: 11.05.2022).
6. 17. Qualitas technology. 9 Common Machine Vision Applications In Manufacturing. URL: <https://qualitastech.com/blog/quality-control-insights/9-common-applications-of-machine-vision-in-manufacturing/> (дата обращения: 11.05.2022).
6. 18. Oztemel E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>.
6. 19. LAC Conveyors & Automation. A Deep Dive Into Machine Vision Systems And Their Uses. URL: <https://www.lacconveyors.co.uk/machine-vision-systems-provided/> (дата обращения: 16.05.2022).
6. 20. Viso.ai. Computer Vision in Energy and Utilities Industry Applications. URL: <https://viso.ai/applications/computer-vision-in-energy-and-utilities-industry/> (дата обращения: 16.05.2022).

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем разделе альманаха рассмотрены различные технологии, составляющие совокупность сквозной цифровой технологии ИИ, а также их применение в электроэнергетическом секторе. Электроэнергетика является сильно регулируемой отраслью, и внедрение новых технологий ведется достаточно осторожно, потому что главным всегда остается обеспечение надежности и безопасности энергосистем. В связи с этим в заключение данного раздела мы хотели бы на основе анализа международного опыта обобщить рекомендации по преодолению барьеров внедрения технологий ИИ.

**Доступность данных.** Краеугольным камнем технологии ИИ являются данные. Получить выгоды от внедрения решений на базе ИИ (аналитики больших данных, цифровых двойников, сетей IoT и проч.) возможно только тогда, когда существует доступ к большим массивам разнородных данных. К ним относятся измерительная информация от датчиков на оборудовании, сведения о погоде, климате, данные потребителей, информация о нагрузке, производстве электроэнергии, подключениях и проч. Основные проблемы кроются в том, что данные контролируются различными организациями, а также могут иметь несовместимые форматы.

Эти проблемы могут быть решены за счет создания общедоступных репозиториев энергетических данных. Причем данные в них должны быть реальными, то есть полученными при эксплуатации оборудования или систем, и «незагрязненными», то есть должны применяться механизмы изолирования ошибочных данных. Такие репозитории данных позволят исследователям и промышленности быстрее реализовывать проекты по созданию цифровых продуктов для энергетиков, повысят достоверность получаемых результатов. Кроме этого, необходимо обеспечить надлежащий доступ к данным, содержащимся в государственных информационных системах, в том числе предусмотреть средства предварительной обработки и визуализации. Если энергетические данные становятся товаром, то следует разработать четкие и простые правила проектирования, чтобы обеспечить их быстрый сбор, безопасное хранение, простоту использования и справедливое распределение.

**Стандартизация и надлежащие практики.** В настоящий момент в России только разрабатываются полноценные комплексы стандартов в области ИИ. В то же время достаточно остро стоит проблема единой терминологии, форматов данных, интерфейсов. Отсутствие стандартов, рамок и правил ограничивает функциональную совместимость цифровых решений (например, цифровых двойников, компонентов систем IoT, машинного зрения), а также их взаимодействие между собой.

Эта проблема может быть решена за счет гармонизации международных стандартов и обобщения лучшего мирового опыта. Примером является разработка и внедрение в ЕЭС России серии стандартов ГОСТ Р 58651, основанных на международных стандартах МЭК 61968, 61970 и регламентирующих информационный обмен с применением CIM.

**Инфраструктура.** Реализация цифровых решений на базе ИИ требует наличия развитой информационно-коммуникационной инфраструктуры. Она включает системы хранения и обработки данных, вычислительные мощности, сети связи. При развертывании сенсорных сетей также сталкиваются с проблемами обеспечения должной пропускной способности сетей связи, высоким совокупным электропотреблением умных устройств. Вследствие этого одной из ключевых задач в рамках развития IoT является исследование технологий для повышения его энергоэффективности.

При инициации проектов по разработке и внедрению цифровых решений на базе ИИ необходимо предусматривать модернизацию или создание новой информационно-коммуникационной инфраструктуры. Недооценка этого фактора ведет к тому, что проект может быть не реализован из-за наличия «узкого места», например в виде ограничения пропускной способности беспроводной сети для датчиков на оборудовании. Целесообразно рассмотреть применение облачных систем, позволяющих масштабировать вычислительные мощности в зависимости от возникающих задач, а также активно внедрять платформы с открытым исходным кодом для управления данными.

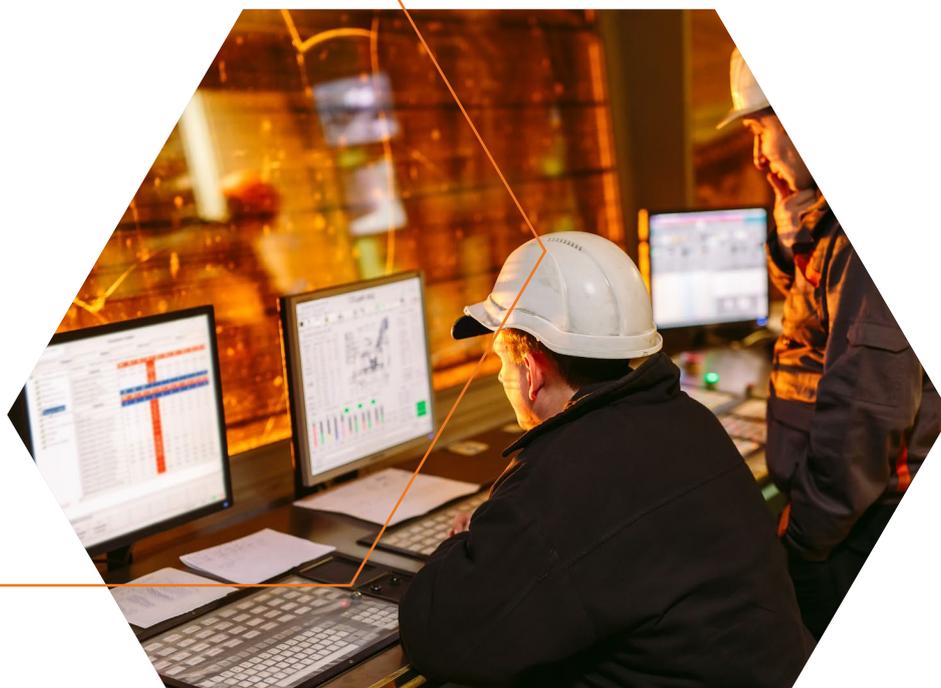
**Информационная безопасность.** Вопросы информационной безопасности являются критическими при реализации цифровых проектов, в том числе в области ИИ. Особенно остро эти вопросы стоят для компаний электроэнергетики, так как энергосистемы являются критической инфраструктурой.

Во-первых, для обеспечения информационной безопасности генерирующим, передающим и сбытовым организациям необходимо придерживаться согласованных политик безопасности при передаче и обработке данных. Во-вторых, необходимо обеспечить конфиденциальность частной информации: передаваемые данные должны быть зашифрованы или анонимизированы. В-третьих, нужно учитывать возможность атак через множественные активные периферийные устройства, используемые в современных информационных системах, в том числе беспроводные сенсорные сети, устройства видеонаблюдения и проч. Для предотвращения искажения данных может использоваться технология распределенного реестра.

**Подготовка кадров.** Новые технологии требуют соответствующей компетенции от работников, их использующих. К сожалению, наблюдается постоянная нехватка квалифицированных кадров в сфере аналитики данных, IoT. При этом специалисты, работающие в энергетике, должны сочетать знания в области ИИ со знаниями и опытом в инженерной и естественно-научной сферах.

Для расширения цифровых компетенций необходимо создание программ повышения квалификации, переподготовки для специалистов из смежных областей, а также обеспечение возможности стажировки на предприятиях и работы с реальными наборами данных. Компаниям следует создавать подразделения, которые могли бы заниматься поддержкой аналитики данных. Важно создавать испытательные стенды, имитирующие реальные условия в энергетических системах, где могли бы отрабатываться технологии цифрового двойника, IoT, больших данных.

Государство и компании должны играть активную роль в регулировании и формирования практик ответственного использования ИИ в энергетическом секторе, а также в создании благоприятной среды для раскрытия потенциала ИИ. Энергетическая отрасль только выиграет, если будет подходить к управлению технологиями, связанными с ИИ, проактивно и совместно. Расширение сотрудничества между субъектами энергетического сектора может включать в себя сотрудничество в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обмен передовым опытом по внедрению принципов ИИ и демонстрацию примеров использования. Такое сотрудничество способствует укреплению доверия между разработчиками, потребителями технологий ИИ, а также регулирующими органами. Руководителям энергетических компаний необходимо понять, как они могут воплотить принципы ИИ в конкретных проектах, операционной деятельности и процессах принятия решений. Целесообразно начинать это с изучения лучших мировых практик.





ЦИФРОВАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА

# РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ



## 8. ВВЕДЕНИЕ

В 2021–2022 годах на площадке ассоциации «Цифровая энергетика» продолжился обмен опытом развития и внедрения цифровых решений в электроэнергетической отрасли России. В настоящем разделе приведена информация о 17 проектах, рекомендованных к включению в альманах экспертной группой по формированию Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики. В основе представленных проектов лежат интеллектуальные технологии, позволяющие оптимизировать различные аспекты деятельности электроэнергетических компаний.

Большая доля проектов направлена на увеличение эффективности оперативной деятельности компаний за счет новых подходов к управлению проектами, организации работы производственного персонала, взаимодействия с потребителями. В основе приведенных цифровых решений лежат интеллектуальные технологии, применяющиеся, например, для анализа нормативной документации, повышения скорости и точности обработки данных энергосбыта, синхронизации информации из разных ИТ-систем и создания на предприятии единой цифровой среды.

Внедрение интеллектуальных систем учета потребляемых ресурсов привело к появлению целого класса цифровых решений, направленных на обработку массивов больших данных от приборов и выявления закономерностей и отклонений. Например, в представленных проектах анализ данных приборов учета используется для выявления нарушения работы и локализации аварий на электрических и тепловых сетях.

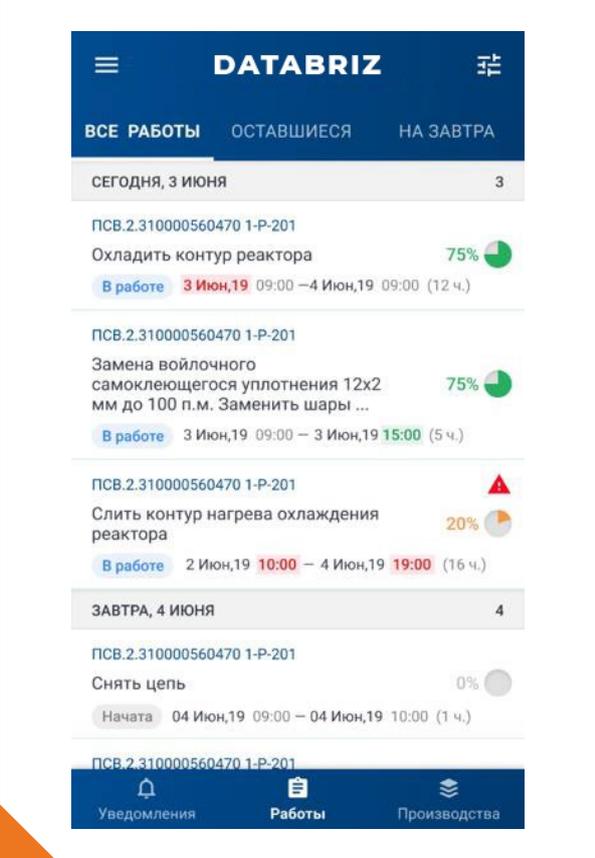
Среди представленных проектов значительная часть посвящена развитию новых систем мониторинга и диспетчеризации технологических и производственных процессов, контролю технического состояния оборудования. Здесь активно применяются элементы промышленного интернета вещей, систем дополненной реальности и машинного зрения. Внедрение таких решений позволяет уменьшить время устранения повреждений сетей и оборудования, снизить затраты на ресурсы.

Представляют интерес цифровые решения, в которых непосредственно применяются технологии машинного обучения. Например, один из проектов посвящен отработке технологий сбора и анализа данных от устройств синхронизированных векторных измерений в онлайн-режиме. В рамках другого проекта методы машинного обучения используются для подготовки оперативных и краткосрочных прогнозов вырабатываемой мощности солнечных и ветровых электростанций. Разработанные программные решения и комплексы повышают надежность и стабильность эксплуатации ЭЭС.

Продолжены системные проекты по внедрению управления спросом и созданию единого информационного пространства с использованием CIM. Проект по управлению спросом показал, что для агрегаторов формируются стимулы к созданию цифровых платформ для агрегирования потребителей и управления готовностью и разгрузкой объектов. В рамках проекта по внедрению единой информационной модели проведен ряд пилотных проектов с компаниями электроэнергетической отрасли по переводу информационного обмена на CIM.

Можно отметить, что в проектах российских компаний, представленных в альманахе, активно используются технологии искусственного интеллекта: аналитика больших данных, цифровые двойники, интернет вещей, машинное зрение и др. Полагаем, что примеры из международного опыта и приведенная в настоящем разделе информация способствуют активному проникновению технологий ИИ во все аспекты деятельности энергетических компаний.

## 9. 000 «ДАТАБРИЗ»: ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ



The screenshot displays the DATABRIZ mobile application interface. At the top, there is a navigation bar with the logo 'DATABRIZ' and a hamburger menu icon on the left, and a list icon on the right. Below the navigation bar, there are three tabs: 'ВСЕ РАБОТЫ', 'ОСТАВШИЕСЯ', and 'НА ЗАВТРА'. The main content area shows a list of tasks for 'СЕГОДНЯ, 3 ИЮНЯ' (Today, June 3) and 'ЗАВТРА, 4 ИЮНЯ' (Tomorrow, June 4). Each task includes a project ID (ПСВ.2.310000560470 1-P-201), a task description, a progress indicator (a green circle with a percentage), and a status bar indicating the task is 'В работе' (In progress) with specific start and end times and duration. For example, 'Охладить контур реактора' is 75% complete and scheduled for June 3, 09:00 to June 4, 09:00 (12 hours). The bottom navigation bar contains three icons: 'Уведомления' (Notifications), 'Работы' (Tasks), and 'Производства' (Production).

<b>Тип проекта</b>	организационный
<b>Стадия зрелости</b>	тиражирование и масштабирование
<b>Платформа</b>	«Датабриз»
<b>Применяемые СЦТ</b>	большие данные, предиктивная аналитика

Целью цифрового управления проектами в энергетике является качественная организация процессов реализации проектов, подведомственных Министерству энергетики Российской Федерации. Проект направлен на решение таких задач, как повышение эффективности операционной деятельности, инвестирование в новые классы активов и развитие новых направлений услуг.

Актуальность данного проекта компании ООО «Датабриз» заключается в полностью отечественной программной платформе собственной разработки с открытым исходным кодом — «Датабриз: платформа управления проектами», которая включена в единый реестр отечественного ПО и является отечественным аналогом таких иностранных программных продуктов проектного управления, как Oracle Primavera и MS Project.

Пользователями платформы цифрового управления проектами являются более 20 организаций, в том числе компании энергетического сектора АО «ЭСК Русгидро» и ООО «ТСК Мосэнерго».

Цифровое управление проектами позволяет увеличивать эффективность бизнес-процессов сквозного управления проектами в организации. Ожидаемые экономические эффекты от внедрения данного инструмента представлены в таблице 9.1.

**Таблица 9.1.** Ожидаемые экономические эффекты для потребителей

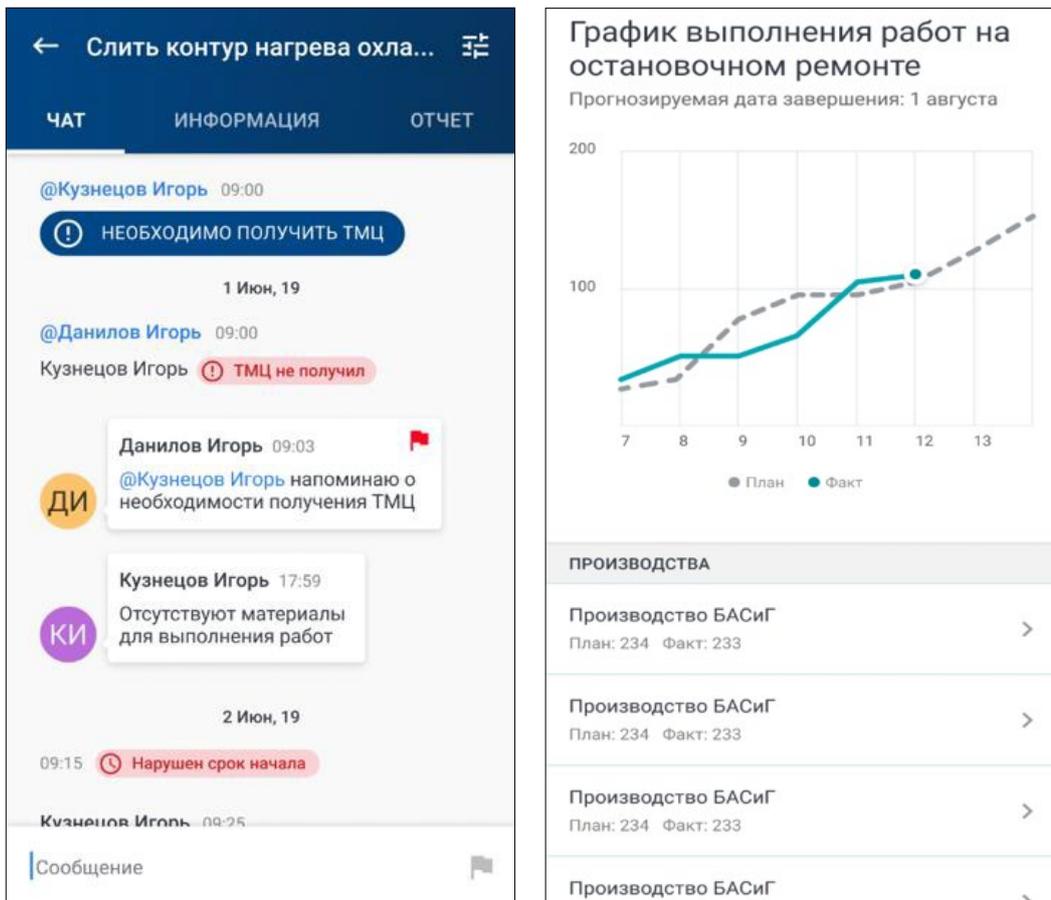
№	Эффект	Описание
1	Повышение операционной эффективности	Исключение штрафов за просрочку внедрения проектов Повышение привлекательности проектов в энергетике
2	Повышение эффективности работы сотрудников	Повышение до 85% эффективности рабочего времени сотрудников (наглядная картина полезного рабочего времени сотрудников) Онлайн-статус хода выполнения работ по каждому проекту
3	Цифровая трансформация	Рост на 10–15% производительности труда за счет экономии времени во всех сопутствующих строительству процессах (согласования, приемка работ, оплата работ)
4	Снижение стоимости строительства	Снижение от 5% общих затрат по проекту за счет прозрачности процессов строительства и понимания узких мест, которые постоянно устраняются за счет объективности информации и возможности оказания своевременного влияния на ситуацию
5	Повышение качества обслуживания	Снижение риска блэкаута Снижение стоимости электроэнергии
6	Дополнительные эффекты	Повышение безопасности труда и контролируемости процессов, выполняемых на опасных производственных объектах Импортозамещение иностранных программных продуктов, которые являются частью строительных процессов в компаниях (MS Project, Primavera)

Основные функциональные возможности платформы цифрового управления проектами представлены на рис. 9.1.



**Рис. 9.1.** Функциональные возможности приложения цифрового управления проектами

Контроль за ходом реализации различных проектов в компании осуществляется в режиме онлайн с использованием интерфейса приложения, данные в которое заносятся проектными командами. Пример интерфейса приложения приведен на рис. 9.2.



**Рис. 9.2.** Интерфейс приложения цифрового управления проектами

В приложении цифрового управления проектами формируется сводная статистика по каждому проекту с возможностью детализации до уровня бизнес-процесса, что позволяет сократить общие сроки выполнения работ и затраты на их выполнение. Другими преимуществами цифрового управления проектами являются:

- ▶ формирование поручений и задач в едином информационном поле с сохранением истории всех поручений и отслеживание их выполнения;
- ▶ возможность оперативного управления ресурсами предприятия;
- ▶ автоматическое формирование и актуализация отчетности;
- ▶ возможность интеграции с ERP-системами.

Развертывание платформы цифрового управления проектами в организации составляет от 1 до 3 месяцев в зависимости от конкретного кейса, некоторые из которых, по итогам промышленного внедрения, приведены в таблице 9.2.

**Таблица 9.2.** Примеры внедрения цифрового управления проектами

№	Кейс	Решение	Эффект
1	Необходимо упростить формирование сводной отчетности о приоритетных проектах организации, так как в них участвуют различные подразделения, которые ведут проекты в своих форматах	Каждое подразделение заносит в систему цифрового управления проектами показатели по своим задачам. Информация по всем проектам сводится на экране руководителя с возможностью детализации до уровня задач	Платформа цифрового управления проектами позволила сократить время сбора отчетов по приоритетным проектам с 45 до 1 дня
2	Повышение эффективности контроля проектной деятельности, так как данные о проектах содержатся в различных системах документооборота, бюджетирования, управления персоналом и управления производством в форматах Word и Excel	Система загружает данные из множества систем, рассчитывает сводные показатели и отображает их в виде наглядной инфографики, которая позволяет контролировать ход ведения проектов	Трудозатраты на сбор и перенос данных о проектах в единую систему контроля производственных процессов сократились в пять раз
3	Необходимость оптимизации формирования сводного отчета по большому количеству одновременно активных проектов, ведущихся в формате Project	Система отображает сводный отчет по каждому проекту с ежедневным обновлением статуса. Применение предиктивной аналитики позволяет предупреждать о риске нарушения сроков реализации проекта	Сокращение трудозатрат за счет автоматического формирования и актуализации данных по проектам
4	Необходимость оптимизации процесса согласования между различными подразделениями, принимающими участие в проектной деятельности	На этапе планирования проекта все подразделения самостоятельно создают задачи и обсуждают их в публичных чатах в системе. На общих встречах получившийся план-график обсуждается и утверждается	Сокращение времени на согласование и общее уменьшение сроков реализации проекта
5	Необходимость взыскания дебиторской задолженности контрагентов в судебном порядке, претензии налоговой по «должной осмотрительности» и возврате НДС	Система выявила «проблемных» контрагентов до возникновения дебиторской задолженности, автоматически сформировала досудебные претензии, а также архив проверок	Система снизила финансовые риски при работе с контрагентами



## 10. ПРОЕКТЫ ООО «СИБИРСКАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ»

### 10.1. «Мобильные обходы электростанций»

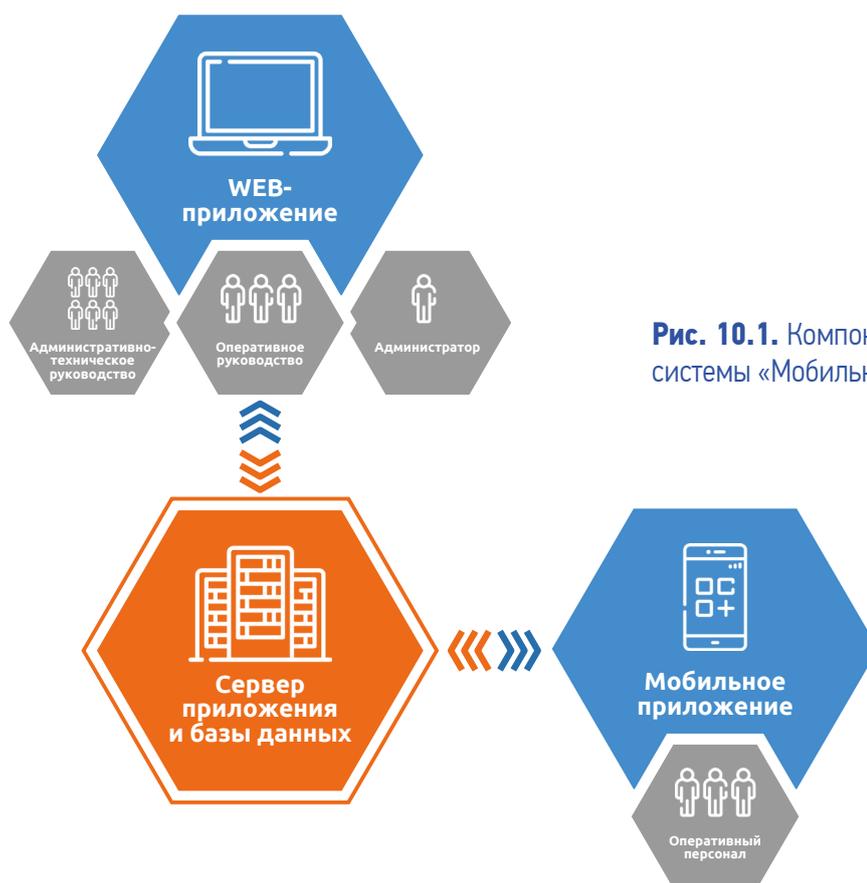


<b>Тип проекта</b>	инфраструктурно-организационный
<b>Стадия зрелости</b>	промышленная эксплуатация
<b>Платформа</b>	MS SQL Server, ML Services, Android
<b>Применяемые СЦТ</b>	мониторинг работы производственных активов

Основной целью проекта компании ООО «Сибирская генерирующая компания» (далее — ООО «СГК») «Мобильные обходы электростанций» является повышение эффективности работы производственного персонала посредством решения следующих задач:

- ▶ повышение оперативности выявления отклонений параметров и дефектов в работе оборудования;
- ▶ обеспечение информацией руководящего состава по результатам обходов с целью выработки дальнейших управленческих решений, включая процессы планирования технического осмотра и ремонта оборудования;
- ▶ усиление контроля за выполнением графика совершения обходов и осмотров оборудования;
- ▶ сокращение трудозатрат на выполнение обходов и осмотра оборудования;
- ▶ повышение качества выполнения обходов;
- ▶ увеличение уровня вовлеченности оперативного персонала в процессы создания безопасных условий труда;
- ▶ стандартизация и оптимизация совершения обходов и осмотров;
- ▶ внедрение электронного документирования результатов обходов и передачи данных об отклонениях в соответствующие подразделения.

Срок реализации проекта «Мобильные обходы электростанций» составляет от 3 до 6 месяцев. В промышленную эксплуатацию система введена во всех цехах электростанции ООО «СГК» — химическом, котельном, турбинном, тепловой автоматики и измерений, электрическом, топливно-транспортном. Электронная система «Мобильные обходы» включила 217 маршрутов обхода для осмотра более 500 точек на производственном объекте. Архитектура решения системы «Мобильные обходы» электростанций приведена на рис. 10.1.



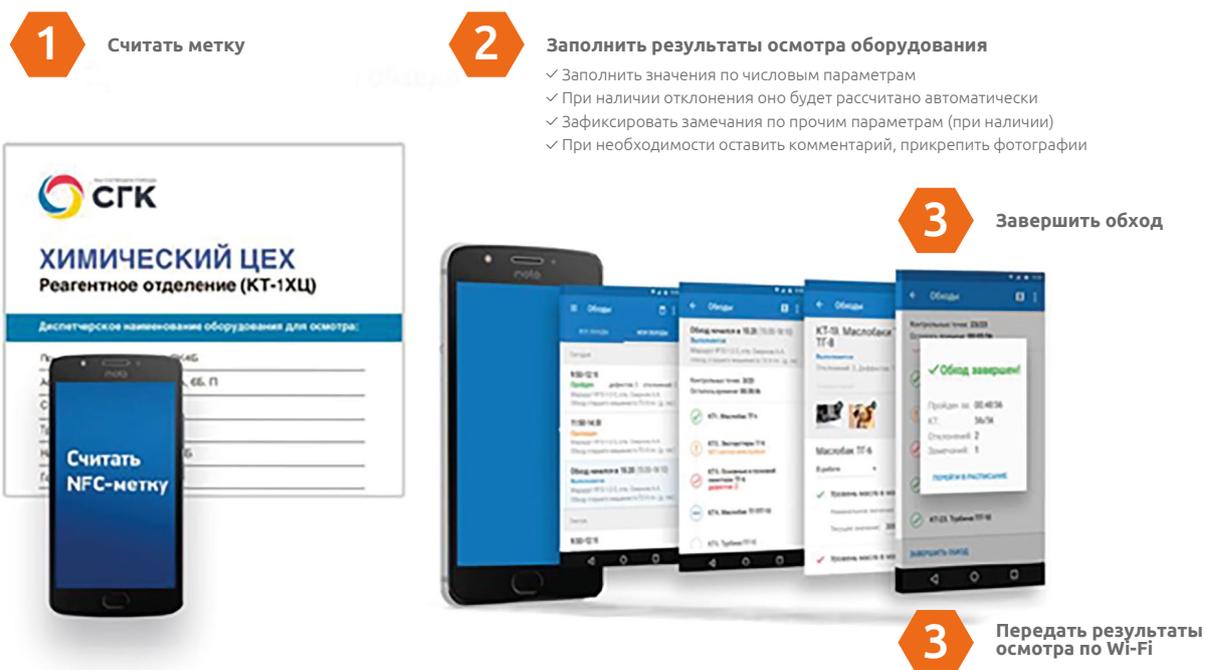
**Рис. 10.1.** Компоненты электронной системы «Мобильные обходы»

Электронная система «Мобильные обходы» охватывает все этапы процесса обхода и осмотра технологического оборудования, включающие:

- ▶ формирование и отслеживание выполнения заданий, графиков выполнения работ;
- ▶ сопровождение производственного персонала на маршрутах обходов;
- ▶ выявление отклонений и дефектов;
- ▶ измерение и фиксацию параметров работы технологического оборудования;
- ▶ анализ и контроль производственных процессов.

В рамках проекта разработаны ведомости параметров оборудования с NFC-меткой, которые закрепляются на оборудовании или в непосредственной близости от него. Использование ведомостей параметров с NFC-метками делает процедуру обхода максимально стандартизированной и минимизирует влияние человеческого фактора. В приложении электронной системы «Мобильные обходы» отображается план обходов на предстоящую смену и перечень последних замечаний, которые необходимо устранить. Носимое мобильное устройство подсказывает обходчику стандартный маршрут, который подгружается из справочника системы, с указанием контрольных точек. После считывания NFC-меток контрольных точек маршрута система предлагает заполнить ведомость контролируемых параметров. При наличии замечаний в работе оборудования из выпадающего списка можно выбрать тип замечания, а также дополнить описание фотографией. По итогам проведения обходов и выявленных на оборудовании замечаний в системе формируются наглядные аналитические отчеты в различных разрезах.

Процедура выполнения обхода с помощью системы «Мобильные обходы» визуализирована на рис. 10.2.



**Рис. 10.2.** Процедура выполнения обхода с использованием мобильного приложения

В архитектуру электронной системы «Мобильные обходы» также встроен журнал дефектов с использованием единой конфигурации баз данных и сохранением кодов и иерархии оборудования из справочника корпоративной информационной системы технического обслуживания и ремонта оборудования. Механизм работы с замечаниями и дефектами позволяет контролировать все этапы — от выявления до подтверждения результатов устранения. В целом основные функциональные возможности системы «Мобильные обходы» представлены в таблице 10.1.

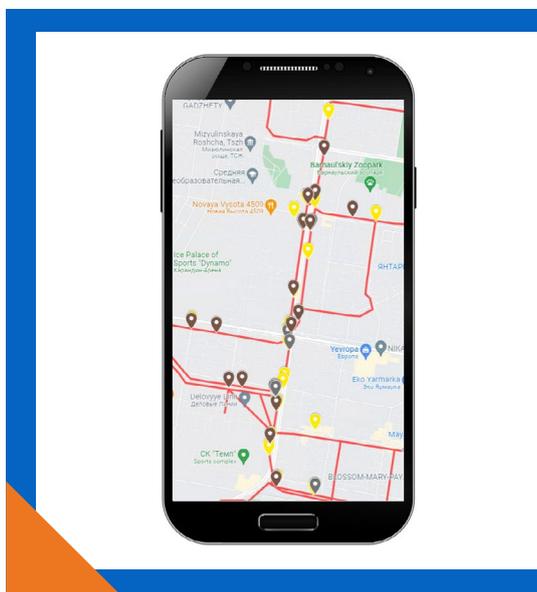
**Таблица 10.1.** Функционал системы «Мобильные обходы» для различных типов пользователей

№	Пользователь	Описание функционала
1	Оперативное руководство	<p>Просмотр текущей информации по предстоящим обходам на смену</p> <p>Просмотр результатов выполнения обходов</p> <p>Просмотр информации по статусу выявленных замечаний</p>
2	Административно-техническое руководство	<p>Аналитическая информация по:</p> <p>параметрам работы оборудования</p> <p>замечаниям, отклонениям</p> <p>выполнению графика обходов</p> <p>формирование различных отчетов</p> <p>уведомлению по заданным правилам</p>
3	Администратор	<p>Создание, актуализация справочников (оборудование, маршруты, параметры, периодичность обходов)</p> <p>Администрирование пользователей</p>

По итогам промышленного внедрения на производственном объекте системы «Мобильные обходы» получены следующие ключевые результаты:

- ▶ улучшение качества обходов в части исполнения графика обходов и результативности каждого осмотра за счет применения единой системы справочников оборудования, видов замечаний, индивидуальных карточек оборудования, а также механизмов контроля;
- ▶ сокращение трудозатрат оперативного персонала на фиксацию результатов измерений и осмотров в процессе обхода и трудозатрат руководителей на анализ данных в 1,5 раза;
- ▶ повышение оперативности передачи данных об отклонениях и дефектах;
- ▶ увеличение уровня безопасности на маршруте за счет стандартизации маршрутов обходов;
- ▶ повышение эффективности управления, в том числе при планировании технического обслуживания и ремонта, за счет доступности аналитических данных высокого качества и надежности.

## 10.2. «Мобильный тепловой инспектор»

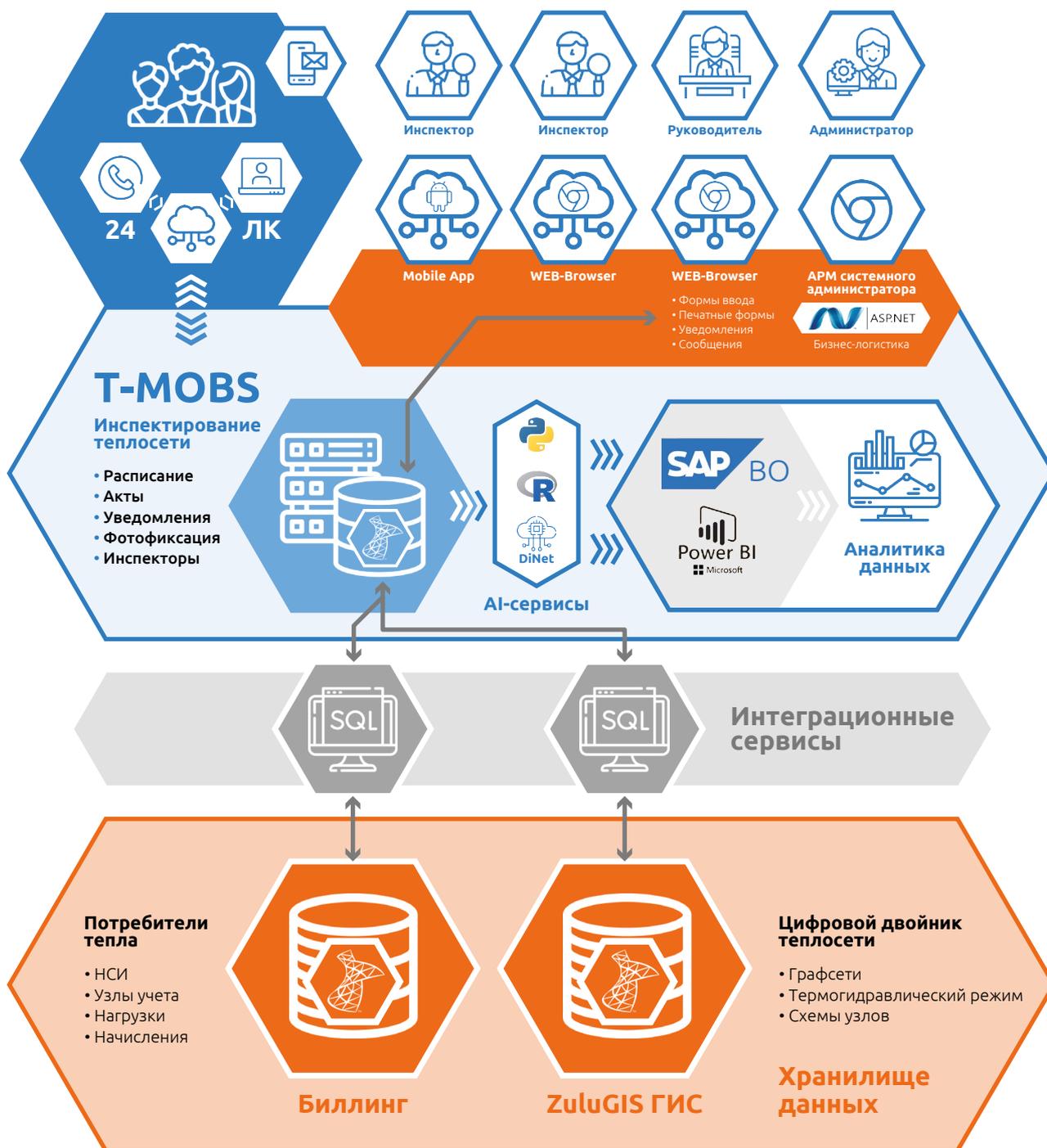


<b>Тип проекта</b>	инфраструктурно-организационный
<b>Стадия зрелости</b>	тиражирование и масштабирование
<b>Платформа</b>	MS SQL Server, ML Services, Power BI/SAP BO, Android
<b>Применяемые СЦТ</b>	мониторинг работы производственных активов, роботизированная автоматизация процессов

«Мобильный тепловой инспектор» (Т-МОБИС) представляет собой корпоративное приложение ERP-уровня, взаимодействие с которым осуществляется как с мобильных устройств, так и со стационарных рабочих станций с доступом через веб-интерфейс. Ключевыми целями внедрения системы «Мобильный тепловой инспектор» во всех теплосетевых подразделениях Группы «СГК» являются:

- ▶ перевод документооборота с потребителями тепловой энергии в электронный вид;
- ▶ унификация процессов тепловых инспекций, введение общего стандарта работы;
- ▶ автоматизация формирования отчетности и аналитики;
- ▶ повышение эффективности работы тепловых инспекторов;
- ▶ улучшение качества наладки, повышение надежности тепловых узлов, усиление контроля за режимами работы теплосетевого оборудования.

На рис. 10.3 визуализирована архитектура системы Т-МОБИС. Объекты, которые охватывает система «Мобильный тепловой инспектор», включают источники теплоснабжения — предприятия Группы «СГК» с суммарной тепловой мощностью 26 тыс. Гкал/час, обслуживаемые тепловые сети с общей протяженностью более 10 тыс. км, 48 тыс. объектов теплоснабжения, в которых обеспечиваются тепловой энергией 5 млн потребителей. Контроль и работа с потребителями осуществляется группой тепловых инспекторов численностью 250 сотрудников.



**Рис. 10.3.** Архитектура T-MOБИС

Внедрение системы «Мобильный тепловой инспектор» обеспечило перевод документов в электронный вид и организацию электронного документооборота с потребителями тепловой энергии. В рамках реализации проекта разработаны электронные акты унифицированной формы, заполняемые непосредственно на мобильном устройстве, с возможностью отправить контрагенту по электронной почте. Таким образом, в электронный вид переведено до 95% всех документов, оформляемых тепловыми инспекторами в одной из теплоснабжающих компаний.

Автоматизированная обработка обращений потребителей обеспечивается через «Единое окно СГК» — программный модуль обращений системы электронного документооборота (МО СЭД) и личный кабинет потребителя (рис. 10.4). Таким образом, функционал приложения T-MOБИС позволяет повысить прозрачность работы с обращениями контрагентов и организовать эффективное взаимодействие с потребителями с помощью автоматизированного информирования по статусам выполнения обращений.



**Рис. 10.4.** Принципиальная схема автоматизированной обработки обращений потребителей

Для всех видов электронных документов предусмотрена печатная форма с QR-кодом, обеспечивающим быстрый поиск печатных документов в общей базе, с возможностью подписания документов электронной подписью.

В целях унификации и стандартизации процессов инспекции тепловых сетей взамен бумажных версий внедрены унифицированные электронные формы журналов, документов и маршрутных листов, а также обеспечена автоматизация передачи данных между системами за счет бесшовной интеграции с корпоративными базами биллинга и электронными схемами тепловых сетей.

В рамках проекта проведена работа по разработке комплекса документации, регламентирующей стандарты работы тепловой инспекции, включая типовую организационную структуру, стандартный функционал и нормативы численности сотрудников. Составлены унифицированные блок-схемы и описания основных бизнес-процессов. В электронной системе Т-МОБИС унифицированы более 40 видов справочников, 24 вида документов, 4 вида журналов, должностные инструкции теплового инспектора, порядок формирования сменного задания (маршрута) и контроля исполнения, методика работы с документами.

За счет реинжиниринга процессов тепловой инспекции в рамках реализации проекта по внедрению системы «Мобильный тепловой инспектор» обеспечены:

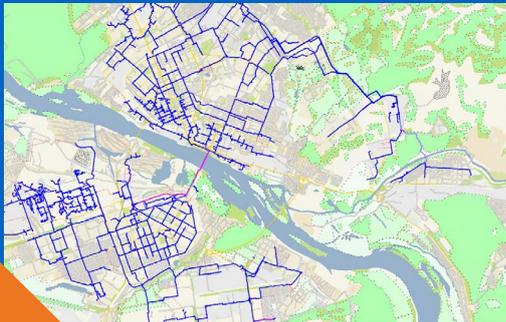
- ▶ формирование планов посещения объектов (маршрутный лист) в электронном виде на любой период;
- ▶ контроль за ежедневным утверждением маршрутных листов непосредственным руководителем;
- ▶ отслеживание системой исполнения маршрутного листа, предусмотрена геолокация сотрудников и визуализация на карте;
- ▶ автоматизированный перенос невыполненных пунктов маршрутного листа на другой день;
- ▶ автоматизированный контроль за исполнением сроков устранения замечаний.

Таким образом, за счет использования унифицированных справочников, автоматизированного заполнения и передачи данных, а также доступа к схеме тепловой сети через мобильное приложение повысилась эффективность работы тепловых инспекторов и сократились временные затраты на обследование объектов при одновременном росте количества тепловых узлов.

Интеграция с электронной схемой тепловых сетей геоинформационной системы ZuluGIS и биллинговой системой позволила повысить качество гидравлических расчетов. Автоматизированный перенос фактических данных из паспортов тепловых узлов Т-МОБИС в поля с исходными данными в расчетную модель тепловой сети в ZuluGIS обеспечивает:

- ▶ актуализацию нагрузок потребителей на схеме геоинформационной системы;
- ▶ параметры оборудования теплового пункта;
- ▶ возможность выполнения поверочного расчета на основе фактических данных.

### 10.3. Система мониторинга локального термогидравлического режима тепловой сети



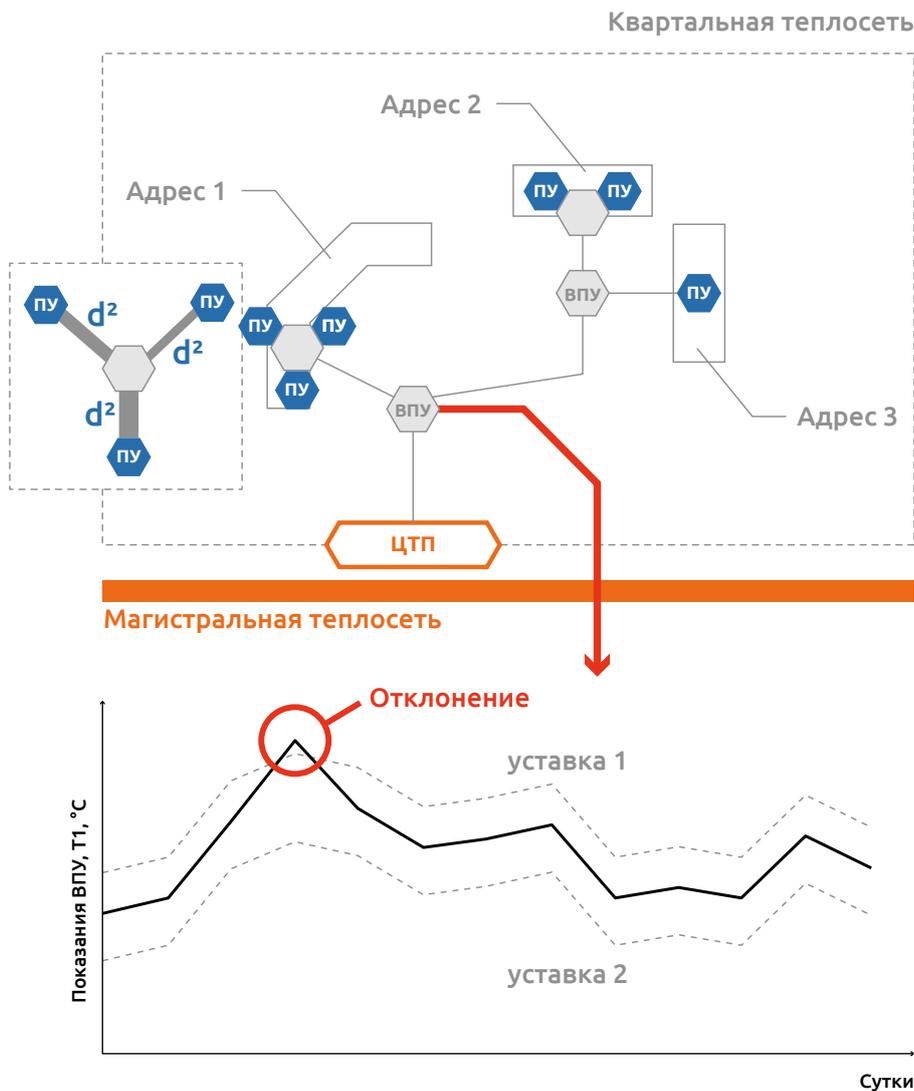
<b>Тип проекта</b>	инфраструктурно-организационный
<b>Стадия зрелости</b>	тиражирование и масштабирование
<b>Платформа</b>	MS SQL Server, Open Source
<b>Применяемые СЦТ</b>	мониторинг работы производственных активов, новые производственные технологии

Система мониторинга локального термогидравлического режима тепловой сети (система мониторинга тепловой сети, DiNET) — это система поддержки принятия решений компании ООО «СГК» в процессах передачи и распределения тепловой энергии. При проведении интегральных наладочных, поверочных и конструкторских расчетов тепловой сети в используемых корпоративных геоинформационных системах неопределенности в проектных параметрах участков тепловой сети распределяются по всем ее узлам. Таким образом, современные геоинформационные системы недостаточны для локализации отклонений параметров теплоснабжения и тепловых потерь, что и обусловило необходимость нового решения.

Система мониторинга тепловой сети DiNET обеспечивает:

- ▶ ежесуточный мониторинг теплоснабжения в квартальных и магистральных тепловых сетях;
- ▶ локализацию выявленных отклонений параметров на схеме тепловой сети;
- ▶ сигнализацию о выявленных отклонениях эксплуатационному персоналу;
- ▶ проверку эксплуатационным персоналом причин отклонений;
- ▶ принятие оперативных мер и формирование планов по устранению отклонений.

Принцип работы DiNET заключается в том, что виртуальные приборы учета размещаются в тепловых камерах и других местах сочленения участков трубопровода вдоль графа тепловой сети. Виртуальные приборы учета измеряют дисперсию (размах) значений T1 восстановленного режима. Отклонение идентифицируется в месте установки виртуального прибора учета в случае, если виртуальный прибор учета показывает значение выше уставки (рис. 10.5).



**Рис. 10.5.** Принцип выявления отклонений системой мониторинга тепловой сети

Система мониторинга тепловой сети является частью инфраструктуры Т-МОБИС и реализована с помощью технологий с открытым исходным кодом. Она обладает следующими спецификациями:

- ▶ микросервисная архитектура;
- ▶ интеграция с корпоративными хранилищами данных;
- ▶ функционирование в режиме недельной ретроспективы;
- ▶ учитывает нормы приказа Минэнерго России от 30 декабря 2008 года № 325;
- ▶ учитывает метеорологические параметры наружного воздуха и грунта.

Преимущества внедрения системы мониторинга тепловой сети:

- ▶ автоматический анализ данных приборов учета по районам тепловых сетей для выявления отклонений по температуре на отдельных узлах квартальных тепловых сетей (объекты, камеры, центральный тепловой пункт) в течение отопительного зимнего периода;
- ▶ целевая проверка объектов с отклонениями параметров сотрудниками технических служб ТСК;
- ▶ хранение базы всех выявленных замечаний и использование ее для дальнейшей аналитики по выявлению отклонений.

## 11. 000 «Центр 2М»: мобильный оператор для управления подключениями умных устройств



<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный/новые рынки
<b>Стадия зрелости</b>	коммерческая эксплуатация
<b>Используемое ПО</b>	IoT M2M платформа (управление SIM-картами и LPWAN-устройствами)
<b>Применяемые СЦТ</b>	интернет вещей, новые коммуникационные технологии

**Актуальность проекта.** Энергетические объекты активно оснащаются интеллектуальными устройствами для мониторинга и анализа их работы. При этом используются различные технологии радиодоступа, протоколы связи, информационные системы для сбора данных и управления большим количеством устройств. При использовании нестационарной связи эксплуатанты сталкиваются с перепадами уровня радиосигнала и неоднородностью качества покрытия у конкретного оператора связи в одной локации, что требует дублирования и резервирования каналов связи путем подключения второго оператора. Наличие нескольких платформ управления устройствами, которые предоставляются разными операторами связи, обуславливает кратное увеличение времени персонала для осуществления контроля, оценки достоверности, индивидуальной настройки частоты сбора данных, интеграции этих платформ с информационными системами заказчика. В связи с этим актуальным является создание инструментов унифицированного подключения интеллектуальных устройств, а также обеспечение контроля и управления ими из единого центра.

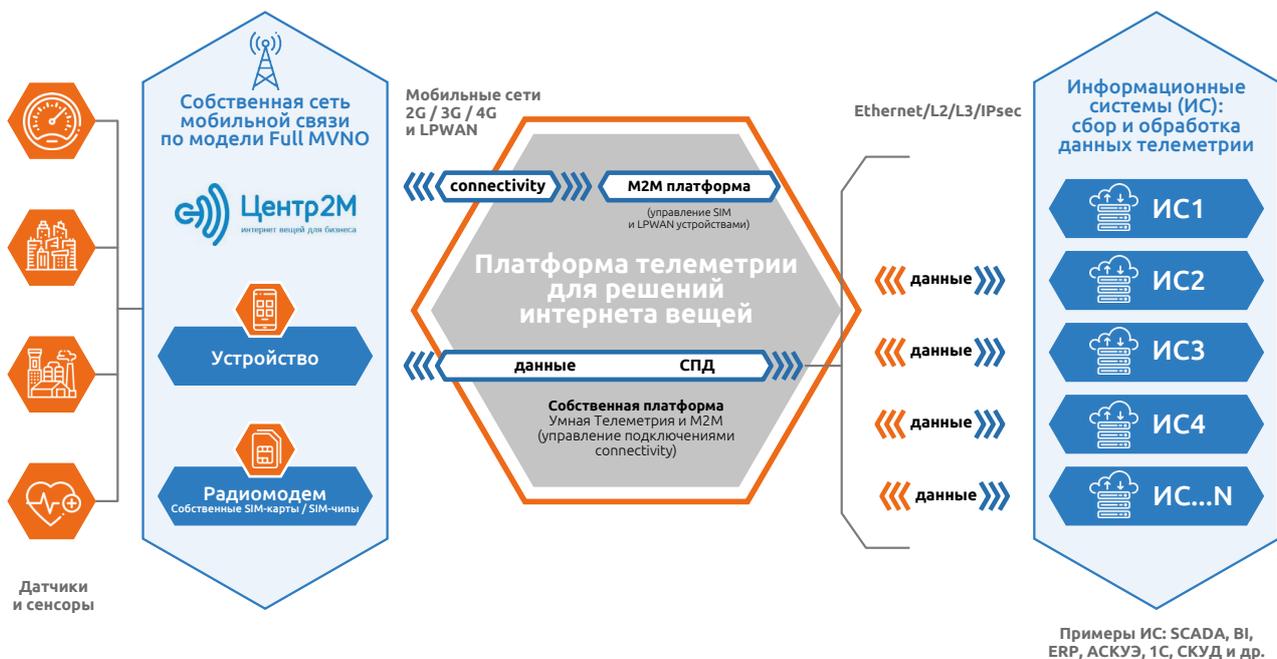
На предыдущих этапах реализации проекта<sup>14</sup> было разработано комплексное решение по управлению информационными потоками от умных устройств. Решение внедрено в нескольких энергетических компаниях. В настоящем разделе приведена информация о развитии проекта в 2021–2022 годах.

**Цель проекта** — обеспечение дистанционного управления, мониторинга и работы технологических объектов на базе виртуальной мобильной сети связи с максимальным радиопокрытием и наилучшей доступностью сети на всей территории России.

**Основные задачи**, решаемые при реализации проекта, — повышение эффективности операционной деятельности компаний и обеспечение доступности и целостности данных.

В основе проекта лежит платформа межмашинного взаимодействия (machine-to-machine, M2M) собственной разработки, а также модули интеграции с программным обеспечением других производителей, представленных на рынке (оборудование узла связи MVNO). Структура цифровой платформы показана на рис. 11.1. Принцип работы заключается в автоматическом переключении устройств из одной сети в другую в случае аварии или нарушения работы исходной сети. Поддерживается работа устройств в сетях 2G/3G/4G и сетях LPWAN. ПО включено в реестр отечественного ПО. В совокупности с технологическим решением от российского производителя (НТЦ «Протей») рассматриваемое ПО позволяет обеспечить импортозамещение ИТ-продуктов в условиях санкционных ограничений.

<sup>14</sup> Информацию о начальном этапе реализации проекта см. в альманахе Ассоциации «Цифровая энергетика» за 2020 год. URL: <https://www.digital-energy.ru/activity/almanac/>.



**Рис. 11.1.** Структура цифровой платформы

Цифровое решение находится в коммерческой эксплуатации на предприятиях энергетической отрасли и проходит постоянную доработку и оптимизацию под персональные нужды конкретных компаний-заказчиков (АО «ЭК Восток», ПАО «СУЭНКО», АО «Интертехэлектро», ООО «Корпорация СТС»).

В 2021–2022 годах обеспечена работа системы на всей территории России в сетях всех федеральных и крупнейших региональных операторов, услуги M2M доступны в Республике Крым. Увеличено число абонентов за счет:

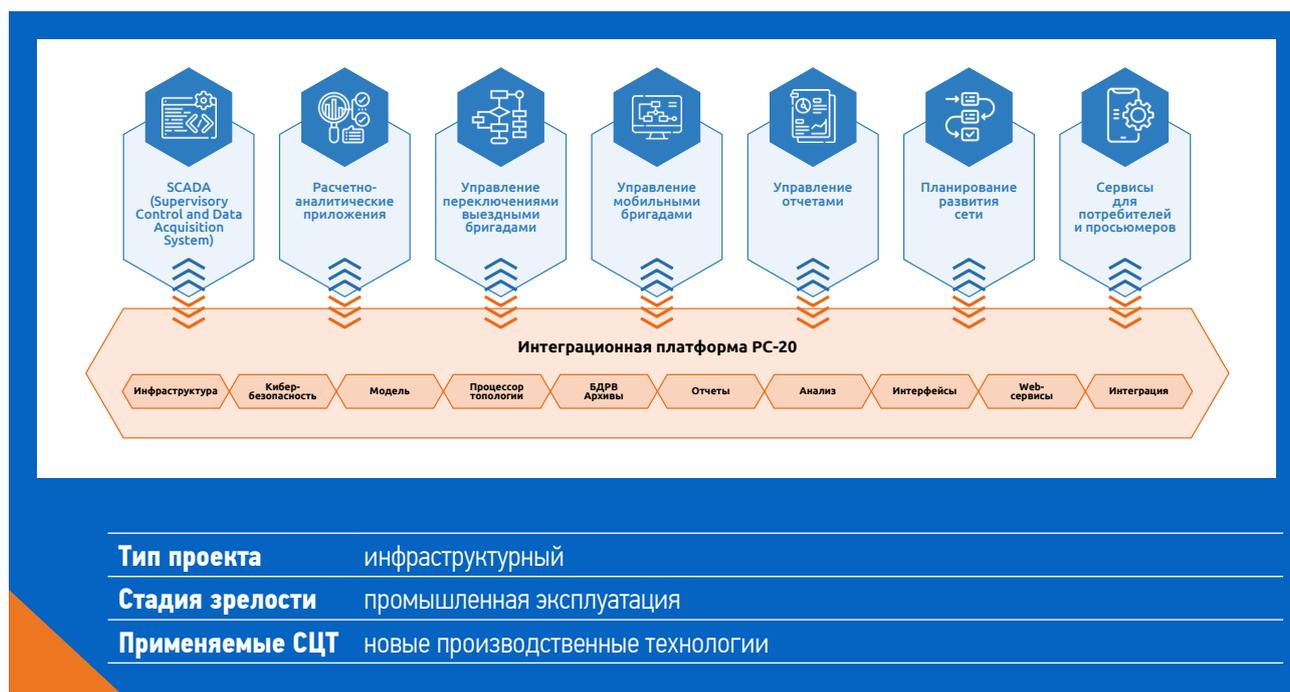
- ▶ восьми новых компаний энергетического комплекса, использующих мобильного оператора для передачи и управления данными приборов учета, оборудования подстанций, спецтехники и проч.;
- ▶ производителя радиоэлектронного оборудования, оснащающего интеллектуальные приборы учета электроэнергии модулями для передачи данных по сетям подвижной связи;
- ▶ компаний каршеринга, использующих мобильного оператора для надежного геопозиционирования и мониторинга состояния автомобиля;
- ▶ разработчиков охранных систем;
- ▶ эксплуатантов сетей вендинговых автоматов.

**Основные эффекты от внедрения проекта для бизнеса** заключаются в сокращении эксплуатационных затрат на услуги связи и на выезд эксплуатационно-технического персонала; **для потребителей** — в повышении качества обслуживания.

В перспективе целесообразно внедрение разработанных систем в теплоэнергетике, водоснабжении и ЖКХ, банковском секторе. Планируется производство приборов учета с функцией связи M2M.

К основным барьерам активного внедрения следует отнести отсутствие финансирования закупки интеллектуальных телеметрических устройств (адресные инвестиционные программы), слабую межотраслевую кооперацию и отсутствие государственного заказа на производство интеллектуальных устройств.

## 12. ПРОЕКТ ПАО «РОССЕТИ» ПО СОЗДАНИЮ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ



- ▶ необходимость предоставления руководству дочерних и зависимых обществ (ДЗО) и ПАО «Россети», а также внешним организациям (Минэнерго России, СО ЕЭС и др.) структурированной и верифицированной информации о процессах в едином формате (СІМ) с целью повышения качества принимаемых управленческих решений;
- ▶ экспоненциальный рост стоимости создания и поддержания в актуальном работоспособном состоянии интеграционных механизмов формата «точка-точка»;
- ▶ возможность повышения эффективности системных и бизнес-процессов путем автоматизации информационного обмена между существующими и внедряемыми информационными системами;
- ▶ многократный ввод данных в ИТ-системы (дублирование ввода);
- ▶ использование функционала ИТ-систем на ≈ 80%;
- ▶ отсутствие автоматического механизма проверки и актуализации данных.

### Цели проекта:

- ▶ сокращение трудоемкости дата-инжиниринга;
- ▶ внедрение системы управления данными, позволяющей описывать связи одного объекта из разных систем;
- ▶ перевод функционала моделирования данных на современные платформенные принципы с использованием семантики основанной на стандартах СІМ цифровой модели предприятия;
- ▶ внедрение цифровых технологий на основании сбора и анализа данных, полученных из существующих и вновь внедряемых автоматизированных систем управления;
- ▶ снижение трудозатрат и сокращение ошибок при вводе, передаче и первичном анализе данных бизнес-процессов планирования и управления;
- ▶ интеграция в контур технологического управления информацией, собираемой с существующих и вновь внедряемых систем.

## Основные задачи:

- ▶ создание в ИТ-ландшафте ДЗО ГК «Россети» платформенного решения, базирующегося на импортне-зависимых технологиях, которое обеспечит уровень абстракции данных в формате CIM, необходимый для связанности данных и типизации сквозных процессов (рис. 12.1);
- ▶ реализация концепции однократного ввода данных обеспечит:
  - единую нормативно-справочную информацию в объеме совместно используемой информации;
  - выверенные легитимные данные во всех системах;
  - однозначную отчетную информацию о состоянии сети всеми производственными блоками;
  - переиспользование процессов, интерфейсов, технологического стека;
- ▶ построение единого информационного пространства:
  - ввод совместно используемых данных распределен по соответствующим мастер-системам;
  - каждая информационная система в автоматическом режиме (по событию или по запросу) получает необходимые данные, введенные в мастер-системах.

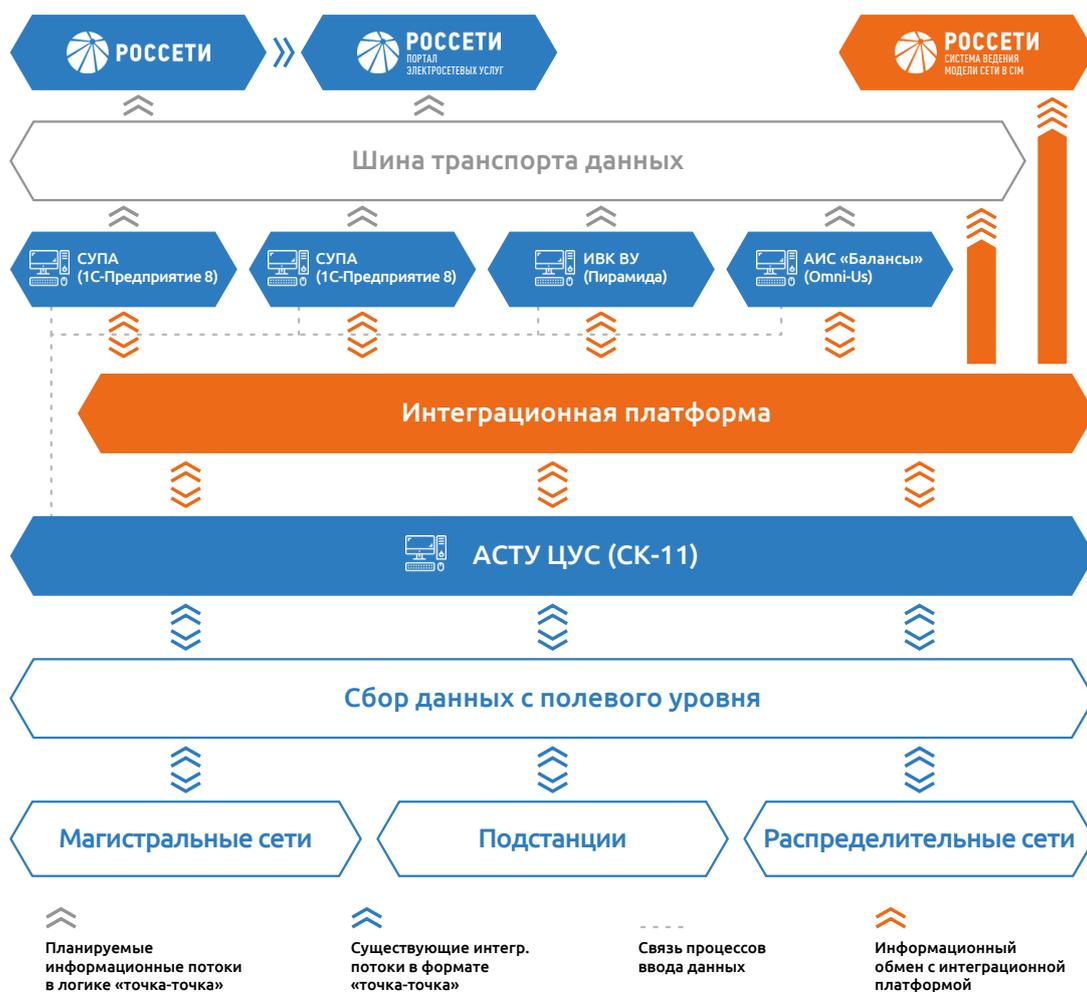
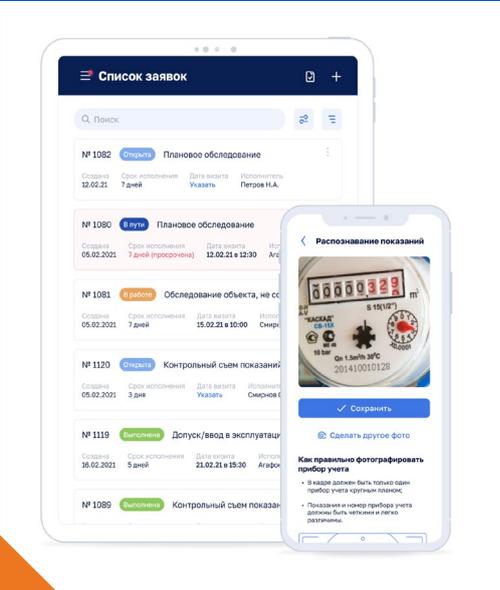


Рис. 12.1. Место интеграционной платформы в ИТ-ландшафте (на примере АО «Россети Янтарь»)

## 13. ПРОЕКТЫ АО «РИР»

### 13.1. Информационная система «Цифровой водоканал»



<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный, организационный, новые рынки
<b>Стадия зрелости</b>	внедрение
<b>Используемое ПО</b>	облачное решение, системы машинного обучения и анализа больших данных
<b>Применяемые ЦТ</b>	новые производственные технологии, искусственный интеллект

**Актуальность проекта.** Информационная система «Цифровой водоканал» предназначена для контроля, мониторинга и диспетчеризации технологических и производственных процессов предприятий водоснабжения.

Решение направлено на повышение качества предоставления услуг для населения, в том числе за счет снижения числа перебоев предоставления коммунальных ресурсов, снижения времени проведения ремонтных работ, а также за счет объективного мониторинга, контроля и регулирования технологических установок. «Цифровой водоканал» позволяет повысить экономическую и управленческую эффективность деятельности предприятий: снизить объем потерь поставляемого ресурса, затраты на электроэнергию, уменьшить время устранения повреждений, сократить число повторных повреждений и повысить производительность труда.

Реализация «Цифрового водоканала» представляет собой комплексный проект цифровой трансформации ресурсоснабжающего предприятия, предусматривающий поэтапную автоматизацию аварийно-диспетчерской и ремонтных служб, бытовых подразделений в части работы с потребителями и потерями, и автоматизированной системы управления и контроля соблюдения установленных режимов работы технологических объектов.

Срок реализации проекта составляет от 1 месяца в зависимости от готовности текущей инфраструктуры и внедряемых программных модулей. Бюджет проекта составляет от 770 тыс. (лицензия SaaS одного из модулей) до ≈ 100 млн руб. за комплексный проект внедрения, требующий проектирования и работ на полевом уровне.

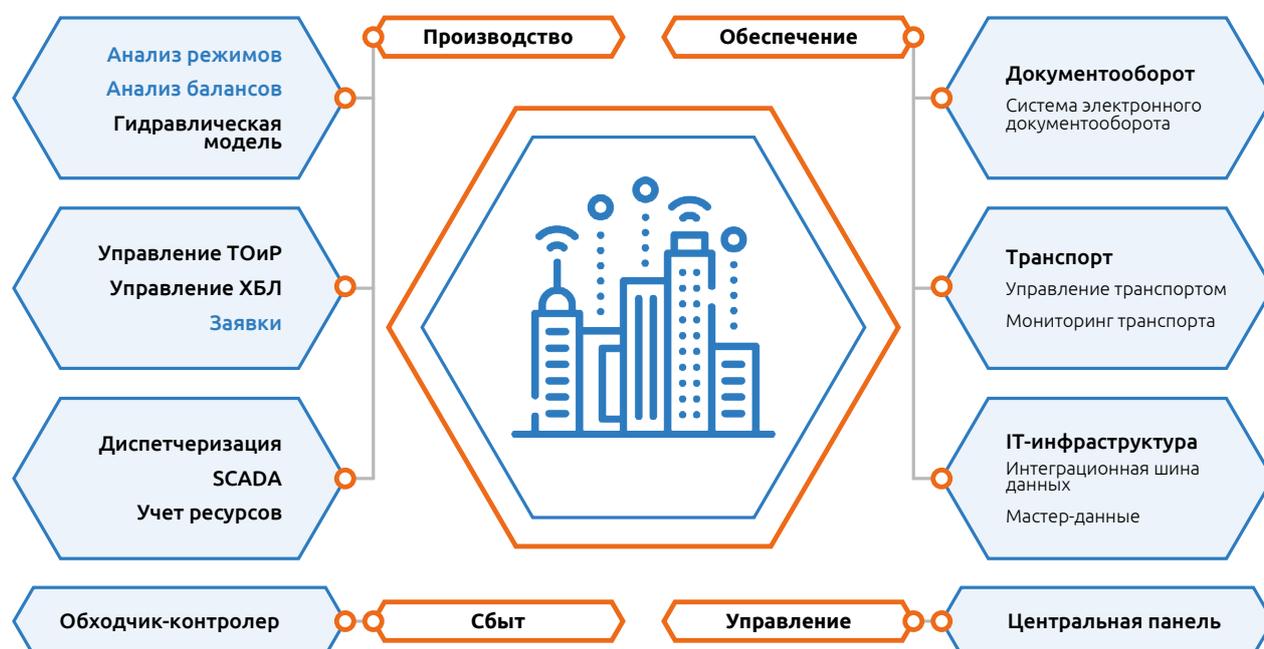
**Цель проекта** — повышение эффективности процессов управления предприятием водоснабжения за счет принятия обоснованных оперативных взвешенных управленческих решений в едином информационном пространстве.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- ▶ создание единой системы сбора и обработки информации;
- ▶ снижение времени реакции на инциденты, снижение потерь ресурса холодного водоснабжения за счет проведения анализа данных со смежных информационных систем и выдачи рекомендаций по поиску аномальных расходов воды;

- ▶ повышение эффективности работы технологических объектов, а также определение и поддержание оптимальных режимов работы с последующим заданием оптимальных режимов через систему диспетчеризации и управления;
- ▶ повышение оперативности и качества принимаемых руководством управленческих решений;
- ▶ повышение эффективности выполнения ремонтных работ и использования транспортных средств и дорожно-строительной техники;
- ▶ повышение эффективности бизнес-процессов сбытового подразделения предприятия за счет оптимального распределения человеческих ресурсов, а также контроля состояния приборов учета, в том числе с использованием систем компьютерного зрения;
- ▶ повышение эффективности управления предприятием водоснабжения и водоотведения путем обработки, анализа, хранения и визуализации больших объемов данных.

**Основные технические решения.** Информационная система «Цифровой водоканал» имеет модульную архитектуру, показанную на рис. 13.1.



**Рис. 13.1.** Архитектура информационной системы «Цифровой водоканал»

Программные модули предназначены для автоматизации отдельных производственных процессов предприятия и перевода их в цифровой формат:

- ▶ **программный модуль «Анализ балансов»** предназначен для снижения потерь и увеличения полезного отпуска за счет автоматизации управления балансами, а именно:
  - прогнозирования объемов производства и отпуска в сеть;
  - формирования прогнозного баланса;
  - обработки фактических данных на этапах водоподготовки, транспортировки и отпуска абонентам;
  - факторного анализа водопотребления по категориям абонентов;
  - формирования модели объектов-аналогов на основе анализа больших данных;
  - поиска аномалий отпуска ресурса и его потребления с использованием технологий машинного обучения;

- ▶ **программный модуль «Анализ режимов»** предназначен для повышения эффективности работы оборудования, а именно:
  - обработки фактических данных технологических параметров работы объектов;
  - анализа отклонений технологических параметров работы объектов;
  - расчета и мониторинга эффективности работы объектов;
  - прогнозирования отказов насосного оборудования на основе данных виброакустической диагностики;
  - подбора оптимальной технологической схемы объекта на основе анализа текущего и перспективного профилей потребления;
- ▶ **программный модуль «Заявки»** представляет собой общее информационное пространство для управления ремонтными и аварийными работами, обеспечивает следующую функциональность:
  - ведение электронных журналов с отслеживанием статусов;
  - оповещение абонентов об отключении и учет перерывов в предоставлении услуг;
  - оперативный доступ рабочих бригад к схемам сетей и оборудования;
  - распределение ТС в соответствии с приоритетом работ;
  - формирование заказов на ТМЦ для выполнения заявки;
- ▶ **программный модуль «Обходчик-контролер»** направлен на снижение незаконного потребления ресурсов, а именно позволяет осуществлять:
  - планирование и проведение проверок, формирование плана работ с использованием прескриптивной аналитики;
  - сопровождение выполнения заявок, проверку результатов и коммуникаций между участниками;
  - мониторинг передвижения инспекторов, запись треков, отчеты по сотрудникам;
  - съем показаний приборов учета с использованием технологий компьютерного зрения;
  - определение более вероятного типа нарушения на основании анализа больших данных;
- ▶ **программный модуль «Центральная панель»** представляет собой умное визуальное представление ключевых показателей через систему гибко настраиваемых дашбордов (рис. 13.2). Помимо BI-контента на основе фактических данных и исторических трендов модуль осуществляет прогнозирование с использованием методов машинного обучения.

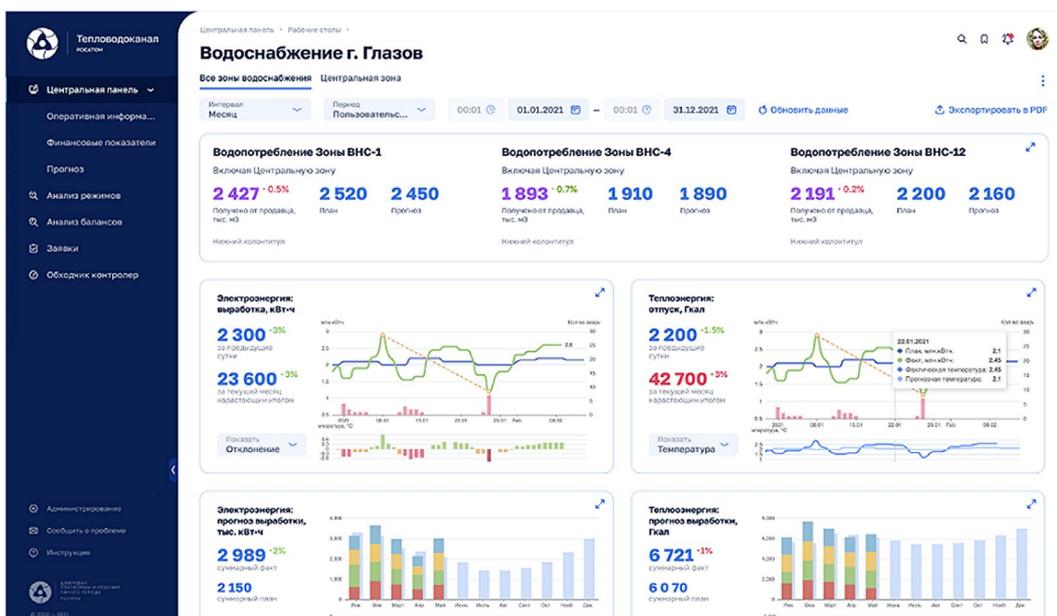


Рис. 13.2. Архитектура информационной системы «Цифровой водоканал»

**Основные эффекты от внедрения проекта.** В настоящее время «Цифровой водоканал» внедрен в Глазове (Удмуртская Республика), а также реализуется в Белгородской области. Опыт внедрения в 2020–2022 годах показал следующие эффекты:

- ▶ повышение производственной эффективности и/или снижение фонда оплаты труда при создании квалифицированных рабочих мест и повышение компетенции производственного персонала (до 45% повышение производительности труда);
- ▶ снижение аварийности, а значит, существенного повышения качества коммунальных услуг при снижении потерь и затрат на устранение аварий (до 20% снижение повторных повреждений);
- ▶ увеличение полезного отпуска, выручки и фактической собираемости платежей (до 50% снижения объема потерь в сети);
- ▶ значительное сокращение затрат на энергоресурсы (до 17% снижения затрат).

## 13.2. Информационная система ПАК «Цифровое теплоснабжение»

	<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный, организационный, новые рынки
	<b>Стадия зрелости</b>	внедрение
	<b>Используемое ПО</b>	используемое ПО облачное решение, системы машинного обучения и анализа больших данных
	<b>Применяемые СЦТ</b>	новые производственные технологии, искусственный интеллект

**Актуальность проекта.** Информационная система «Цифровое теплоснабжение» предназначена для повышения эффективности производственной деятельности предприятий сферы теплоэнергетики и теплоснабжения.

Отраслями применения ПК «Цифровое теплоснабжение» являются ЖКХ и теплоэнергетика. Область применения ПК «Цифровое теплоснабжение» — повышение эффективности процессов управления предприятием теплоснабжения за счет принятия обоснованных оперативных взвешенных управленческих решений в едином информационном пространстве.

Решение направлено на повышение качества предоставления услуг для населения, в том числе за счет снижения числа перебоев предоставления коммунальных ресурсов, снижения времени проведения ремонтных работ, а также за счет объективного мониторинга, контроля и регулирования технологических установок.

«Цифровое теплоснабжение» дает возможность повысить экономическую и управленческую эффективность деятельности предприятий: снизить объем потерь поставляемого ресурса, затраты на электроэнергию, уменьшить время устранения повреждений, сократить число повторных повреждений и повысить производительность труда.

Реализация «Цифрового теплоснабжения» представляет собой комплексный проект цифровой трансформации ресурсоснабжающего предприятия, предусматривающий поэтапную автоматизацию аварийно-диспетчерской и ремонтных служб, бытовых подразделений в части работы с потребителями и потерями, и автоматизированной системы управления и контроля соблюдения установленных режимов работы технологических объектов.

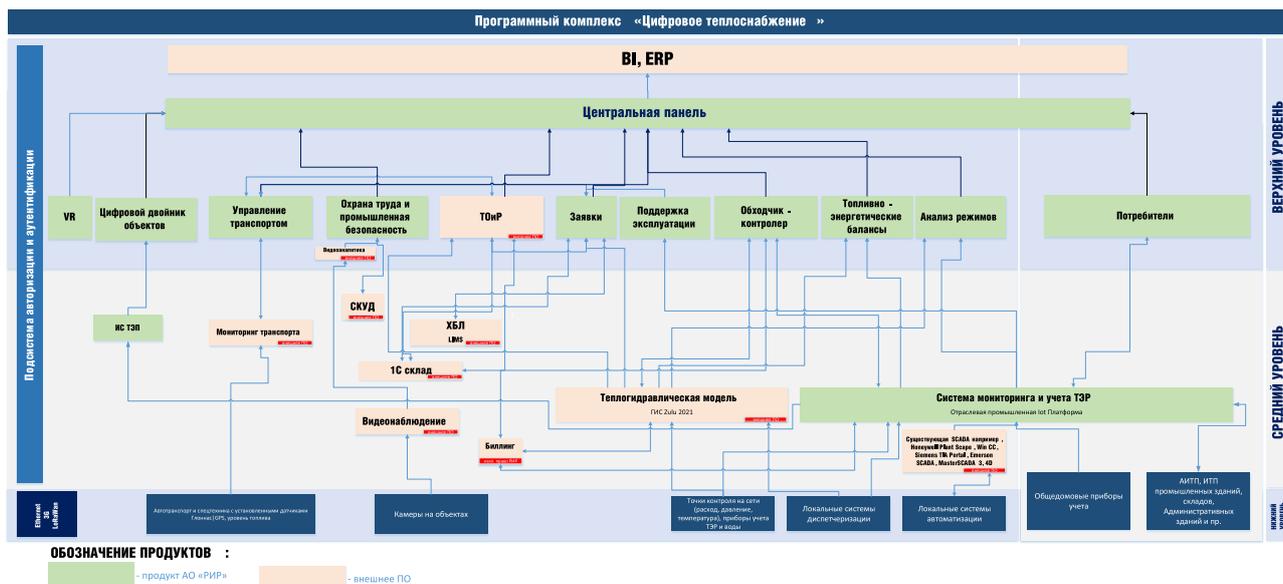
Модульная платформа позволяет с помощью инструментов планирования, мониторинга и контроля автоматизировать процессы во всех основных сферах деятельности предприятий теплоснабжения — от генерации тепловой энергии до взаимодействия с конечными потребителями.

Срок реализации проекта составляет от 3 месяцев в зависимости от готовности текущей инфраструктуры и внедряемых программных модулей. Бюджет проекта составляет от 770 тыс. (лицензия SaaS одного из модулей) и до более 100 млн руб. за комплексный проект внедрения, требующий проектирования и работ на поле-вом уровне оборудования.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- ▶ управление потерями тепла и горячего водоснабжения;
- ▶ управление режимами работы технологического оборудования;
- ▶ управление обслуживающим персоналом и эксплуатацией оборудования;
- ▶ управление техникой безопасности при эксплуатации;
- ▶ управление специальной техникой и транспортом;
- ▶ управление потреблением тепла.

**Основные технические решения.** ПАК «Цифровое теплоснабжение» имеет модульную архитектуру, показанную на рис. 13.3.



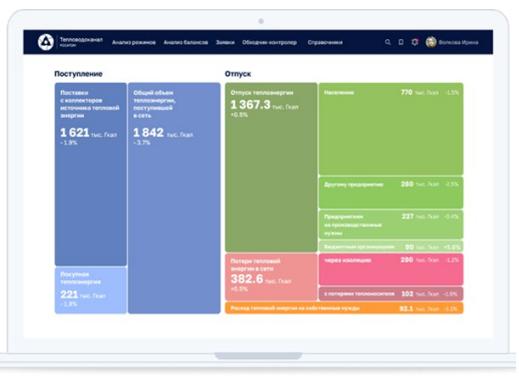
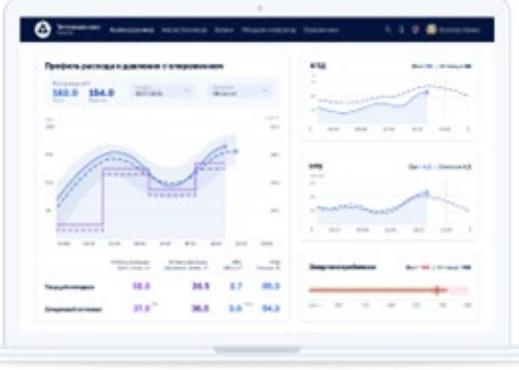
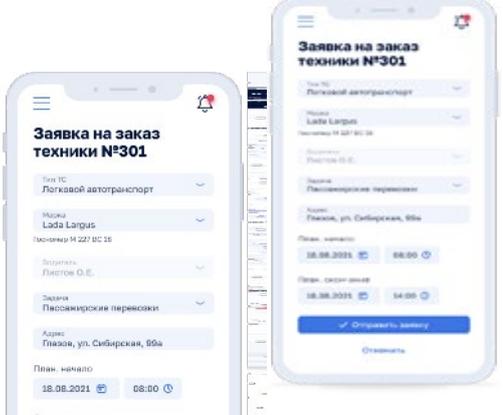
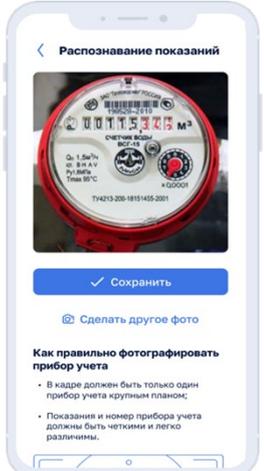
**Рис. 13.3.** Архитектура информационной системы

Решение может быть внедрено как полный комплекс решений для предприятия теплоснабжения, так и модульно для контроля работы отдельных производственных подразделений — цеха, площадки, зоны и т.д.

Архитектура позволяет встраивать дополнительные модули и подсистемы взаимодействия с другими информационными системами и программно-аппаратными комплексами.

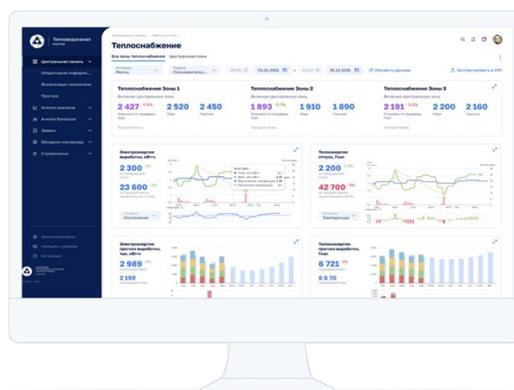
Программные модули предназначены для автоматизации отдельных производственных процессов предприятия и перевода их в цифровой формат. Описание программных модулей приведено в таблице 13.1.

**Таблица 13.1.** Программные модули ПАК «Цифровое теплоснабжение»

Программный модуль	Описание	Интерфейс
<p><b>Топливо-энергетические балансы</b></p>	<p>Предназначен для снижения потерь и увеличения полезного отпуска за счет автоматизации управления балансами, а именно:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выявления зон наибольших потерь и локализации дисбаланса горячего водо- и теплоснабжения и получения эффекта от сокращения найденных потерь, что повлечет за собой снижение затрат на водоподготовку;</li> <li>поиска аномалий отпуска ресурса и его потребления с использованием технологий машинного обучения</li> </ul>	
<p><b>Анализ режимов</b></p>	<p>Предназначен для повышения эффективности работы оборудования. Мониторинг и анализ технологических параметров режимов работы оборудования, отдельных сегментов сети теплоснабжения, что приведет к увеличению эффективности использования энерго-ресурсов и повысит качество оказания услуг теплоснабжения и горячего водоснабжения</p>	
<p><b>Заявки</b></p>	<p>Общее информационное пространство для управления ремонтными и аварийными работами, использования транспортных средств и дорожно-строительной техники через создание единого информационного пространства</p>	
<p><b>Обходчик-контролер</b></p>	<p>Направлен на снижение незаконного потребления ресурсов. Автоматизация процессов подразделений сбытовой службы, в задачи которых входят обследования абонентов и контроль потребления ресурсов абонентами</p>	

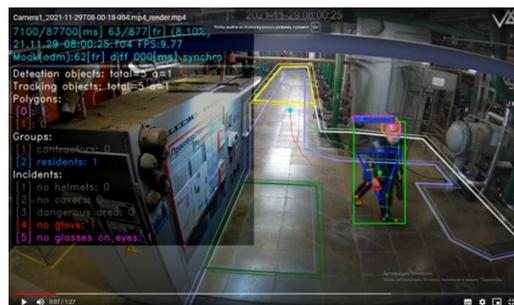
## Центральная панель

Представляет собой умное визуальное представление ключевых показателей через систему гибко настраиваемых дашбордов. Помимо BI-контента, на основе фактических данных и исторических трендов модуль осуществляет прогнозирование с использованием методов машинного обучения



## Промышленная безопасность

Снижение рисков несоблюдения правил безопасности на производстве при проведении работ по ремонту и эксплуатации оборудования. Поставщиком данных для модуля является внешнее специализированное ПО



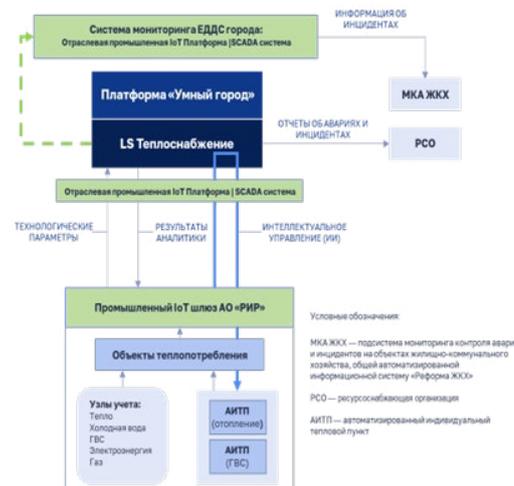
## VR

Обучение персонала и дистанционная демонстрация объектов. Предполагает полное погружение обучаемого персонала в среду и ситуации, с которыми ему предстоит работать



## Потребители

Обеспечение эффективного управления теплотреблением объектов путем снижения объемов потребления тепловой энергии в заданные периоды/дни и за счет реализации функционала аналитики эффективности теплотребления. Комплекс программно-технических средств и искусственного интеллекта, направленный на повышение энергетической эффективности теплотребляющих организаций, включая бюджетные организации, многоквартирные дома, ТСЖ, УК, промышленные объекты и т.д.



### Основные эффекты от внедрения ПАК «Цифровое теплоснабжение»:

- ▶ до 95% повышение оперативного контроля качества и выявление несоответствий;
- ▶ до 50% сокращение времени реагирования на неэффективные режимы;
- ▶ до 45% повышение производительности труда;
- ▶ до 20% сокращение трудозатрат сотрудников;
- ▶ до 10% сокращение расходов на материальные ресурсы;
- ▶ до 5% рост выручки;
- ▶ до 90% ликвидация дисбаланса в системе;
- ▶ до 20% повышение надежности работы системы;
- ▶ до 20% сокращение повторных повреждений;
- ▶ до 17% снижение затрат на электроэнергию;
- ▶ до 15% снижение времени реагирования;
- ▶ до 10% снижение времени устранения нарушений.

## 14. АО «НПП «ИСТОК» ИМ. ШОКИНА»: IIOT.ISTOK. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ



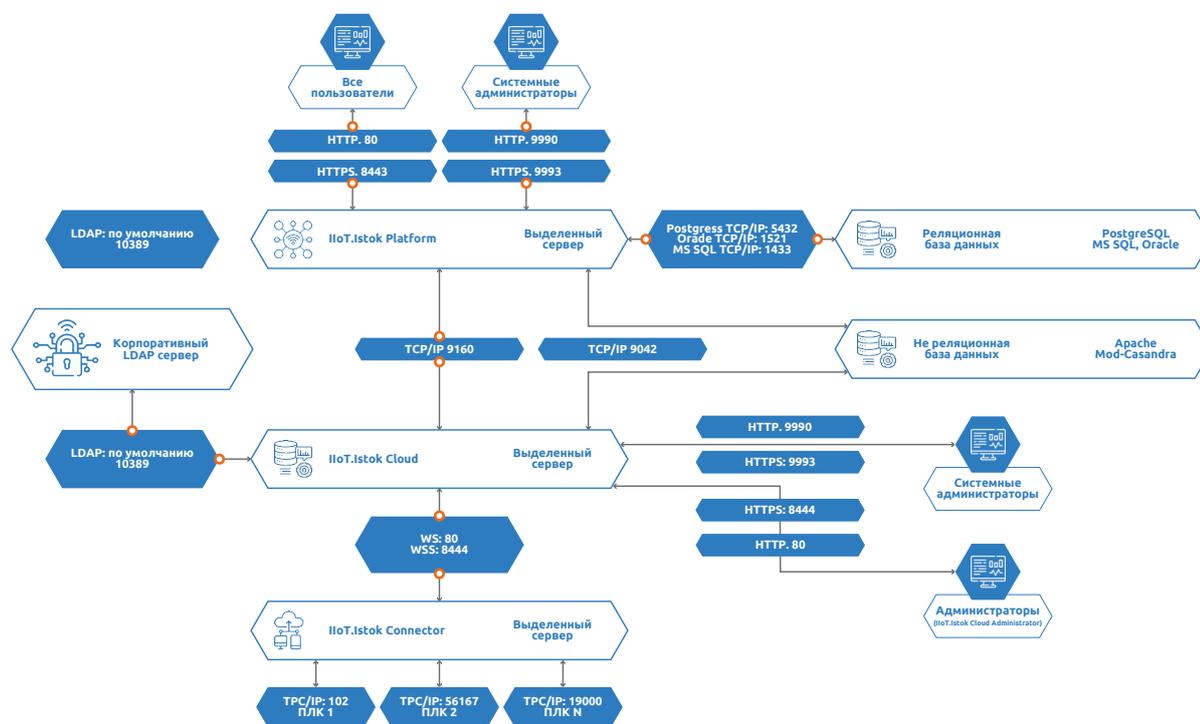
<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный/новые рынки
<b>Стадия зрелости</b>	внедрение
<b>Используемое ПО</b>	IIoT.Istok
<b>Применяемые СЦТ</b>	промышленный интернет вещей, ТИМ-моделирование и цифровой двойник, большие данные, дополненная и виртуальная реальность, системы машинного обучения, технологии распределенного реестра

IIoT.Istok — это российская универсальная платформа IIoT для удаленного мониторинга, диагностики и оптимизации работы технологического, инженерного, стендового и вспомогательного оборудования с возможностью интеграции с корпоративными информационными системами.

### Цели проекта:

- ▶ повышение уровня цифровой трансформации отрасли;
- ▶ повышение прозрачности при работе с данными;
- ▶ повышение кибербезопасности в отраслях топливно-энергетического комплекса;
- ▶ объединение компетенций цифрового развития с целью сокращения трудозатрат и повышения скорости реагирования на инциденты.

**Актуальность проекта** компании АО «НПП «Исток» им. Шокина» заключается в консолидации и обработке растущих объемов данных за счет применения цифровых решений с целью повышения эффективности, надежности и экологической безопасности в энергетике (рис. 14.1).



**Рис. 14.1.** Архитектура платформы

Платформа IIoT.Istok включает в себя технологии больших данных и ИИ, технологии распределенной инфраструктуры ложных целей (DDP) (рис. 14.2).



**Рис. 14.2.** Интеграция платформы в системы кибер- и информационной безопасности

Платформа IloT.Istok состоит из следующих основных подсистем:

- ▶ мониторинга технологического оборудования;
- ▶ мониторинга инженерного оборудования;
- ▶ мониторинга вспомогательного оборудования и программных сервисов;
- ▶ хранилища BigData, позволяющего хранить неограниченное количество данных в «сыром» виде.

Платформа IloT.Istok дает возможность проводить анализ по следующим направлениям:

- ▶ качество и загрузка работы оборудования;
- ▶ процесс работы оборудования (причины простоя);
- ▶ технологические процессы;
- ▶ вмешательство в технологию;
- ▶ время работы оборудования (инструменты, наработка, ТОиР и т.д.);
- ▶ собранные данные и вывод в аналитические отчеты.

IloT.Istok позволяет создавать интерактивные 3D цифровые двойники технологического, инженерного и вспомогательного оборудования, а также экспортировать BIM-модели в платформу и формировать цифровой двойник объекта эксплуатации (здание, сооружение и т.д.).

С помощью модулей Istok.Workplace и Istok.Pad оператор через удобный интерфейс может наблюдать за работой любого оборудования и выполнять важные первичные функции, такие как вызов сервисных служб, идентификация персонала и технологических операций, контроль и визуализация ручных операций, фиксация причин простоя и др. (рис. 14.3).



Рис. 14.3. Интерфейс модулей Istok.Workplace и Istok.Pad



## Ожидаемые эффекты от внедрения платформы IIoT.Istok (рис. 14.4):

### ▶ для бизнеса:

- снижение уровня затрат на потребление электроэнергии: повышение эффективности энергопотребления (на основе данных), оптимизация стратегического планирования мощностей станций и электросетей (на основе данных), оперативная оптимизация режимов работы технологического и инженерного оборудования;
- повышение уровня автоматизации бизнес-процессов: онлайн-коммуникация, сбор, учет и обработка данных, повышение эффективности оперативного управления, в том числе при ликвидации аварий, исключение затрат на лицензии и привязки к количеству сигналов в сравнении с классическими системами SCADA;

### ▶ для населения:

- повышение качества обслуживания: персонализация сервисов (на основе данных), сокращение времени на решение вопросов и получение услуг (принцип «одного окна»), сокращение ручных операций и исключение человеческого фактора;
- поддержание экологии: использование предиктивной аналитики с целью перераспределения добычи и накопления энергоресурсов, доступность выявления эффективности применения альтернативной энергии и ВИЭ;

### ▶ общие эффекты:

- повышение уровня безопасности: технологии DDP (приманок/ловушек) с целью предотвращения проникновения злоумышленников, управление рисками возникновения дефектов и системных аварий, эффективное планирование ремонтов;
- повышение уровня прозрачности оказываемых услуг, оперативное прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций с целью сокращения затрат на капитальные ремонты, реконструкцию, учет машино-часов работы оборудования с целью повышения срока службы и исключения потребности в затратах.

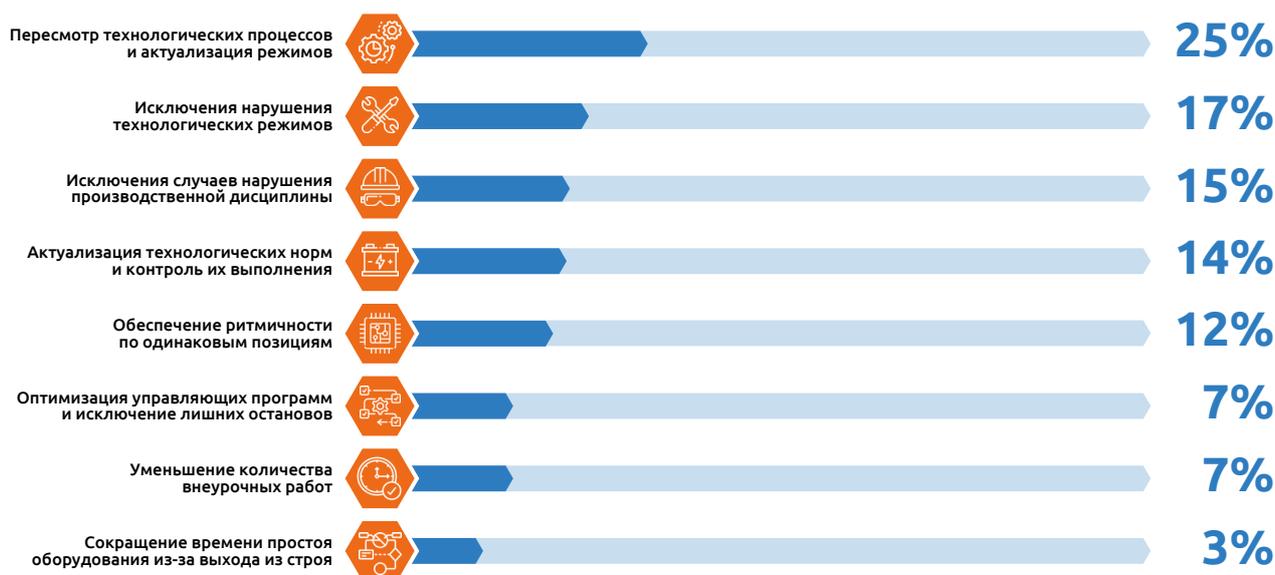
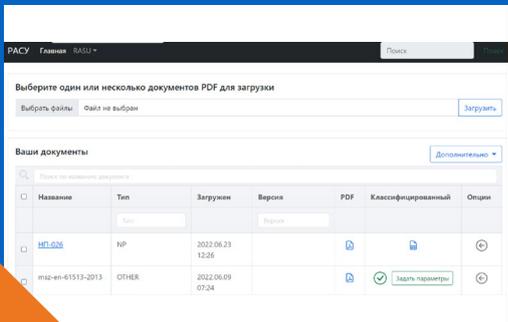


Рис. 14.4. Эффекты применения платформы IIoT.Istok

## 15. АО «РАСУ»: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ



Название	Тип	Загружен	Версия	PDF	Классифицированный	Опции
ИПТ_026	НР	2022.06.23 12:26				
ИПД-ИП-61513-2013	ОТЧЕТ	2022.06.09 07:24				

**Тип проекта** инфраструктурный, организационный

**Стадия зрелости** внедрение

**Используемое ПО** Enterprise Architect, ИС Акура ИПП (АО «РАСУ»)

**Применяемые СЦТ** искусственный интеллект, автоматизация и стандартизация процессов

**Цель проекта** «Интеллектуальный анализ нормативной документации» (ИСИА НД) состоит в создании и внедрении в отрасли импортонезависимого решения по обработке нормативной документации (НД), позволяющего увеличить производительность и скорость обработки НД в рамках процесса поиска и классификации требований до 50%, при этом снизив затраты до 80% на создание системы управления требованиями в компании.

### Задачи проекта ИСИА НД:

- ▶ проектирование и создание продукта, содержащего функциональность:
  - разбиение текста НД на отдельные фрагменты текста;
  - классификация фрагментов текста, сбор требований;
  - работа с НД на русском и английском языках;
  - реализация интеграции с информационными системами (ИС):
    - Enterprise Architect;
    - ИС Акура ИПП (АО «РАСУ»);
- ▶ развертывание системы на серверах, запуск в эксплуатацию и коммерциализация.

**Актуальность данного проекта** заключается в сокращении временных затрат на бизнес-процессы, поскольку до 60% рабочего времени теряется из-за неэффективного подхода к управлению требованиями. Разделение нормативной документации на требования, их классификация и внесение в систему управления требованиями осуществляется в ручном режиме, что занимает до 30 минут работы специалиста на 1 страницу основного текста НД.

Основными заказчиками и пользователями проекта ИСИА НД являются АО «РАСУ», АО «Русатом Оверсиз», АО «Атомстройэкспорт», предприятия — участники международных (европейских) проектов и организации, эксплуатирующие АЭС.

Таким образом, внедрение проекта ИСИА НД предоставляет преимущества не только бизнесу в части повышения эффективности работы сотрудников, но и отрасли в целом.

## Основные эффекты от реализации проекта:

### ▶ для бизнеса:

- снижение уровня затрат на процесс управления требованиями НД на этапе генерации электроэнергии;
- сокращение времени проектирования объектов генерации;
- сокращение расходов на обработку НД за счет снижения времени и трудозатрат на поиск и классификацию требований;
- повышение скорости реагирования на изменения требований в НД;

### ▶ для населения:

- автоматизация рутинных операций;
- переход на цифровые версии нормативных документов без необходимости использования, хранения и учета бумажных версий;

### ▶ общие эффекты для энергосистемы в целом:

- повышение уровня безопасности за счет снижения уровня влияния человеческого фактора по вопросам управления требованиями НД;
- увеличение прозрачности прохождения аудитов за счет снижения уровня влияния человеческого фактора по вопросам управления требованиями НД.

Очередность реализации проекта ИСИА НД представлена в таблице 15.1.

**Таблица 15.1.** Описание решаемых задач по мере внедрения проекта

Этап	Решаемые задачи
<b>1-я очередь</b> — пилот Прототип модуля распознавания требований в нормативных правовых актах, нормативно-технической документации с применением искусственного интеллекта	Разбиение текста нормативных правовых актов, нормативно-технической документации на отдельные фрагменты текста Классификация фрагментов текста, их идентификация, сбор требований Формирование результата по заданной форме для последующей обработки Интеграция с системами управления требованиями
<b>2-я очередь</b> — целевое решение Инструмент (на базе искусственного интеллекта) автоматизации бизнес-процессов формирования, управления и верификации требований с функциями, набор которых определяется на этапе формирования технического задания целевого решения	Экспертиза проектной и технической документации на соответствие требованиям Предварительная оценка выгод и затрат при реализации требований (за счет накопления экспертной базы) Разработка методики, описывающей логику работы целевого решения Работа с проектными и нормативными документами в части требований Администрирование проектов в части управления требованиями Поддержка процесса анализа и распределения требований к проектам Возможность функционирования и развития системы стандартизации Интеграция для работы с единой базой нормативных документов с функциями фильтрации для конкретного продукта/проекта (с учетом специфики заказчиков по требованиям) Прохождение аудита и контроля и др.

Пилотный проект ИСИА НД позволяет автоматизировать бизнес-процессы (рис. 15.1) путем распознавания требований в НД с применением технологии ИИ, классифицирования фрагментов и выделения требований, а также формируя отчетность.



Рис. 15.1. Визуализация автоматизированных бизнес-процессов

## 16. ГОСКОРПОРАЦИЯ «РОСАТОМ»: РАЗРАБОТКА, ОПЫТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЛАТФОРМЕННОГО РЕШЕНИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ С ГИБКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

<b>Тип проекта</b>	новые рынки
<b>Стадия зрелости</b>	аттестация и сертификация
<b>Используемое ПО</b>	собственная разработка АО «РАСУ»
<b>Применяемые СЦТ</b>	новые производственные технологии

Проект по разработке, опытному внедрению и организации серийного производства платформенного решения кластерной цифровой подстанции с гибкой функциональной структурой стартовал в 2018 году. Данное решение является важной вехой в развитии направления бизнеса «Цифровая энергетика» Госкорпорации «Росатом», поскольку способно сформировать новые классы активов, необходимые в качестве базиса для эффективного применения новых технологий в процессе цифровой трансформации электроэнергетики.

**Цель проекта** — создание высококонкурентного отечественного решения для «цифровых подстанций», имеющего высокий экспортный потенциал и востребованный как при модернизации существующих объектов, так и при новом строительстве на рынке электроэнергетики Российской Федерации и за рубежом.

Проект направлен на решение следующих задач:

- ▶ повышение эффективности операционной деятельности;
- ▶ развитие новых направлений услуг;
- ▶ создание новых продуктов для российского и международного рынков;
- ▶ снижение себестоимости продукции и сроков протекания процессов и повышение эффективности инвестиций.

**Этапы реализации проекта.** В 2018–2020 годах завершены стадии разработки технико-экономического обоснования, научного исследования и проектирования, выпущены опытные образцы устройств. В июле 2021 года запущена опытно-промышленная эксплуатация на целевом объекте внедрения ПС 110 кВ Лесная ФГУП «ПСЗ» в г. Трехгорный. В настоящий момент проводятся сертификация продуктов проекта на соответствие требованиям по ИБ в ФСТЭК России и аттестации в ПАО «Россети». Завершается постановка оборудования на серийное производство на контурном предприятии ГК «Росатом».

**Ключевым компонентом разрабатываемого технологического решения** является универсальная программно-аппаратная платформа (кластер), которая способна заменить собой 12 единиц специализированного оборудования. Принцип ее устройства представлен на рис. 16.1.



**Рис. 16.1.** Принцип устройства универсальной программно-аппаратной платформы (кластер)

Передача цифровых сигналов по единой шине обеспечивает высокое качество данных за счет единства измерений, снижение расходов на организацию и обслуживание кабельных связей между устройствами и сроков ввода в эксплуатацию. Отчуждаемое ПО позволяет применять новые принципы резервирования и обеспечивает развитие алгоритмов вследствие роста конкуренции на рынке. Платформа дает возможность реализовать любые промышленные алгоритмы защиты и управления, применяемые открытые международные протоколы обмена данными, а также построить систему защиты и управления технологическим процессом с архитектурой любой сложности.

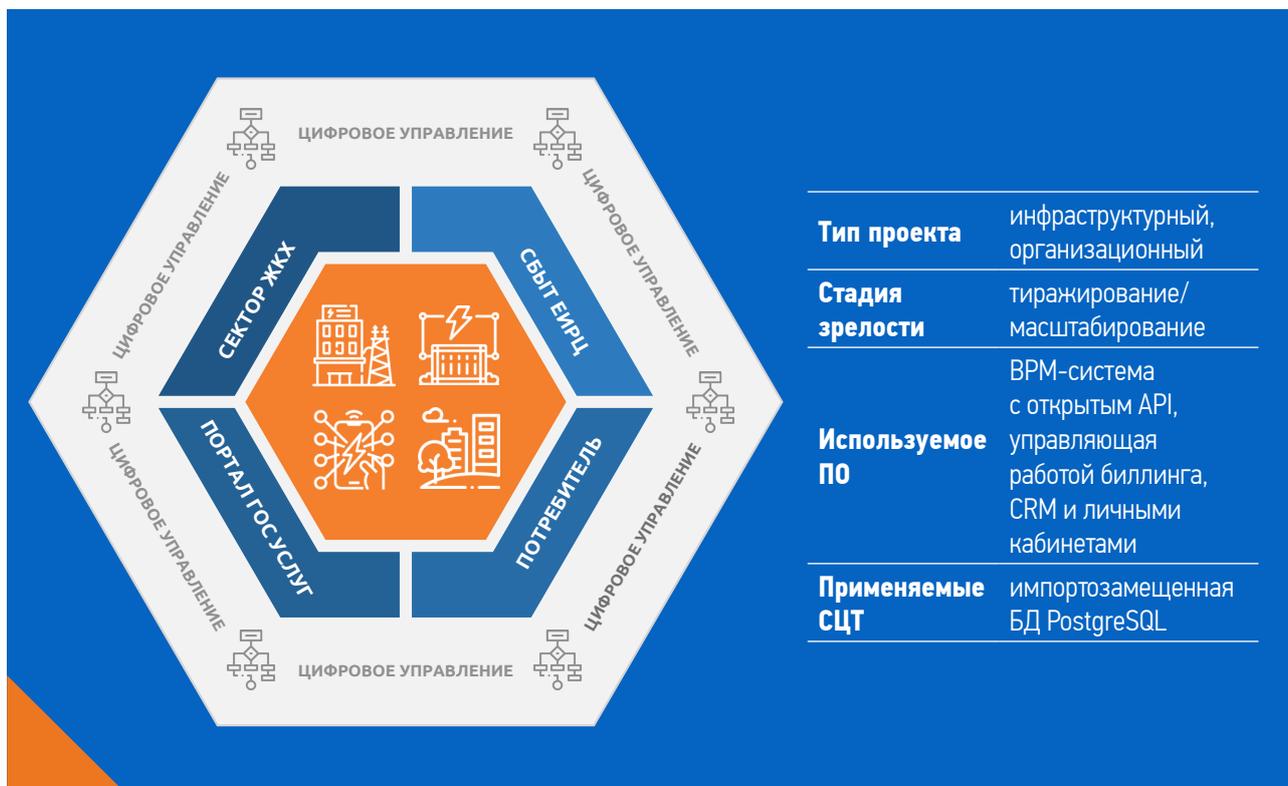
Основные эффекты от внедрения проекта для бизнеса проявляются в сдерживании роста цен на электроэнергию и повышении уровня доступности информации о состоянии подключения к сетям. Общим эффектом для бизнеса и потребителя является повышение безопасности сотрудников, сокращение времени реагирования на аварию или технологическое нарушение.

Перспективы развития. Решение является альтернативным текущему порядку формирования архитектуры систем защиты и управления подстанции и после успешных испытаний, аттестации и сертификации продукта может быть использовано наряду с традиционными инструментами построения систем подстанции не только сетевыми организациями, но и субъектами генерации.

Наибольший интерес для цифровой трансформации имеет дальнейшее развитие проекта в части удаленного управления подстанциями и группами подстанций и соответствующей электросетевой инфраструктурой, включая управление их жизненным циклом (в том числе ремонты и модернизацию), а также построение системы управления работой персонала на этих объектах.

## 17. ПРОЕКТЫ ООО «СИГМА»

### 17.1. «Нева. Цифровой сбыт»



**Актуальность проекта.** «Нева. Цифровой сбыт» — уникальный проект в российской энергетике. Впервые в отрасли внедрено ВРМ-решение для единого управления сбытом электроэнергии. В основе системы «Цифровой сбыт» лежат интеллектуальные технологии, позволяющие повысить скорость и точность обработки данных энергосбыта. Проект реализован на федеральном уровне.

Как правило, подключение новых абонентов и обслуживание текущих сопровождалось длительным процессом заведения и согласования документов в разрозненных системах. Решение «Цифровой сбыт» позволяет свести к минимуму участие персонала на всех этапах этого процесса: от оформления заявок на заключение договора энергоснабжения до обработки показаний и выставления счетов. Клиенту достаточно подать заявку в личном кабинете, заполнить анкету и подписать ее электронной цифровой подписью, после чего система автоматически запускает процесс обработки документов для заключения договора, проверки их достоверности в смежных системах (Росреестр, ЕГРЮЛ), передачи информации в систему биллинга, формирования договора и автоматических расчетов.

Кроме того, решение эффективно контролирует деятельность нескольких сбытовых компаний в рамках единой системы. Это позволяет контроль обслуживания абонентов осуществлять централизованно.

#### Цели проекта:

- ▶ создание единой платформы управления биллингом на федеральном уровне;
- ▶ централизация контроля за работой Единого информационно-расчетного центра (ЕИРЦ) и системами энергосбытовой деятельности («Биллинг», CRM, «Личный кабинет клиента»);
- ▶ минимизация участия персонала при выполнении рутинных операций;
- ▶ сокращение числа ошибок, исключение дублирующих функций в смежных информационных системах;
- ▶ оптимизация затрат на реализацию энергосбытовой деятельности на федеральном уровне;
- ▶ контроль исполнения процессов.

Для достижения целей проекта решаются следующие задачи:

- ▶ оперативное изменение процессов и гибкость новых алгоритмов;
- ▶ централизация и контроль исполнения процессов методологами;
- ▶ повышение производительности и качества труда.

На основе платформы «Нева. Цифровой сбыт» происходит:

- ▶ описание процессов биллинга юридических лиц;
- ▶ описание процессов биллинга физических лиц;
- ▶ описание процессов деятельности ЕИРЦ.

**Основные технические решения.** Платформа «Нева. Цифровой сбыт» — инновационный инструмент, позволяющий описывать процессы и формировать документы, автоматизированно исполнять процессы и проводить анализ их выполнения (рис. 17.1).

The screenshot displays the user interface of the 'Нева. Цифровой сбыт' platform. On the left, there is a sidebar with navigation options: 'Приложения' (Applications) including BPMN Diagrams, DMN Diagrams, Help, Control Panel, and Sandbox; and 'Навигация' (Navigation) with links to various documents. The main content area shows a document titled '1.3.2.2.5.EEP.T01.00 Изменение ценовой категории' (1.3.2.2.5.EEP.T01.00 Price Category Change), edited by Victoria Eglizova on 14.10.2021 at 10:57:03. The central part of the screen features a BPMN diagram illustrating the process flow for price category changes, starting with a start event, followed by several task nodes, decision diamonds, and ending with an end event. Below the diagram, there is a caption: 'Рисунок 1. Схема процесса "Изменение ценовой категории"' (Figure 1. Scheme of the "Price Category Change" process) and a note: 'Стартовым параметром для запуска процесса является входящее заявление от потребителя на изменение ценовой' (The starting parameter for process launch is an incoming application from the consumer for price category change). On the right side, there are sections for 'Подсказки' (Hints), 'Последние изменения' (Recent Changes) showing a user profile, and 'Нужна помощь?' (Need help?) with links to support resources.

**Рис. 17.1.** Пример интерфейса платформы «Нева. Цифровой сбыт»

**Использование платформы «Нева. Цифровой сбыт».** Цифровой сбыт обеспечивает однозначную постановку задач методологами разработчикам ИТ-систем по новым процессам и реинжинирингу существующих процессов и создает цифровой инструмент формирования и управления бизнес-процессами энергосбытовой деятельности (рис. 17.2).

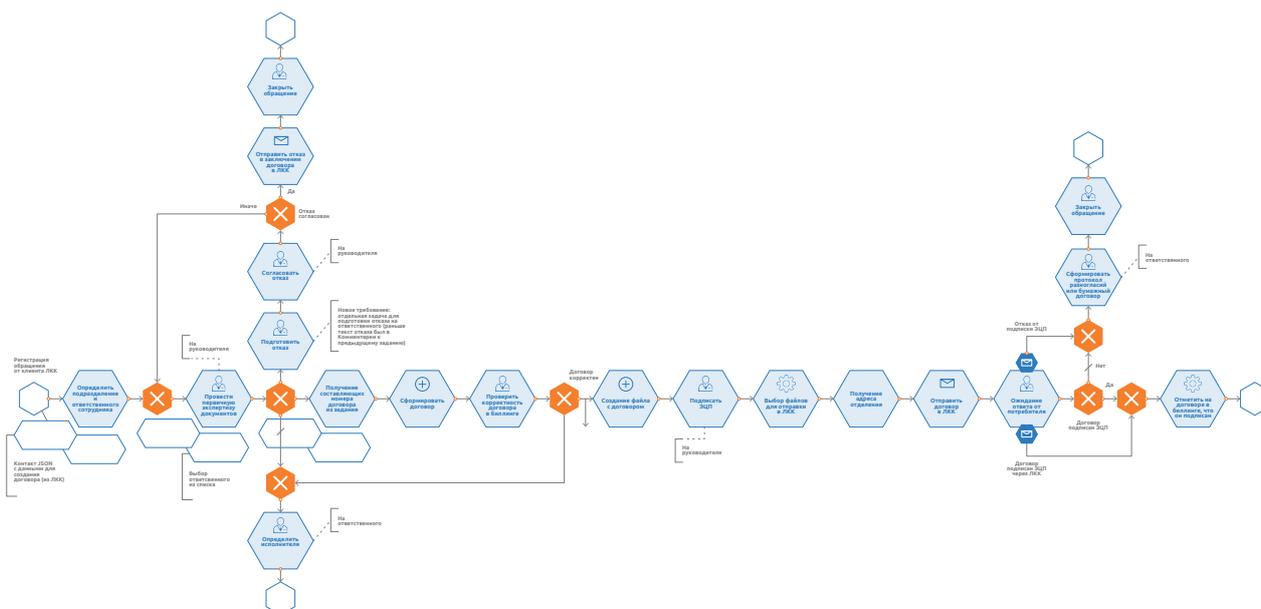


Рис. 17.2. Детальный анализ процесса

При внедрении системы сокращаются сроки реализации запросов на изменения и повышается уровень автоматизации бизнес-процессов. Автоматизируются:

- ▶ процесс заключения договора через личный кабинет;
- ▶ биллинговый цикл юридических лиц;
- ▶ анализ времени исполнения задач в процессах;
- ▶ выявление «узких мест», с учетом в перспективе:
  - уведомления пользователям, которые не выполняют задачи вовремя;
  - определения свободного сотрудника и назначения исполнения задания по процессу, если первоначальный исполнитель не справился;
- ▶ оптимизация процесса настройки.

**Основные эффекты от внедрения решения «Нева. Цифровой сбыт»:**

- ▶ **для бизнеса:**
  - снижение затрат на потребление электроэнергии: сдерживание роста цен на электроэнергию за счет снижения операционных затрат;
  - повышение уровня автоматизации бизнес-процессов: онлайн-коммуникация и сбор данных;
  - повышение уровня доступности информации о состоянии договора энергоснабжения;
- ▶ **для населения** — повышение качества обслуживания, а именно:
  - персонализация сервисов (на основе данных), сокращение времени на решение вопросов и получение услуг (принцип «одного окна»);
  - сокращение количества ошибок и сбоев при обслуживании клиентов;
  - повышение уровня прозрачности оказываемых услуг.

**За проект «Нева. Цифровой сбыт» ПАО «Интер РАО» и компания «Сигма» получили награду ComNews Awards в номинации «Лучшее цифровое решение в электроэнергетике».**



## 17.2. Опыт создания, эксплуатации, импортозамещения и развития системы управления основными данными



**Актуальность проекта.** Импортозамещение — процесс, в котором важно и количество, и качество: недостаточно просто выпустить больше российских ИТ-продуктов, они должны быть основаны на актуальных технологиях и отраслевой экспертизе.

Мы развиваем автоматизированное управление основными данными (СИГМА.MDM). Это кросс-отраслевое решение, которое позволяет компании создавать единое представление о данных независимо от их источника и формата. СИГМА.MDM собирает и синхронизирует основную информацию из разных ИТ-систем, создавая на предприятии единую цифровую среду.

Решение СИГМА.MDM — это платформа для управления основными данными производственного масштаба. Основные функции системы — очистка, обогащение и контроль качества данных на полноту, целостность и непротиворечивость, поиск и объединение дубликатов, а также отправка данных в сторонние информационные системы.

Решение разработано компанией «Сигма», входящей в состав Группы «Интер РАО», и зарегистрировано в Федеральной службе интеллектуальной собственности в октябре 2019 года. Это ИТ-система, которая позволяет обеспечить эффективность управления данными, необходимыми для стабильной работы энергоактивов и обеспечения надежного функционирования энергосистемы Российской Федерации.

**Цель проекта** — экономически обоснованный реинжиниринг и развитие MDM-системы на базе отечественной платформы.

Для достижения целей решаются следующие задачи:

- ▶ обследование существующих бизнес-процессов и систем, работающих с нормативно-справочной информацией, в том числе внешних, использующих эталонные данные;
- ▶ разработка проектного решения на систему: подготовка модели данных, доработка модулей системы и настройка компонентов;
- ▶ осуществление миграции данных из существующей системы.

**Основные технические решения.** Технологический стек «СИГМА.MDM» составляют решения на базе свободного ПО:

- ▶ **Java** — среда исполнения серверного приложения, представляющая собой открытый пакет реализации Java OpenJDK (java development kit);
- ▶ **база данных PostgreSQL**, которая используется для хранения бизнес-данных и метаданных конфигурации самой платформы;
- ▶ **поисковая система Elastic Search** — используется как основа для построения поискового индекса платформы. Обеспечивает горизонтально масштабируемый поиск и поддержку многопоточности;
- ▶ **распределенный кэш сервера приложений Hazelcast** — работает как вычислительная платформа, которая управляет данными в операционной памяти и организует обработку в параллельном исполнении для достижения наибольшей скорости и легкости масштабирования.

Ядро системы — подсистема управления мастер-данными, отвечающая за хранение всех данных о «золотых записях», истории изменений.

Ядро управляет остальными модулями:

- ▶ модулем качества данных;
- ▶ модулем выполнения бизнес-процессов;
- ▶ модулем управления нормативно-справочной информацией;
- ▶ модулем исполнения автоматических бизнес-правил;
- ▶ системой управления метамоделями.

Основные возможности системы:

- ▶ управление данными справочников и реестров;
- ▶ связь с транзакционными системами;
- ▶ автоматизация сбора данных для построения и корректировки отчетности;
- ▶ централизованный сбор данных и приведение к единому виду;
- ▶ обогащение данными из открытых и регулируемых источников с использованием готовых адаптеров;
- ▶ гибкая настройка и изменение бизнес-процессов управления данными без доработки;
- ▶ открытые API (application programming interface), обеспечивающие возможность обмена данными с другими системами предприятия.

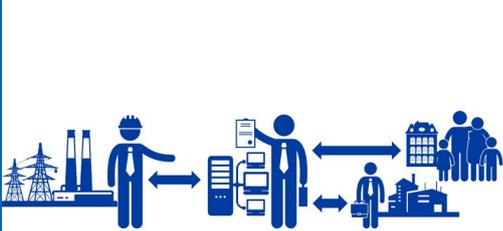
СИГМА.MDM поддерживает замкнутый цикл управления данными после их получения из различных внешних источников. На этапе сбора данных производится их очистка, профилирование и обогащение. Далее в рамках формирования мастер-данных выстраиваются связи и иерархии между данными и их классификация. Рассылка данных во внешние источники может происходить в режиме реального времени, по расписанию или по точечной подписке по настраиваемым параметрам.

**Основные эффекты от внедрения.** С точки зрения бизнеса MDM-система обеспечивает постоянную актуальность информации за счет применения современных методов хранения и обработки данных. С ней могут интегрироваться локальные информационные системы, которые в режиме реального времени получают все публикуемые изменения.

СИГМА.MDM — универсальное и легко масштабируемое решение, в котором можно расширить состав справочников и обеспечить нормализованными данными ключевые бизнес-процессы заказчика: инвестиционную деятельность, бюджетирование, управление структурными изменениями, производственными активами, деятельностью энергосбытовых подразделений.

## 18. ПРОЕКТЫ АО «СО ЕЭС»

### 18.1. «Управление спросом на электроэнергию»

	<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный, новые рынки
	<b>Стадия зрелости</b>	пилотирование, внедрение
	<b>Используемое ПО</b>	расчетный модуль управления спросом
	<b>Применяемые ЦТ</b>	новые производственные технологии, системы распределенного реестра, интернет вещей, искусственный интеллект, робототехника и сенсорика

**Актуальность проекта.** Управление спросом на электроэнергию — это изменение потребления электроэнергии потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на изменение цен на электроэнергию во времени или в ответ на стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке или когда системная надежность под угрозой.

Пилотный проект «Управление спросом на электроэнергию» реализуется АО «СО ЕЭС» с 2019 года<sup>15</sup>. Предпосылкой к реализации управления спросом является рост технологических возможностей для изменения потребителями режимов собственного электропотребления и для использования такого изменения в интересах всей энергосистемы в силу развития технологий телекоммуникаций, средств автоматизации производства, распространения распределенной генерации и накопителей энергии. Использование ресурса потребителей позволяет повысить эффективность работы энергосистемы и создает новые механизмы оптимизации затрат на энергоснабжение, а также увеличит использование эффективной генерации. Создание нового сегмента рынка стимулирует внедрение современных технологических решений.

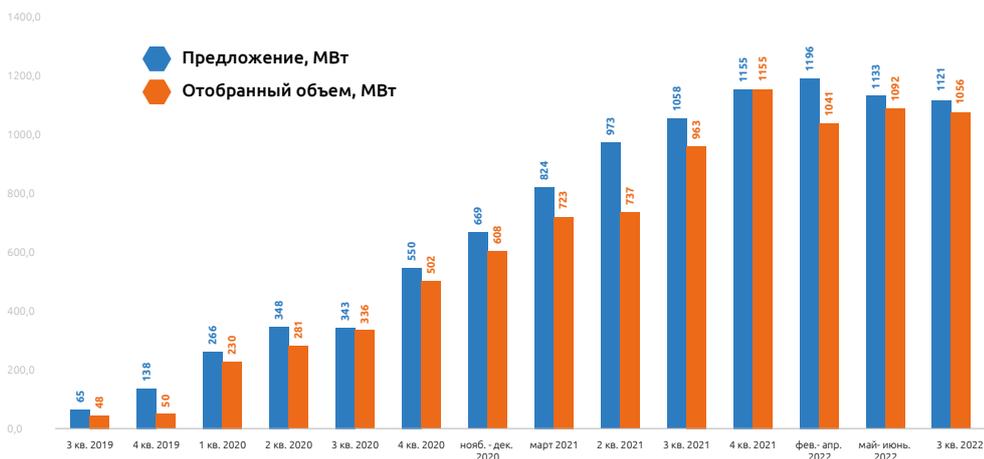
Бюджет проекта в 2022 году составил 2,2 млрд руб. (предельный объем средств, установленный ФАС России, в форме оплаты услуг по оперативно-диспетчерскому управлению).

**Цели проекта** — создание регуляторной среды, системы юридических отношений и расчетов, позволяющих потребителям выступать поставщиками ресурсов гибкости в энергосистеме; институционализация новых видов деятельности по агрегированию ресурсов гибкости широкого круга потребителей различного типа; внедрение цифровых технологий, обеспечивающих функционирование нового сектора рынка в электроэнергетике.

В результате реализации проекта будет решена задача создания и устойчивого развития нового сегмента рынка электроэнергетики. К 2025 году должны наблюдаться устойчивый рост рынка управления спросом (до 4 ГВт) и снижение затрат на электроэнергию для участвующих потребителей. К 2030 году ожидается полноценный учет ресурсов гибкости потребителей на рынке мощности, объем рынка управления спросом составит 5 ГВт.

Этапы реализации проекта. На предыдущем этапе реализации проекта (2019–2020 годы) проводилась проверка работоспособности модели управления спросом, отработка взаимодействия АО «СО ЕЭС», агрегаторов и потребителей. Текущая динамика объемов управления спросом приведена на рис. 18.1. Действие пилотного проекта продлено до 31 декабря 2022 года с целью отработки новых критериев задействования ресурсов управления спросом на рынке на сутки вперед. Также в 2021–2022 годах велась разработка нормативно-правовых актов для внедрения целевой модели управления спросом.

<sup>15</sup> Информацию о начальном этапе реализации проекта см. в альманахе Ассоциации «Цифровая энергетика» за 2020 год. URL: <https://www.digital-energy.ru/activity/almanac/>.



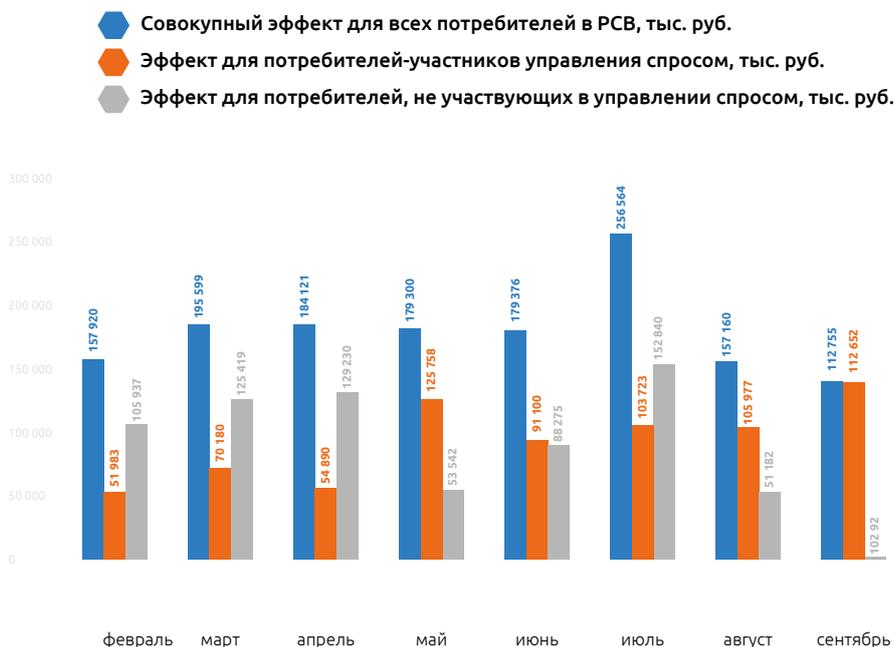
**Рис. 18.1.** Динамика объемов управления спросом (2019–2022)

В рамках продления пилотного проекта на 2022 год отрабатываются механизмы, стимулирующие к повышению качества исполнения обязательств по договорам оказания услуг по управлению спросом, в том числе: квалификационные испытания, повышенная финансовая ответственность за неисполнение, возможность частичного исполнения, введение минимального порога готовности, установление требований к минимальному объему снижения потребления. Проводится разработка и тестирование методологии расчета влияния управления спросом на снижение углеродного следа.

В рамках дальнейших шагов по реализации проекта планируется:

- ▶ 2022 г. — принятие законодательных изменений для внедрения целевой модели управления спросом (изменения в Федеральном законе «Об электроэнергетике», правила оптового рынка);
- ▶ 2023 г. — утверждение подзаконных актов и изменений в договор о присоединении к оптовому рынку и начало оказания услуг по управлению изменением потребления на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

**Основные эффекты от внедрения проекта.** Внедрение новых критериев позволило вывести величину получаемого эффекта на новый уровень (рис. 18.2).



**Рис. 18.2.** Эффект от управления спросом на оптовом рынке электроэнергии в 2022 г.

Внедрение механизма управления спросом является стимулом для развития цифровых решений в сфере разработки платформ для агрегирования ресурсов потребителей, автоматизации производства, разработки аналитических сервисов, платформ для обмена данными участниками рынка управления спросом на электроэнергию.

В рамках пилотного проекта порядка 18% агрегаторов используют специализированные IT-решения, разработанные сторонним разработчиком, остальные на данном этапе используют собственные разработки. Развитие механизма, увеличение количества участвующих потребителей и появление требований к минимальному объему разгрузки агрегированных объектов управления формируют для агрегаторов стимулы к созданию цифровых платформ для агрегирования потребителей и управления готовностью и разгрузкой таких объектов.

Пилотный проект показал работоспособность модели организации экономических взаимоотношений для нового вида технологий гибкости в энергосистеме, наличие технологий управления потреблением и высокую заинтересованность со стороны потребителей розничного рынка электроэнергии и организаций электроэнергетической отрасли.

## 18.2. Итоги пилотных проектов по переводу информационного обмена на CIM

	<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный
	<b>Стадия зрелости</b>	промышленная эксплуатация, тиражирование
	<b>Применяемые СЦТ</b>	новые производственные технологии

**Актуальность проекта.** Общая информационная модель (Common Information Model, CIM) — стандартизованная семантическая модель данных, описывающая основные объекты, необходимые для представления энергосистемы и деловых процессов электроэнергетических предприятий, обеспечивающая возможность эффективной интеграции разнородных автоматизированных систем и обеспечивающая унифицированный способ обмена данными между ними вне зависимости от их назначения и производителя.

Актуальность внедрения CIM в ЕЭС России обусловлена:

- ▶ необходимостью унифицированной структуры и формата обмена данными информационных моделей для ускорения внедрения цифровых решений;
- ▶ необходимостью создания конкурентной среды разработки информационных систем;
- ▶ необходимостью упорядочивания информации о ЕЭС России для качественно новых решений в части оперативного управления и перспективного развития;
- ▶ перспективой создания единого информационного пространства с логической взаимосвязью данных, используемых в информационных системах субъектов электроэнергетики;
- ▶ необходимостью определения унифицированной структуры общих данных для реализации процессов цифровой трансформации.

Проект по внедрению CIM реализуется АО «СО ЕЭС» с 2012 года<sup>16</sup>. За прошедший период создана Единая информационная модель ЕЭС России, проведена интеграция с автоматизированными системами АО «СО ЕЭС», утверждены 6 национальных стандартов серии ГОСТ Р 58651 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики». В процессе публичного обсуждения находится еще 6 проектов национальных стандартов указанной серии. В 2020–2021 годах проведен ряд пилотных проектов с компаниями электроэнергетической отрасли по переводу информационного обмена на CIM. Получены положительные результаты пилотных проектов интеграции информационных моделей АО «СО ЕЭС» и ПАО «Россети» в объеме базисного профиля (ГОСТ Р 58651.2-2019), а также в трех пилотных зонах — в расширенном объеме информации о параметрах и характеристиках объектов электросетевого хозяйства.

**Цель проекта** — создание Единой цифровой модели ЕЭС России путем интеграции информационных моделей субъектов электроэнергетики, позволяющей повысить качество данных, снизить их разнородность и разновременность обновления, сократить сроки ввода в эксплуатацию информационных систем, независимо от производителя.

К основным задачам проекта относятся:

- ▶ разработка серии национальных стандартов, описывающих информационную модель электроэнергетики (серия ГОСТ Р 58651);
- ▶ разработка методических указаний по цифровому моделированию электрической сети и энергосистем;
- ▶ разработка порядка ведения и актуализации Единой цифровой информационной модели ЕЭС России;
- ▶ поэтапный перевод процессов информационного обмена между энергокомпаниями в соответствии с требованиями серии национальных стандартов ГОСТ Р 58651.

**Этапы реализации проекта.** Основные этапы реализации проекта приведены на рис. 18.3.



**Рис. 18.3.** Этапы реализации проекта

В 2021–2022 годах в рамках работы подкомитета ПК-7 «Интеллектуальные технологии в электроэнергетике» технического комитета ТК 016 «Электроэнергетика» подготовлены первые редакции новых национальных стандартов серии ГОСТ Р 58651:

- ▶ профиль информационной модели коммерческого учета электроэнергии (утвержден);
- ▶ профиль информационной модели ЛЭП и электросетевого оборудования напряжением 0,4–35 кВ (утвержден);
- ▶ профиль информационной модели релейной защиты и сетевой автоматики;
- ▶ профиль информационной модели управления техническим обслуживанием и ремонтом объектов электроэнергетики;
- ▶ профиль информационной модели управления техническим состоянием объектов электроэнергетики;
- ▶ профиль информационной модели оперативной технологической информации;
- ▶ профиль информационной модели неоперативной технологической информации.

Также в 2022 году разработаны изменения в стандарты ГОСТ Р 58651.1–4. Изменения прошли этап голосования и направлены на утверждение в Росстандарт.

В сентябре 2020 года создана рабочая группа с целью обеспечения единства применения национальных стандартов серии ГОСТ Р 58651 в деятельности АО «СО ЕЭС» и ДЗО ПАО «Россети», а также создания, актуализации и обмена данными информационных моделей в электроэнергетике без привязки к решениям конкретных разработчиков ПО. Рабочей группой получены следующие основные результаты:

- ▶ сформулированы предложения по порядку формирования и ведения единой цифровой модели электроэнергетики Российской Федерации;
- ▶ разработана и утверждена методика моделирования цифровой электрической сети;
- ▶ составлен перечень текущих и перспективных деловых процессов, в которых целесообразен переход на CIM;
- ▶ разработан регламент взаимодействия филиалов АО «СО ЕЭС» и ДЗО ПАО «Россети» при обмене данными ИМ;
- ▶ успешно реализован информационный обмен в объеме базисного профиля (ГОСТ Р 58651.2-2019) во всех ДЗО ПАО «Россети» и филиалах АО «СО ЕЭС»;
- ▶ успешно реализован информационный обмен в расширенном объеме (ГОСТ Р 58651.2-2019 и Р 58651.3-2020) в трех пилотных зонах.

Планируется, что к 2024 году все ДЗО ПАО «Россети» должны обеспечивать информационный обмен с АО «СО ЕЭС» в расширенном объеме в рамках Единой информационной модели.

**По итогам пилотных проектов** с компаниями электроэнергетики по внедрению информационного обмена в рамках Единой информационной модели ЕЭС России можно выделить следующее:

- ▶ необходима разработка *подробных* методических материалов;
- ▶ необходима наработка компетенций по CIM;
- ▶ к наиболее сложным задачам относятся обеспечение единства подходов моделирования и объединение моделей разных субъектов;
- ▶ необходимо обеспечить единство идентификаторов объектов модели, а именно: нормативно закрепить порядок назначения идентификаторов и определить процедуру получения информации по объектам внешней сети (принадлежащих третьим лицам);

- ▶ после «отладки» информационного обмена существенно упрощается и ускоряется как передача информации, так и ее анализ в сравнении с передачей в текстовых или табличных файлах (pdf, doc, xls), исключается человеческий фактор в части переноса данных с одного носителя на другой;
- ▶ остается человеческий фактор в части первичного ввода информации, однако использование одних данных во множестве процессов позволяет быстрее выявить и устранить ошибки.

#### Основные эффекты от реализации проекта:

- ▶ **для бизнеса:**
  - снижение затрат на внедрение новых информационных систем и сокращение сроков внедрения;
  - повышение уровня автоматизации бизнес-процессов, снижение трудозатрат на инжиниринг данных;
  - обеспечение интеграции информационных систем, разработанных независимо разными производителями;
  - повышение уровня доступности информации;
  - снижение зависимости от конкретного производителя ПО;
  - создание отечественного ПО, конкурентоспособного на мировом рынке;
- ▶ **для энергосистемы:**
  - повышение качества данных, снижение разнородности и разновременности их обновления;
  - повышение качества процессов, в том числе: управления активами, расчета показателей надежности электроснабжения потребителей, оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления.

#### Перспективы проекта:

- ▶ возможность масштабирования на процессы информационного обмена субъектов электроэнергетики;
- ▶ возможность ускорения процессов разработки отраслевых информационных систем и появления конкурирующих программных продуктов;
- ▶ возможность появления услуг по раскрытию данных информационных моделей ЕЭС России (например, для целей проектирования);
- ▶ изменение бизнес-процессов компаний путем интеграции различных баз данных, включая интеграцию информационных моделей с другими компаниями, выражающееся в повышении качества данных, сокращении дублирования бизнес-процессов ведения нормативно-справочной информации, а также ускорении внедрения информационных систем.

## 18.3. Применение технологии синхронизированных векторных измерений для задач мониторинга и управления переходными режимами ЕЭС России



<b>Тип проекта</b>	инфраструктурный
<b>Стадия зрелости</b>	промышленная эксплуатация, масштабирование
<b>Применяемые СЦТ</b>	промышленный интернет вещей, искусственный интеллект

**Актуальность проекта.** Синхронизированные векторные измерения (СВИ) — это совокупность векторных и скалярных параметров электроэнергетического режима, измеренных и рассчитанных в заданном объеме, с заданной дискретизацией в однозначно определенные моменты времени, синхронизированные с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. Технология СВИ является результатом конвергенции инструментов цифровой обработки сигналов, синхронизации времени и информационно-коммуникационных технологий.

Основные свойства технологии СВИ:

- ▶ нормированная точность измерений в стационарных и переходных режимах;
- ▶ измерения расширенного набора параметров (векторов токов, векторов напряжений, частоты, мощности, параметров симметричных составляющих и проч.);
- ▶ высокая частота дискретизации (50 кадров/с), обеспечивающая измерения параметров электромеханического переходного режима;
- ▶ высокий уровень синхронизации времени (1 мкс), обеспечивающий точность измерения фазового угла до  $0,1^\circ$ ;
- ▶ использование протокола передачи данных IEEE C37.118.2, адаптированного для надежной передачи большого объема данных в режиме онлайн.

СВИ необходимы для совершенствования технологий оперативного и автоматического управления энергосистемой. Системы СВИ могут резервировать (заменять) системы телеметрии, обеспечивать мониторинг работы устройств противоаварийной автоматики, применяться для послеаварийного анализа. СВИ позволяют в онлайн-режиме реализовать мониторинг работы систем возбуждения и автоматических регуляторов возбуждения, повысить эффективность оценивания состояния электроэнергетического режима, обеспечить мониторинг работы генерирующего и сетевого оборудования, рассчитывать инерцию энергосистемы, идентифицировать источник низкочастотных колебаний, выполнять верификацию расчетных моделей и расчет параметров схемы замещения ЛЭП и т.п. Также данные СВИ применяются для мониторинга разделения энергосистемы на части, управления по углу, создания систем ситуационной осведомленности.

**Основная цель проекта** — внедрение систем мониторинга, управления и защиты на платформе СВИ в реальный контур управления энергосистемой. Для достижения данной цели решаются следующие задачи:

- ▶ разработка нормативно-технической документации:
  - требования к устройствам СВИ (УСВИ) и концентраторам синхронизированных векторных данных (КСВД);
  - требования к системам мониторинга переходных режимов (СМПР) на этапах разработки, внедрения и эксплуатации;
  - требования к составу передаваемой информации;
- ▶ определение критериев установки УСВИ и КСВД;
- ▶ создание системы сбора данных СВИ;
- ▶ разработка отечественного оборудования и ПО;
- ▶ сертификация устройств систем мониторинга переходных режимов.

**Этапы реализации проекта.** Работы по применению технологии СВИ в ЕЭС России для решения практических задач управления начаты еще в 2005 году, когда АО «СО ЕЭС» инициировало создание СМПР. При этом концептуальный подход при создании СМПР ЕЭС России предусматривает ориентацию на внедрение российских разработок и оборудования российских компаний.

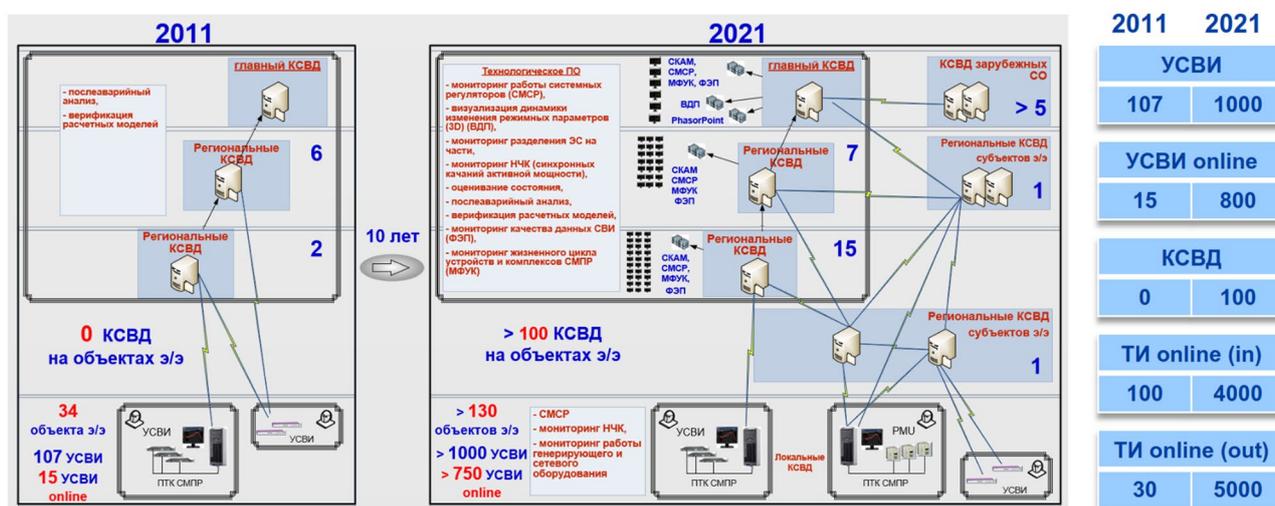
В рамках решения задачи по **разработке нормативно-технической документации** в 2012–2019 годах принят ряд национальных стандартов (ГОСТ Р 55105-2012 и ГОСТ Р 55438-2013), а также стандартов

АО «СО ЕЭС», устанавливающих требования к СМПР, УСВИ и КСВД, а также их применению в схемах РЗА и ПА. В 2021 году введены в действие национальные стандарты:

- ▶ ГОСТ Р 59364-2021. ЕЭС и изолированно работающие энергосистемы. РЗА. СМПР. Нормы и требования;
- ▶ ГОСТ Р 59366-2021. ЕЭС и изолированно работающие энергосистемы. РЗА. СМПР. Концентраторы синхронизированных векторных данных. Нормы и требования;
- ▶ ГОСТ Р 59365-2021. ЕЭС и изолированно работающие энергосистемы. РЗА. СМПР. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования.

**Определены критерии**, по которым УСВИ и КСВД должны устанавливаться на электростанциях с установленной мощностью 500 МВт и более, а также подстанциях, имеющих распределительные устройства высшего класса напряжения 330 кВ, а именно на отходящих ЛЭП 330 кВ и выше, синхронных генераторах свыше 200 МВт и более, гидрогенераторах свыше 100 МВт, а также присоединениях, входящих в контролируемые сечения с напряжением свыше 220 кВ.

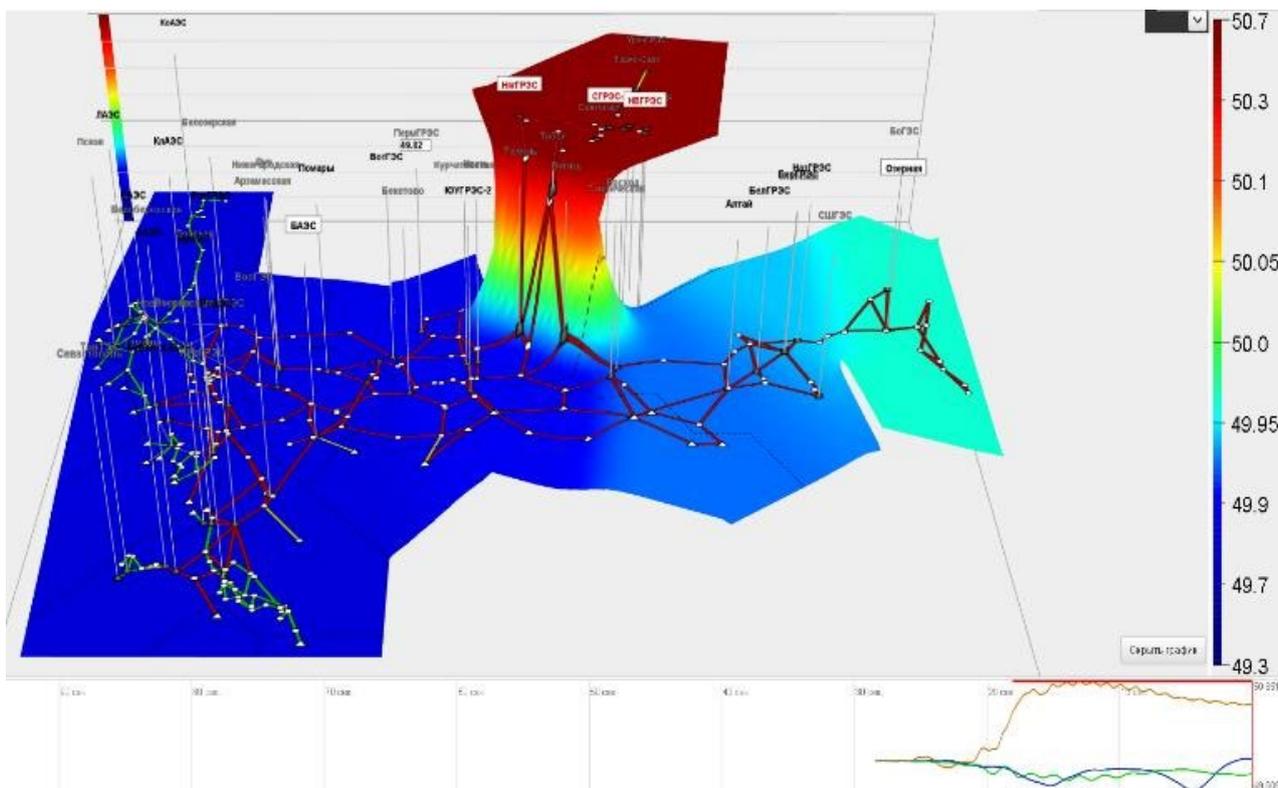
**Создана автоматизированная система, обеспечивающая сбор данных СВИ** в режимах онлайн и офлайн (рис. 18.4).



**Рис. 18.4.** Развитие автоматизированной системы сбора данных синхронизированных векторных измерений

Технологическое ПО обеспечивает мониторинг работы системных регуляторов, визуализацию динамики изменения режимных параметров, мониторинг разделения электронной системы на части, мониторинг синхронных качаний активной мощности, оценивание состояния в системе мониторинга запасов устойчивости, послеаварийный анализ, мониторинг качества данных СВИ, мониторинг жизненного цикла устройств и комплексов СМПР. На 2022 год СМПР включает свыше 1000 УСВИ, из которых более 750 работают в онлайн-режиме, и 100 КСВД. Созданная коммуникационная система позволяет проводить онлайн свыше 400 тыс. телеизмерений в секунду, при этом задержка сбора данных составляет от 50 до 200 мс, а потери данных не превышают 0,1%.

**Разработано отечественное оборудование и ПО**, позволяющее повысить ситуационную осведомленность. ПО дает возможность осуществлять расчет и визуализацию динамики изменения режимных параметров частоты, напряжения и фазового угла напряжения, идентификацию места возмущения и возникновения колебаний, мониторинг разделения электронной системы на части, проигрывание режима развития технологического возмущения (рис. 18.5). В перспективе в ПО будет реализован инструментальный программируемой логики, разработаны экспертные функции для предупреждения и информирования диспетчера, осуществлена интеграция с иным ПО на основе данных СВИ, а также проведено внедрение в диспетчерских центрах объединенного диспетчерского управления.



**Рис. 18.5.** Визуализация динамики изменения режимных параметров

Некорректная работа систем управления с обратной связью, функционирование гидрогенераторов в зонах недопустимой работы, влияние ВИЭ и вставок постоянного тока, изменение режимов работы промышленных производств с периодическими резко переменными характеристиками нагрузки могут приводить к появлению в энергосистеме низкочастотных колебаний. Они могут приводить к нарушению колебательной устойчивости в энергосистеме, разделению энергосистемы на части, дефектам и отключениям генерирующего оборудования и потребителей. В ЕЭС России в 2011–2021 годах зафиксировано более 10 случаев длительных высокоамплитудных синхронных качаний активной мощности, которые привели к отключению генерирующего оборудования и потребителей, разделению энергосистемы на части.

На основе технологии СВИ **разработано ПО**, позволяющее осуществлять в режиме реального времени мониторинг синхронных качаний активной мощности: определять параметры колебаний, степень опасности и своевременно уведомлять персонал диспетчерских центров и электростанций. Мониторинг синхронных качаний реализован в контролируемых сечениях ЦДУ, 7 ОДУ, Тюменском и Якутском РДУ. Мониторинг низкочастотных колебаний на генераторах не производится, однако колебания, возникающие на генераторах, чаще всего «невидимы» для диспетчерских центров и приводят к выходу параметров работы генераторов за допустимые границы. Это обуславливает необходимость применения ПО для мониторинга синхронных качаний активной мощности на электростанциях.

**Перспективы развития проекта.** В дальнейшем планируется разработка новых функций СМПР для решения задач оперативно-диспетчерского и автоматического управления:

- ▶ внедрение режимного и противоаварийного управления для расчета параметров ЛЭП и оборудования, оценивания состояния электрического режима, управления по параметрам фазового угла;
- ▶ развитие ПО на основе данных СВИ, а именно введение новых алгоритмов поиска источников колебаний, создание базы данных настроек автоматических регуляторов возбуждения, разработка средств мониторинга жизненного цикла устройств СМПР, проверки качества и достоверности данных, верификации расчетных моделей генерирующего и сетевого оборудования.

**Основным эффектом от реализации проекта** является повышение надежности и безопасности электро-снабжения, в частности:

- ▶ повышение качества информационной поддержки оперативного и диспетчерского персонала при управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы;
- ▶ повышение точности расчетов электроэнергетического режима;
- ▶ повышение устойчивости работы генерирующего оборудования;
- ▶ сокращение числа технологических нарушений в энергосистеме, возникающих в результате нарушения колебательной или динамической устойчивости;
- ▶ повышение точности противоаварийного управления за счет применения в алгоритмах работы противоаварийной автоматики фазовых углов напряжений.

## 18.4. Прогнозирование вырабатываемой мощности солнечных и ветровых электростанций



**Актуальность проекта.** Достижение целей по углеродной нейтральности к 2050 году предполагает активное развитие зеленой генерации, в том числе ветровых электростанций (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС). На 1 января 2022 года установленная мощность ВЭС и СЭС в России составила в совокупности 3996 МВт (1,6% в структуре установленной мощности ЕЭС России за 2021 год)<sup>17</sup>. По прогнозам Минэнерго России, доля ВЭС и СЭС в энергобалансе достигнет 12,5% к 2050 году<sup>18</sup>.

Строительство и эксплуатация ВЭС и СЭС тесно связаны с вопросами прогнозирования вырабатываемой ими мощности. В отсутствие достоверных прогнозов выработки ВЭС и СЭС возникает необходимость постоянного поддержания полноценного резерва активной мощности в энергосистеме, что означает задействование тепловой генерации и ее работу в неэкономичных режимах, а также дополнительное резервирование пропускной способности электрических сетей<sup>19</sup>. Избыточные мощности формируют дополнительную нагрузку на потребителей. По этим причинам разработка систем прогнозной аналитики выработки из ВИЭ является актуальной научно-технической задачей.

<sup>17</sup> Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 году. URL: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups\\_rep2021.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups_rep2021.pdf).

<sup>18</sup> URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2021/9569311.htm>.

<sup>19</sup> Ерощенко С.А. Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск, 2020. 24 с.

АО «НТЦ ЕЭС Информационные комплексы» (дочернее предприятие АО «СО ЕЭС») разработаны информационные системы прогнозирования вырабатываемой мощности СЭС и ВЭС. Системы интегрированы в информационное пространство АО «СО ЕЭС» с целью учета в расчетах планов балансирующего рынка.

**Цель проекта** — разработка средств прогнозирования вырабатываемой мощности на ВЭС и СЭС с учетом метеорологических условий.

Разработанные информационные системы позволяют решать следующие задачи:

- ▶ осуществлять получение прогнозных метеоданных из различных источников;
- ▶ осуществлять прием телеметрии (температура, инсоляция и проч.) от датчиков на объектах прогнозирования;
- ▶ формировать прогноз мощности на основе методов машинного обучения и анализа физических моделей;
- ▶ выполнять расчет ошибок прогнозирования;
- ▶ осуществлять накопление данных (прогнозных метеоданных, телеметрии, прогнозов мощности и ошибок прогнозов).

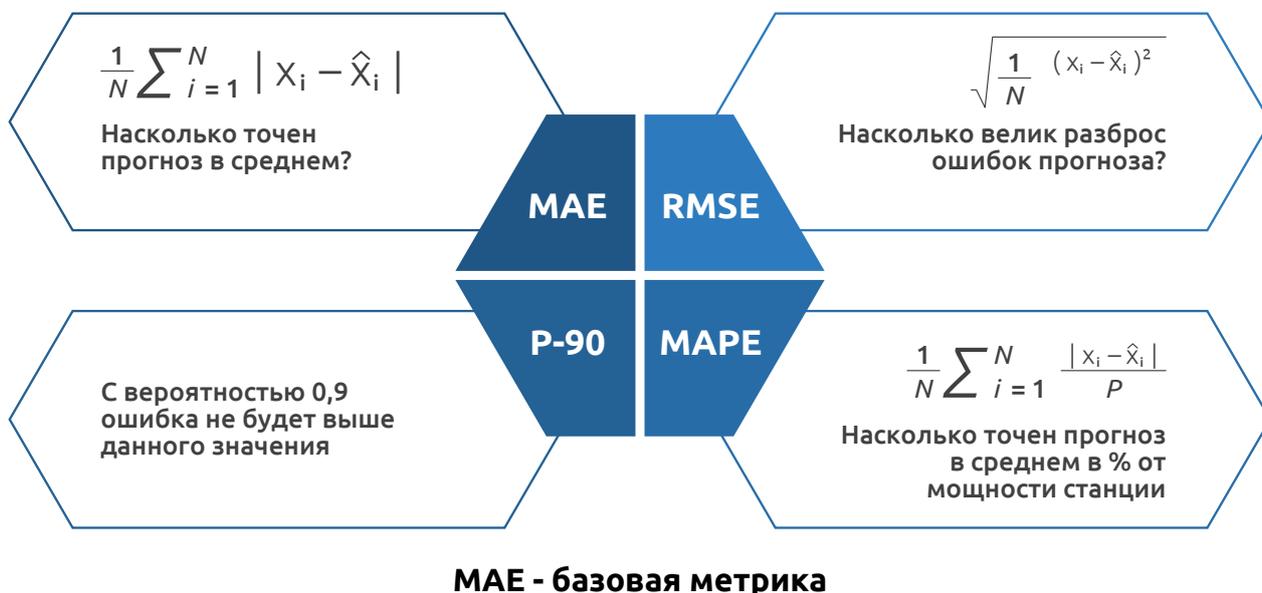
**Основные технические решения.** Системы обеспечивают оперативный (до 1 часа с шагом 15 минут), краткосрочный (от 1 до 4 часов с шагом 1 час) прогнозы вырабатываемой мощности ВЭС и СЭС. Источниками данных для модели прогнозирования являются доступные метеопрогнозы, а также данные телеметрии СЭС и ВЭС (рис. 18.6).



**Рис. 18.6.** Источники данных для модели прогнозов вырабатываемой мощности

Модель реализует методы машинного обучения для подготовки оперативных и краткосрочных прогнозов. Методы машинного обучения включают использование алгоритмов градиентного бустинга и нейросетей прямого распространения.

Для оценки ошибок прогнозирования применяются различные метрики (рис. 18.7), основной из которых является средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE). Накопление ошибок прогнозирования и выявление соответствующих закономерностей и признаков в данных позволяет в дальнейшем повысить точность прогнозов.



**Рис. 18.7.** Основные метрики ошибок

**Основные эффекты от реализации проекта.** Пилотный проект реализован на трех солнечных электростанциях в Астраханской области. В дальнейшем осуществлена подготовка данных и обучение моделей для новых 17 СЭС ОДУ Юга. В перспективах тиражирование решения на все СЭС, входящие в оптовый рынок электроэнергии и мощности. Реальные данные эксплуатации показывают, что ошибка оперативных прогнозов (15 минут — 60 минут) вырабатываемой мощности ВЭС и СЭС не превышает 5% (на интервале в 1 месяц по критерию MAPE), краткосрочных прогнозов (от 1 до 4 часов) — не превышает в среднем 12%.

Разработанные программные решения и комплексы повышают надежность и стабильность эксплуатации ЕЭС, позволяют сократить избыточные резервные мощности и тем самым опосредованно снизить нагрузку на потребителя.

## 19. ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

В последнее время наблюдается существенное увеличение количества компьютерных атак, в отчетах компаний кибербезопасности приводятся данные об увеличении примерно на 60% по сравнению с 2019 годом количества атак на промышленные и энергетические компании по всему миру. С 2020 года фиксируется двукратный рост атак через цепочку поставок. Если брать данные за 2021 год, то, по данным аналитического отчета экспертной подгруппы по кибербезопасности НТИ «Энерджинет» [19.1], в России четыре из пяти объектов электроэнергетики могут быть уязвимы к кибератакам из-за рубежа.

1 мая 2022 года вступил в силу Указ Президента Российской Федерации «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности (ИБ) Российской Федерации», направленный на повышение устойчивости и безопасности функционирования информационных ресурсов РФ. В положениях данного указа, которые относятся как к федеральным и региональным органам исполнительной власти, так и к субъектам критической информационной инфраструктуры, в том числе к компаниям электроэнергетического сектора, указывается необходимость создания в организации структурного подразделения, функции которого будут включать обеспечение ИБ, например обнаружение, предупреждение и ликвидацию последствий компьютерных атак и реагирование на компьютерные инциденты.

С учетом положений указа и «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года», утвержденной Правительством Российской Федерации, Экспертная группа по кибербезопасности Ассоциации «Цифровая энергетика» способствует решению вопросов, связанных с обеспечением ИБ, путем активного взаимодействия с органами власти и экспертным сообществом для оптимизации следующих процессов:

- ▶ нормотворчества и федерального государственного контроля (надзора) за обеспечением безопасности объектов топливно-энергетического комплекса и защиты объектов топливно-энергетического комплекса, в том числе объектов критической информационной инфраструктуры, от киберугроз;
- ▶ планомерного перехода на использование отечественных автоматизированных систем управления технологическими процессами и ПО на объектах топливно-энергетического комплекса, в том числе объектах критической информационной инфраструктуры.

Для достижения указанных целей Экспертной группой по кибербезопасности прорабатывается проект по формированию Центра экспертизы информационной безопасности на базе Ассоциации (проект «Центр экспертизы информационной безопасности»), а также проводятся другие работы в соответствии с перспективными задачами на 2022 год, которые включают:

- ▶ обеспечение необходимых сил и средств для реализации актуальных потребностей компаний — членов ассоциации в области ИБ;
- ▶ обмен полезной информацией и передовым опытом по вопросам ИБ между компаниями — членами ассоциации, участие в реализации задач Центра экспертизы;
- ▶ организация и проведение мероприятий по обмену опытом с экспертным сообществом и регуляторами в области ИБ;
- ▶ анализ разрабатываемых и актуализируемых требований ИБ, в том числе анализ лучших мировых практик.

Реализация проекта по созданию Центра экспертизы информационной безопасности на базе ассоциации будет способствовать развитию и агрегации знаний в области ИБ среди компаний электроэнергетической отрасли и федеральных органов исполнительной власти и, как результат, усилению комплексной защищенности — за счет обмена актуальной информацией, знаниями и повышения уровня осведомленности, а также формирования культуры безопасного использования и разработки цифровых решений (рис. 19.1).



**Рис. 19.1.** Преимущества при реализации проекта «Центр экспертизы информационной безопасности»

Энергетика как отрасль критической инфраструктуры обеспечивает деятельность стратегически важных производств, работу телекоммуникационных станций, социально значимых объектов. Сбои в энергоснабжении могут привести к экологическим катастрофам, авариям и создать угрозу здоровью населения. На фоне этого набор ПО в электроэнергетике (используемого и планируемого к применению) имеет свои особенности и требует проработки специфического подхода к обеспечению его безопасности.

Все эти особенности, создающие ландшафт безопасности сферы электроэнергетики, формируют у представителей профильного рынка потребность в обмене опытом и актуальной информацией, отслеживании мировых и российских трендов при взаимодействии с ведущими компаниями, экспертами профильных российских рынков — для выработки лучших практик защиты информации, в том числе безопасной разработки ПО.

## Список использованных источников

19.1. Аналитический отчет «Кибербезопасность в электроэнергетике». М.: «Энерджинет» НТИ, 2020.

*Авторский коллектив:*

**Антон Зубков  
Александр Сухов  
Александр Шавкун  
Роман Тимофейчик  
Александр Капустин  
Евгений Юрищев  
Анастасия Вакуленко**

*Дизайн* **Оксана Шулешко**  
*Иллюстрации* **Павел Малинин**  
*Корректор* **Любовь Агадулина**

**Авторы выражают особую благодарность заместителю  
председателя правления Ассоциации «НП Совет рынка» Олегу Баркину  
за предоставленный экспертный комментарий**





ЦИФРОВАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА

115093, г. Москва, ул. Щипок, д. 18, стр. 2

+7 (495) 211 52 00

[info@digital-energy.ru](mailto:info@digital-energy.ru)

[www.digital-energy.ru](http://www.digital-energy.ru)

