



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.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

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 системами¹. Такие концептуальные подходы к трансформации энергосистем хорошо укладываются в парадигму четвертой промышленной революции. Она характеризуется широким внедрением киберфизических систем² 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 решений³. 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.

На рис. 1.1 показаны основные направления применения ИИ в электроэнергетике⁴. 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.

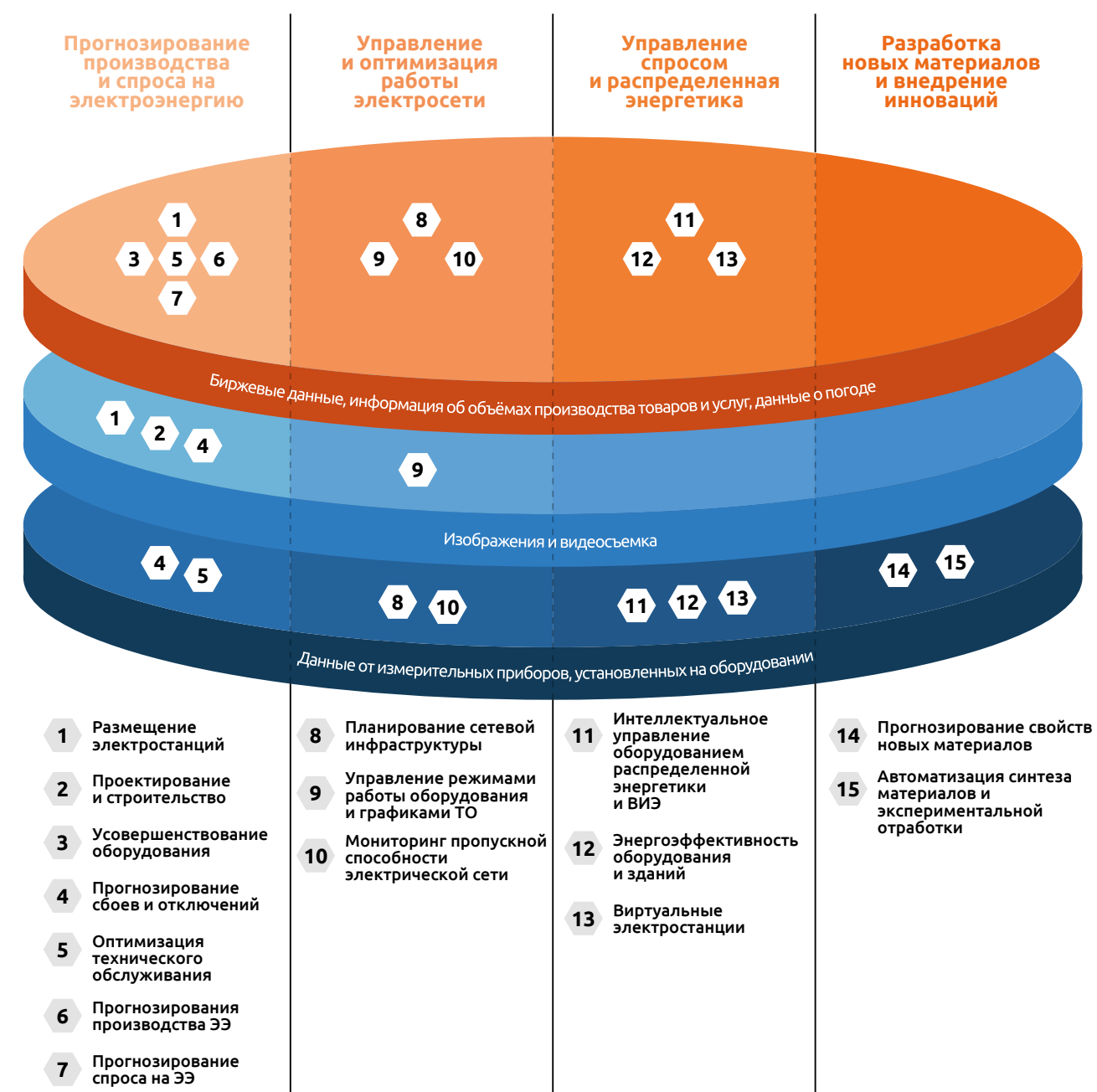


Рис. 1.1. Использование искусственного интеллекта в электроэнергетике

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».

4 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.

- 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 электроэнергии⁵.

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-

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 отчете⁶ 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
Регулирование	
Управление рисками	Согласование общих технологических и образовательных подходов к управлению рисками, связанными с ИИ
Стандартизация	Использование единых подходов к программному обеспечению и интерфейсам (например, отраслевых стандартов)
Ответственность	Однозначное определение зон ответственности разработчиков и эксплуатантов за решения, принимаемые с использованием ИИ (в оборудовании или программном обеспечении)
Стимулирование разработок	
Автоматизация	Внедрение таких подходов к проектированию оборудования, которые позволят повысить уровень автоматизации и автономности ИИ
Устойчивое развитие	При разработке технических решений с применением ИИ ориентироваться в том числе на энергоэффективность и оптимальное использование ресурсов, включая вычислительные мощности
Разработки	Технические решения с применением ИИ должны быть удобными в использовании, а получаемые с их помощью результаты однозначно интерпретируемыми
Внедрение	
Данные	Создание механизмов (платформ) обмена данными, позволяющими повысить их доступность и качество
Стимулирование	Создание рыночных механизмов и нормативно-правового регулирования, позволяющих получать выгоду от использования ИИ
Образование	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.

5 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>.

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 экономики⁷; создан Кодекс этики в сфере ИИ⁸, 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.



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.