

УДК 620.9

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СВЕТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ, ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ И РАСТУЩЕЙ РОЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Малимон А.П. (АО «Россети Тюмень») – ведущий инженер отдела электрических режимов центра управления сетями, член Молодежной секции РНК СИГРЭ

Трофименко Е.С. (Филиал АО «Россети Тюмень» Нижневартовские электрические сети) - инженер 1 категории группы по эксплуатации и ремонту коммутационного оборудования подстанций службы эксплуатации и ремонта подстанций

Акционерное общество «Россети Тюмень» (АО «Россети Тюмень»), г. Сургут

Аннотация

Состояние вопроса: Цель данной статьи – обсудить подходы к использованию технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) в энергетике. Они могут быть ориентированы на повышение эффективности бизнес-процессов за счет исключения рутинных операций, проведения аналитических операций и распознавания информации. Рассматривается также опыт цифровой трансформации производственных активов и ее перспективы.

Материалы и методы: Методология настоящего исследования включает в себя сбор официальных статистических данных, опрос оперативного и электротехнического персонала, анализ и сопоставления факторов, SWOT- и PESTEL-анализ сильных и слабых сторон, а также рисков использования технологий.

Результаты: Проанализирован опыт отдельных организаций отрасли, определены основные факторы, влияющие на развитие технологий ИИ и цифровизацию отрасли, составлены три варианта прогноза развития отрасли с учетом выявленных факторов.

Выводы: В рамках исследования были выявлены ключевые тенденции и вызовы, связанные с цифровой трансформацией энергетики в России, а также проведен анализ возможных сценариев развития до 2035 года. Описаны причины необходимости внедрения ИИ и цифровых технологий. Обозначены риски и вызовы цифровизации, приведены варианты минимизации данных рисков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, энергетика, цифровая трансформация, прогноз развития

Обоснование актуальности

ИИ и его применение вызывает в научном сообществе и сообществе специалистов постоянные обсуждения. В настоящий момент в различных отраслях экономики России, в частности, в энергетике, прорабатываются возможности применения технологий ИИ.

Применение технологий ИИ ориентировано на повышение эффективности бизнес-процессов за счет исключения рутинных операций, проведения аналитических операций и распознавания информации. В качестве примеров – интеллектуальный поиск потерь электроэнергии, интерактивное взаимодействие с клиентами с использованием чат-ботов, распознавание и анализ оперативно-диспетчерских переговоров.

В то же время, реализация таких проектов вызывает опасения, например, в части появления новых угроз безопасности, вмешательства в информационную инфраструктуру.

Афанасьев В. Я., Воронцов Н. В. описывают необходимость внедрения риск-ориентированного управления способствует переходу от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по состоянию, что предполагает постоянную оценку технического состояния оборудования, в том числе, с помощью информационных технологий. [2]

Жилкина Ю. В., Воденников Д. А. в своей работе утверждают, что новые технологии позволяют решить задачи устойчивого развития, включая оптимизацию потребления ресурсов, снижение воздействия на окружающую среду, повышение эффективности отраслей ТЭК, увеличение предсказуемости спроса и предложения на энергию, расширение рыночных отношений и повышение уровня жизни населения. [7]

Конев С. И., Кунина И. Л. обращают внимание на необходимость правового регулирования ИИ. Термин «искусственный интеллект» в нормативных актах определяется как комплекс технологических решений, имитирующий когнитивные функции человека. Однако авторы отмечают, что ИИ не обладает способностью к познанию и его возможности следует рассматривать как инструмент для ускорения и оптимизации процессов. ИИ в ТЭК ставит вопрос информационной безопасности, включая защиту геологической информации, коммерческой тайны и персональных данных. Необходимо обеспечить возможность объяснения решений, принимаемых ИИ. [10]

Куликов А. Л., Зинин В. М. подчеркивают необходимость активной работы по разработке и принятию базового отраслевого стандарта по информационной безопасности, который упорядочит процессы отраслевой аттестации и выполнение обязательных требований государственных регуляторов. [13]

Колосок И. Н., Коркина Е. С. показывают, что с развитием цифровизации энергетических систем и внедрением интеллектуальных технологий риски кибербезопасности возрастают. Для их снижения - использование традиционных аналоговых цепей, работа в ручном режиме, дублирование устройств и каналов связи, а также строгие правила аутентификации и конфигурирования сетевых операционных систем. Меры реализованы в пилотных российских цифровых подстанций (далее – ЦПС): ЦПС 35/6 кВ «Бабайки», ПС 500 кВ «Тобол», ЦПС 110/20 кВ Медведевская. [12]

Массель Л. В. объясняет актуальность применения ИИ в энергетике необходимостью цифровой трансформации. Важной частью становится создание интеллектуальных интегрированных энергетических систем (ИИЭС), способных адаптироваться к изменениям. В ИИЭС интегрируются технологии промышленного интернета вещей (IoT), анализа больших данных (Big Data), BIM, ГИС, дистанционного зондирования Земли и спутниковой навигации. Применение онтологической модели деятельности предприятия (ВЕОМ) позволяет унифицировать и упростить обмен данными.

Создание «умных» цифровых двойников (Digital Twin), которые представляют собой виртуальные копии реальных объектов и систем, интегрирующие физические и цифровые данные. Двойники позволяют проводить моделирование, прогнозирование и оптимизацию работы энергетических объектов в режиме реального времени.

Одним из направлений развития ИИ является применение граничных вычислений (Edge Computing), которые позволяют обрабатывать данные непосредственно на местах их сбора, что снижает задержки и увеличивает оперативность реакций систем. Это актуально для управления распределенными энергетическими ресурсами и объектами. [15]

Таким образом, исследования в областях интеллектуальных энергосистем, развития ЦПС и использования ИИ в энергетике имеют потенциал для улучшения работы энергетических систем, обеспечения устойчивого развития отрасли.

Перечень и характеристика сценариев развития с применением цифровых технологий

1. Развитие сети высокоавтоматизированных ЦПС и применение ИИ в энергетике тесно связаны с рядом технических факторов.

А) Программное обеспечение (ПО): разработка ПО и алгоритмов для управления высокоавтоматизированными подстанциями, автоматизации процессов, а также внедрение системы мониторинга и диагностики оборудования - данные с ЦПС.

Б) Аппаратный уровень: современные датчики, контроллеры и реле обеспечивают сбор данных и управление процессами на подстанциях, повышая надежность и эффективность работы систем.

В) Коммуникация (связь, ВОЛС): системы связи, такие как оптоволоконные линии, обеспечивают надежную и быструю передачу данных между подстанциями и центрами управления, позволяя оперативно обмениваться информацией о состоянии оборудования.

Г) Искусственный интеллект (ИИ) – табл.1.

Таблица 1. Области применения ИИ

Генерация	Передача	Распределение	Потребитель
Солнечная	Система оценки качества электроэнергии		Солнечные панели
Классическая		Самовосстановление	Динамический контроль
Хранение электроэнергии		Встроенная ветряная генерация	Умные бытовые приборы
Ветряная	Система контроля качества	Контроль нагрузки	Умные здания

Активное развитие получили информационные системы, требующие обширного внедрения новых программных комплексов, адаптации существующих протоколов передачи информации, сопоставления с базами данных оборудования, ведущимися в ПО, подлежащем импортозамещению.

Примером этого могут являться патенты Мыцко Е. А., Байструков К. И., Аникиной И. Д. на сервер сбора данных, коммуникации и управления ЦПС [16], программу для оптимизации режимов работы ТЭЦ на основе цифровых двойников [1]. Баушев И.Е. рассматривает внедрение АСКУЭ в ФГУП «Григорьевское» [3], Бодруг Н. С., Скрипко О. В. – внедрение АСКУЭ в Дальневосточном регионе [5], которое позволит экономить время и ресурсы, снижая затраты на содержание электротехнической службы и себестоимость продукции. АСКУЭ обеспечивает сбор данных о потоках электроэнергии, их обработку, анализ и построение прогнозов потребления и генерации. Система оперативно выявляет дисбалансы в энергоснабжении.

Активно обсуждается создание и опыт внедрения в различных компаниях Единой информационной модели (СІМ), Богомолов Р. А. в своем докладе перечисляет ключевые аспекты перехода на информационный обмен с использованием СІМ. Основные условия включают готовность субъектов электроэнергетики к цифровому взаимодействию и модернизацию программного обеспечения. [4]

Змушко М. А., Соловьёв С. В. указывают на основные цели создания ЦП, которые включают в себя унификацию протоколов, уменьшение длины кабельных линий и метрологических потерь, упрощение поверки устройств, удаленную диагностику, защиту от хакерских атак и возможность использования необслуживаемых подстанций. [8]

2. Экономические факторы автоматизации ЦПС:

А) Снижение текущих расходов: Внедрение ЦПС позволяет снизить операционные расходы путем объединения разнородных систем управления и мониторинга в единую IP-сеть.

Б) Снижение капитальных расходов: Автоматизация подстанций обеспечивает возможность более эффективного использования электроэнергии и ресурсов. Это позволяет снизить необходимость в строительстве дополнительных электростанций для покрытия пиковой нагрузки.

Головщиков В.О. предлагает внести изменения в процесс реализации проектов, когда все существующие подстанции оснащаются цифровыми устройствами независимо от технического состояния силового оборудования. Рациональный путь – строительство ЦПС при новом строительстве или модернизации, что позволит оптимизировать капитальные расходы и обеспечить надежное функционирование энергообъектов. [6]

В) Обеспечение распределенной интеллектуальности: ЦПС предоставляют возможность внедрения распределенных функций управления и защиты. Это позволяет создавать новые приложения и технологии, повышая уровень интеллектуальности системы управления.

Г) Улучшенная защита энергосистемы: Цифровые технологии позволяют создать защищенные архитектуры системы, обеспечивая контроль за всеми аспектами работы подстанции и предотвращая возможные кибератаки и сбои в работе системы.

Колосок И.Н. и Коркина Е.С. отмечают, что цифровизация повышает риски киберугроз, делая ИК-подсистему уязвимой наряду с физической, и предлагают защитные меры, такие как шифрование, строгая аутентификация и мониторинг. На примере российских ЦПС внедрены дублирование сети и изоляция шины процесса для предотвращения угроз. [11]

3. Развитие сети высокоавтоматизированных ЦПС в России неразрывно связано с правовыми факторами.

Актуальные задачи на 2025 год. Предлагается выделить федеральное финансирование для исследований в области генеративного ИИ, с привлечением софинансирования от ведущих российских организаций. Провести анализ потребностей в специалистах для коррекции профессиональных и образовательных стандартов. В рамках федерального проекта «Искусственный интеллект» - создать инфраструктуру для развития крупных генеративных моделей и инновационных ИИ-технологий.

Люсый А.П. отмечает, что с 1950-х годов информационные системы поддерживали принятие решений, а ИИ способен самостоятельно находить решения. Национальные проекты «Цифровая экономика» и «Цифровая энергетика» в России нацелены на автоматизацию добычи, повышение безопасности и эффективности. Указ Президента РФ 2019 года утвердил «Национальную стратегию развития ИИ» до 2030 года, создающую правовую базу для его внедрения. [14]

Jiang D. Y., Zhang H., Kumar H. – сообщают о разработке модели автоматического контроля доступа к информационной системе энергоснабжения на основе технологий ИИ. Авторы предлагают использовать ИИ для создания детектора, который, в сочетании с нейронной сетью и искусственным иммунным алгоритмом, обеспечивает проверку запросов на доступ. [19]

4. Развитие сети высокоавтоматизированных ЦПС и внедрение ИИ зависит от политических факторов. Рассмотрим аспекты, которые могут повлиять на этот процесс:

Санкции могут ограничить доступ к технологиям и замедлить создание высокоавтоматизированных подстанций, увеличивая затраты. Мировая нестабильность вызывает колебания цен на ресурсы, что влияет на финансирование и сроки проектов. Государственное субсидирование способно значительно ускорить и расширить реализацию этих проектов.

5. Развитие сети высокоавтоматизированных подстанций зависит не только от технических и экономических аспектов, но также от социальных факторов.

Для успешного внедрения высокоавтоматизированных подстанций важно обеспечить социальную поддержку, переквалификацию и специализированное образование сотрудников, чтобы минимизировать недовольство и избежать саботирования процесса. Открытый диалог с профсоюзами позволит снизить сопротивление нововведениям. Кроме того, появятся рабочие места, требующие специальных навыков, что требует подготовки специалистов.

В проведенном в ходе прогнозирования исследовании, из 49 опрошенных, 19 – не считают, что ИИ может повлиять благотворно на установленный ряд бизнес-процессов, 11 – воздержались от ответа (Рисунок 1).

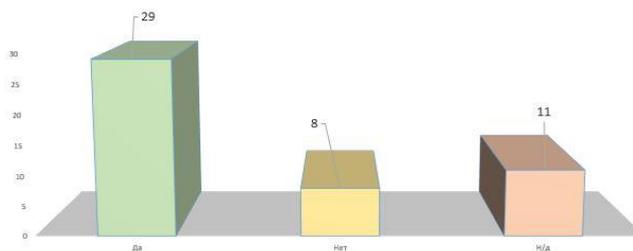


Рисунок 1. Считают, что технологии ИИ могут обеспечить оптимизацию бизнес-процесса

6. Экологические факторы играют ключевую роль в развитии сети высокоавтоматизированных подстанций, причем влияние этих факторов можно разделить на глобальные и локальные.

Внедрение высокоавтоматизированных систем на подстанциях поможет снизить выбросы парниковых газов и оптимизировать производство электроэнергии. Переход к электромобилям требует более экологически чистой энергии, что подчеркивает значимость модернизации подстанций.

Змушко М. А., Соловьёв С. В. указывают на важное преимущество ЦПС в «зеленой» энергетике, особенно для солнечных и ветряных электростанций, заключается в способности автоматически переключать потребителей на традиционные источники энергии при изменении силы ветра или солнечного излучения. [8]

Проведение SWOT и PESTEL анализов развития сценария

Рассмотрим **SWOT-анализ** – табл. 2.

Таблица 2. SWOT-анализ использования ИИ в энергосистеме.

Сильные стороны (Strengths):	Инновационные технологии: Применение ИИ позволяет создавать интеллектуальные системы, повышающие эффективность и надежность работы.	Возможности (Opportunities):	Рост эффективности: Применение ИИ открывает новые возможности для повышения эффективности работы энергосистем.
	Оптимизация процессов: Автоматизация и использование аналитики на основе ИИ способствуют оптимизации производственных процессов в энергетике.		Развитие инфраструктуры: Внедрение новых технологий может способствовать развитию инфраструктуры энергетики и повышению уровня сервисного обслуживания.
Слабые стороны (Weaknesses):	Высокие затраты: Внедрение новых технологий, связанных с ИИ, требует значительных финансовых инвестиций.	Угрозы (Threats):	Кибератаки и кибербезопасность: Использование цифровых технологий и ИИ увеличивает уязвимость систем энергетики к кибератакам.
	Необходимость квалифицированных специалистов: Реализация высокотехнологичных систем требует наличия специалистов, готовых работать с новыми технологиями.		Технические сбои: Новые технологии могут столкнуться с техническими проблемами, вызванными несовершенством систем или программного обеспечения.

В **PESTEL-анализе** были рассмотрены и распределены по степени влияния, основные риски, влияющие на использование ИИ в энергосистеме – табл. 3.

Таблица 3. PESTEL-анализ рисков использования ИИ в энергосистеме

Экономические	Замедление темпов роста экономики	0,23	Политические	Безопасность в условиях цифровизации	0,22
	Падение платежеспособности потребителя	0,09		Налоговая политика	0,12
	Ограничения закупки иностранных решений, проблемы с качеством импортозамещения	0,06		Политические конфликты на мировой арене	0,05
	Увеличение стоимости иностранных валют	0,05		Изменение стратегии развития энергетической отрасли	0,04
Юридические	Недостаточность нормативной базы	0,16	Экологические	Стихийные бедствия	0,20
	Сложности в разграничении ответственности (разработчики, владельцы системы или сама технология)	0,12		Проблемы в реализации «зеленых» технологий	0,09
	Экспериментальные правовые режимы	0,11		Изменение климата	0,05
	Создание частного сектора энергетики	0,05		Изменение экологической политики	0,03
Технологические	Устаревшая инфраструктура	0,19	Социальные	Нехватка квалифицированного персонала	0,17
	Некорректное срабатывание алгоритмов	0,17		Сокращение рабочих мест	0,12
	Риски нарушений в защите данных	0,16		Зависимость от технологий	0,10
	Сложность в обработке массивов «больших данных»	0,10		Нежелание меняться у персонала и заинтересованных сторон	0,07

Невозможность перехода на иные источники топлива по соображениям безопасности	0,09	Этические риски	0,05
Непрозрачность принятия решений ИИ («вещь в себе»)	0,08		
Инфраструктура не успевает за развитием ИИ	0,04		

По результатам PESTEL-анализа видно, что наибольшее влияние на использование ИИ в энергосистеме оказывают экономические и технологические риски, наименьшее – юридические и социальные

Наибольшую озабоченность вызывают такие риски как: замедление темпов роста экономики; безопасность в условиях цифровизации; устаревшая инфраструктура; нехватка квалифицированного персонала; возможность стихийных бедствий; некорректное срабатывание алгоритмов; риски нарушений в защите данных.

Общая характеристика и описание прогнозируемых тенденций развития энергетики

Выделим некоторые аспекты прогноза развития энергетики мира и России до 2040 года, подготовленный Институтом энергетических исследований Российской академии наук и Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации [17]

Общие экономические и демографические тенденции:

Глобальный кризис привел к снижению прогнозов роста мировой экономики и энергопотребления, при этом наблюдается ускорение роста доли развивающихся стран в глобальной энергетике. В долгосрочной перспективе сохранится доминирование ископаемых видов топлива, хотя их доля будет увеличиваться медленнее, чем в предыдущих прогнозах. «Сланцевый прорыв» отсрочил на два-три десятилетия угрозу исчерпания экономически приемлемых ресурсов нефти и газа. Демографические изменения, включая замедление роста населения и изменение структуры трудоспособного населения, окажут значительное влияние на энергопотребление и экономический рост.

1. Энергетические рынки: Прогнозируется стабилизация цен на нефть в диапазоне 100–130 долларов за баррель к 2040 году, рост регионализации нефтегазовых рынков и значительное увеличение потребления газа, что открывает перспективы для «эры газа», хотя для России есть риск упустить эти возможности.

2. Воздействие на Россию: Прогнозируемый экспорт нефти и газа из России окажется ниже официальных прогнозов. Высокие затраты и существующая налоговая система ограничивают конкурентоспособность российских энергоресурсов на глобальных рынках.

3. Роль технологий и инноваций: Технологические прорывы, включая сланцевый газ, электромобили, биотопливо и эффективные накопители энергии, значительно повлияют на мировые топливные рынки, изменяя их конъюнктуру за счет разработки нетрадиционных ресурсов нефти и газа.

4. Методология и сценарии: Прогноз основан на блоке мировой энергетики модельно-информационного комплекса SCANNER, с учетом различных сценариев развития энергетики и топливных рынков. Включены версии базового сценария, учитывающие успехи технологических прорывов и их влияние на мировую энергетику и экономику России.

5. Экологические вопросы остаются важными для энергетической политики, но экономические трудности могут снизить их влияние, хотя интерес к возобновляемым источникам энергии (далее – ВИЭ) растет, особенно в странах организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и развивающихся странах, стремящихся к независимости и сокращению выбросов CO₂.

6. Мировая энергетика ожидает умеренного роста потребления и усиления межтопливной конкуренции при доминировании углеводородов, что требует от России адаптации к новым условиям, повышения конкурентоспособности энергоресурсов и учета экологических и технологических трендов для устойчивого роста.

Исследование внешних (общемировых) факторов и тенденций, влияющих на развитие будущего энергетики с применением цифровых технологий

В рамках прогноза развития мировой энергетики до 2050 года, подготовленного Российским энергетическим агентством (РЭА) Минэнерго России, основной акцент сделан на необходимость формирования собственного видения будущего энергетики. В отчете подчеркивается, что цель достижения углеродной нейтральности мирового топливно-энергетического комплекса (ТЭК) к 2050 году, является крайне затратной и трудноосуществимой. Необходимо развитие поглощающей способности экосистем, включая масштабирование перспективных технологий прямого улавливания CO₂ из атмосферы и мирового океана. [18]

При построении сценариев учитывался ряд факторов, перечень которых представлен в табл. 3.

Таблица 3 – Факторы, учитываемые при построении сценариев (по материалам РЭА Минэнерго и ИЭИ РАН) [17], [18]

Факторы	Негативный сценарий	Консервативный сценарий	Инновационный сценарий
Ход научно-технического прогресса	Замедление темпов инноваций, неравномерное развитие технологий, стагнация и снижение эффективности энергетических систем	Естественный ход научно-технического прогресса (НТП), который обеспечивает сложившиеся тренды снижения энергоёмкости ВВП стран и регионов	Прорывы в области ИИ, например, сокращение углеродных выбросов на 30% к 2030 году
Основные «игроки» на энергетическом рынке	Сохраняется привычный расклад сил на мировом нефтегаз. рынке, Россия при высоких мировых ценах сможет нарастить добычу нефти и газа	Не предполагается изменений институтов на энергетических рынках. Сохранение приоритетов энергетической политики	Меняется соотношение сил. Выигрывают: США, Китай. Проигрывают: страны Европы, члены ОПЕК, страны СНГ и Россия
Потребление первичной энергии	Меняется характер рынка жидких топлив. Спрос на них в значительной мере обеспечен «нетрадиционными» ист.– канадскими песками и сверхтяжелыми нефтями, нефтепродуктами.	Структура мирового энергопотребления – более диверсифицированная и сбалансированная. Углеводороды сохраняют доминирование. Газ – наиболее востребованный вид топлива	Глобальный спрос на электроэнергию растет быстрее, увеличен в среднем на 3,4% ежегодно до 2026 года. Потребление эл.эн. ЦОД может достичь более 1000 ТВтч к 2026 году.
Крупные технологические прорывы	Технологическая зависимость и монополизация. Отсутствие открытых стандартов и патентных войн между компаниями.	Проявляются при разработке нетрадиционных ресурсов нефти и газа. Прорыв – масштабное внедрение электромобилей.	Повышение эффективности и устойчивости энергосистемы. Создание этической комиссии по ИИ в энергетике.
Новые технологии: накопители и топливные элементы	На рынке жидких видов топлив: использование природного газа в качестве моторного топлива; развитие биотоплив и внедрение других биотехнологий; развитие электротранспорта.	Смещение границы централиз. и децентрализ. энергоснабжения. Коммерчески эффективное развитие ВИЭ и повышение КПД топливной генерации.	Массовое внедрение топливных элементов
Цены на газ	Социальное недовольство и политическая нестабильность из-за роста стоимости жизни и экономических трудностей.	Сохраняется разделение региональных цен на газ. Влиятельные участники газового рынка- Россия, США и Китай	Выход на нефтегазовые рынки новых игроков – в первую очередь Ирана – и последствия избыточного предложения для рынков.
Цены на нефть	Ухудшение энергетической безопасности	Состояние не меняется	Увеличение к 2040 г. добычи нетрад. нефти в мире на 117 млн т, газа – на 222 млрд м ³
Напряженность между ЕС и Россией	Введение санкций и контрсанкций, ограничивающих экспорт нефти и газа из России в страны ЕС	Изменение энергетической политики Евросоюза приведет к сдвигам в энергобалансе и – к изменению направлений поставок углеводородов.	Увеличение финансирования исследований и разработок в области энергетики за счет государственных и частных инвестиций.
Углеродная нейтральность к 2050 году	Затраты – развитие зеленых техн. и инфраструктуры. Сопrotивление со стороны отраслей, зависящих от ископаемых видов топлива.	Умеренные, но устойчивые шаги в направлении декарбонизации.	Масштабное внедрение ВИЭ. Снижение выбросов CO ₂ . Высокие шансы достижения климатических ц. (удержание потепления в пределах 1.5°C).

Тенденции технологического развития отраслей экономики России

В России достигнут значительный прогресс в областях, связанных с ИИ и цифровизацией, благодаря государственным инициативам и частным инвестициям.

Один из ярких примеров — это банковский сектор. В частности, Сбербанк, активно внедряет ИИ для улучшения обслуживания и управления рисками, и в 2021 году

представил СберGPT — чат-бота, который обрабатывает клиентские запросы в реальном времени, снижая нагрузку на сотрудников.

Другой значимой сферой применения ИИ в России является промышленность, где технологии позволяют оптимизировать производственные процессы и улучшать качество продукции. Например, компания «Северсталь», один из крупнейших производителей стали в стране, использует предиктивную аналитику для прогнозирования поломок и профилактического обслуживания, снижая простой и повышая производительность.

В транспортной отрасли, например, в компании «РЖД», ИИ и цифровизация помогают оптимизировать движение поездов, снижать энергопотребление и предотвращать аварии, что повышает надежность и безопасность перевозок.

В нефтяной отрасли России, например, в компании «Роснефть», внедрение цифровых двойников и ИИ позволяет точно прогнозировать запасы, оптимизировать бурение и снижать риски, а предиктивная аналитика минимизирует вероятность аварий и простоев.

Газовая отрасль, включая «Газпром» и «Новатэк», использует автоматизированные системы для мониторинга трубопроводов и технологии сжижения СПГ, что позволяет прогнозировать утечки, оперативно реагировать на проблемы и расширять экспортные возможности.

В сфере пластмасс «Сибур» активно применяет цифровые технологии для управления и повышения эффективности производственных процессов. Внедрение систем мониторинга и анализа данных улучшает контроль качества и оптимизацию технологий.

Компании активно внедряют цифровые технологии, автоматизацию и предиктивную аналитику, что повышает производительность, снижает издержки и улучшает экологическую устойчивость.

Тенденции развития отрасли, связанные с применением цифровых технологий

Энергетический сектор России претерпевает значительные изменения благодаря цифровизации и внедрению ИИ. Эти инновации направлены на повышение производительности, улучшение управления ресурсами и оптимизацию распределения энергии.

Одним из ключевых направлений является создание умных энергосетей, которые с помощью реального времени отслеживают потребление, прогнозируют пики нагрузок и регулируют распределение энергии. Группа компаний «Россети» активно развивает проекты «умной электросети» (smart grids), используя датчики, интернет вещей (IoT) и алгоритмы машинного обучения. Это снижает потери и повышает надежность.

ИИ также применяется для оптимизации электростанций. Применение предиктивной аналитики на тепло- и гидроэлектростанциях позволяет прогнозировать неисправности и проводить профилактическое обслуживание. Компании «Интер РАО» и «РусГидро» используют машинное обучение для анализа данных, что сокращает простой и уменьшает затраты на ремонт.

Интеграция ВИЭ в энергосистему становится важным аспектом цифровизации. Новые ветровые и солнечные электростанции оснащены современными системами мониторинга и управления, что увеличивает их эффективность. ИИ помогает прогнозировать выработку энергии и оптимизировать её хранение и распределение, обеспечивая стабильность системы.

Интеллектуальные системы управления энергопотреблением на предприятиях и в жилых зданиях помогают снижать затраты и улучшать экологическую ситуацию. Программы энергосервиса и модернизации оборудования, основанные на данных и машинном обучении, существенно сокращают потребление энергии.

Риски развития экономики и энергетики в России. Зависимость развития экономики и энергетики России от внешних (мировых) условий.

Развитие экономики и энергетики России с внедрением ИИ и цифровизации сопровождается рисками, влияющими на стабильность секторов. Применение ИИ и ЦПС открывает возможности, но требует анализа из-за вызовов, связанных с кибербезопасностью. Увеличение зависимости от цифровых технологий делает систему уязвимой к кибератакам, что может нарушить энергоснабжение и негативно сказаться на экономике.

Также важна зависимость от зарубежных технологий. Санкции или геополитическая нестабильность могут нарушить поставки критически важных элементов, что требует развития отечественных технологий и создания запасов. Технологические риски связаны с незрелостью ИИ и цифровых технологий. Внедрение новшеств требует времени и инвестиций, а также адаптации к российским условиям. Нужны пилотные проекты и обучение специалистов.

Экономические риски включают неопределенность мировых рынков, от которых Россия сильно зависит как экспортер нефти и газа. Колебания цен могут влиять на доходы страны и финансирование цифровизации. Внешние условия, такие как санкции и кризисы, осложняют доступ к инвестициям, создавая риски для долгосрочных проектов.

Экологические риски также важны: ИИ может повысить эффективность управления ресурсами, но увеличивает энергопотребление и имеет экологические последствия. Международная климатическая политика стимулирует переход к ВИЭ.

Описание каждого из разработанных сценариев развития будущего энергетики

Внедрение ИИ в энергетику России может развиваться по разным сценариям, которые зависят от множества факторов, таких как структура потребления энергии, стоимость технологий, обучение персонала, поддержка цифровой трансформации на всех уровнях, возможности обработки данных, экономические стимулы, государственная поддержка и правовые нормы. Основываясь на этих факторах, можно выделить три сценария: негативный, консервативный и инновационный.

В негативном сценарии структура потребления энергии не меняется, что приводит к неэффективности и высоким затратам. Технологии ИИ остаются дорогими, недоступными для большинства компаний. Идея ИИ и цифровой трансформации не находит поддержки. Развитие технологий замедляется из-за недостатка финансирования и интереса. Возможности обработки данных не развиваются, ограничивая потенциал ИИ.

Усиление санкций и ограничение доступа к технологиям затруднят цифровизацию подстанций в России, вынуждая полагаться на недостаточное импортозамещение, а колебания доходов от нефти и газа ограничат финансирование инфраструктуры, что повысит риски аварий и снизит надежность сети. Недостаток кадров, слабая инфраструктура и отсутствие кибербезопасности делают энергосистему уязвимой и ограничивают потенциал интеллектуальных систем.

Спрос на интеллектуальные энергосистемы и ИИ останется низким из-за высоких затрат и отсутствия поддержки, с ростом зависимости от нефти и газа и снижением интереса к ВИЭ, что замедлит переход к экологичной энергетике.

Для поддержания энергетической независимости в условиях негативного сценария Россия должна усилить импортозамещение и стимулировать отечественное производство оборудования и ПО через субсидии, гранты и налоговые льготы. Создание центра киберзащиты и сертификация интеллектуальных систем защитят критическую инфраструктуру, а льготное кредитование и фонды софинансирования помогут модернизировать энергосистемы, особенно в регионах.

Энергетическим компаниям рекомендуется инвестировать в исследования ИИ и локализовать ключевые компоненты, такие как датчики и контроллеры, сосредоточившись

на энергоэффективных проектах и внедрении интеллектуальных систем управления энергопотреблением для сокращения затрат и предотвращения поломок. Также важна защита критической инфраструктуры от кибератак.

Консервативный сценарий предполагает умеренное развитие всех факторов. Структура потребления энергии становится более гибкой. Стоимость технологий ИИ снижается благодаря массовому производству. Обучение персонала становится приоритетом. Инновации получают поддержку через государственные и частные инвестиции. Государственная поддержка проявляется через целевые программы, а правовые нормы формируются, но остаются неопределенности.

Россия сохранит частичный доступ к западным технологиям и сможет использовать экспортные доходы для ограниченной цифровизации и обновления инфраструктуры. Модернизация инфраструктуры и внедрение ЦПС ограничатся приоритетными объектами, а ИИ будет использоваться точечно из-за высоких затрат и нехватки кадров. Поддержка цифровизации будет умеренной, а кибербезопасность усилится только на стратегических объектах, оставляя систему уязвимой к сложным угрозам.

Для снижения зависимости от импорта государству рекомендуется поддерживать производство отечественного оборудования и ПО через субсидии и налоговые льготы, а также развивать сотрудничество между исследовательскими институтами и бизнесом. Важно установить базовые стандарты кибербезопасности и создать центры мониторинга для защиты критически важных объектов.

Энергетическим компаниям рекомендуется инвестировать в предиктивную аналитику и мониторинг для снижения затрат на обслуживание и продления срока службы оборудования. Обучающие программы и партнерства с вузами позволят восполнить кадровый дефицит.

Инновационный сценарий предполагает значительное развитие всех факторов. Структура потребления энергии становится гибкой и адаптивной, снижая эксплуатационные затраты. Стоимость технологий ИИ снижается благодаря масштабным инвестициям и государственной поддержке. Идея ИИ и цифровой трансформации становится ключевым приоритетом, способствуя активной интеграции инноваций.

Россия укрепляет сотрудничество с технологически развитыми странами, ускоряя внедрение ИИ и автоматизации в энергетике, а экономический рост и государственные субсидии поддерживают модернизацию и экологическую устойчивость. Быстрый научно-технический прогресс и достижения в ИИ, интернете вещей (IoT) и больших данных способствуют развитию конкурентоспособной энергетики. Комплексная кибербезопасность и гибкая нормативная поддержка государства обеспечивают защиту данных и успешное внедрение инноваций.

Спрос на ВИЭ и управление энергопотреблением стимулирует развитие энергоэффективных и консалтинговых услуг для корпоративных клиентов. Производители расширяют линейку интеллектуальных подстанций и решений ИИ.

Модернизация законодательства с акцентом на стандарты автоматизации и кибербезопасности для защиты инфраструктуры. Пилотные зоны и субсидии для ВИЭ позволят протестировать и внедрить энергоэффективные технологии, снижая углеродный след. Образовательные программы и государственно-частное партнерство обеспечат подготовку кадров и ускорят развитие умных сетей.

Для повышения эффективности энергосистем компании могут инвестировать в ИИ для предиктивного анализа и цифровых двойников, а также в самовосстанавливающиеся сети и технологии ВИЭ для стабильности и экологичности.

Во время работы над Прогнозом было проведено анкетирование персонала и руководителей крупной компании ТЭК на предмет применения ИИ в бизнес-процессах. Было выявлено, что из 49 опрошенных держателей бизнес-процессов и руководителей подразделений – только 2 используют технологии ИИ при выполнении должностных

обязанностей, но 29 считают, что технологии ИИ могут обеспечить автоматизацию бизнес-процесса; 23 выбрали желаемый сценарий использования из предложенных и 18 – добавили свой сценарий.

Заключение

Выбранное направление на инновационный сценарий, предполагающий широкомасштабную цифровизацию и внедрение интеллектуальных энергосистем, является оптимальным для достижения высоких стандартов надежности, экологической устойчивости и экономической эффективности. Проведенный анализ показал, что активное использование искусственного интеллекта, предиктивной аналитики и цифровых двойников позволит повысить точность управления энергосистемой, снизить риски аварий и оптимизировать процессы технического обслуживания, что, в свою очередь, приведет к сокращению эксплуатационных затрат и улучшению качества энергоснабжения. Инновационный подход также способствует интеграции возобновляемых источников энергии, снижая углеродный след и повышая экологическую устойчивость отрасли, что соответствует глобальным требованиям и тенденциям в энергетике.

Для успешной реализации инновационного сценария и достижения стратегических целей рекомендуются следующие меры. Во-первых, необходимо обеспечить государственную поддержку через субсидии, налоговые льготы и грантовые программы для компаний, инвестирующих в цифровизацию и развитие ИИ. Во-вторых, критически важным является развитие образовательных программ и подготовка квалифицированных специалистов, которые смогут управлять новыми технологиями и поддерживать их на всех уровнях энергосистемы. Сотрудничество с ведущими университетами, создание корпоративных академий и программ повышения квалификации обеспечат отрасль необходимыми кадрами и позволят избежать кадрового дефицита. В-третьих, требуется внедрение современных стандартов и регуляций в области кибербезопасности, что позволит защитить критически важную инфраструктуру и поддерживать высокий уровень надежности и безопасности интеллектуальных систем. Также важно продолжать интеграцию возобновляемых источников и систем хранения энергии.

Список использованной литературы

1. Аникина И. Д. RU 2023666007 Программа для оптимизации режимов работы ТЭЦ на основе цифровых двойников. № 2023664364; Заявлено 09-07-2023. Опубликовано 24-07-2023. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/PrEVM/RUNWPR/000/002/023/666/007/2023666007-00001/DOCUMENT.PDF>
2. Афанасьев В. Я., Воронцов Н. В. Интеллектуальные цифровые решения повышения операционной эффективности и производительности труда в электроэнергетике // Вестник университета. 2019. № 9. С. 39-47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-tsifrovye-resheniya-povysheniya-operatsionnoy-effektivnosti-i-proizvoditelnosti-truda-v-elektroenergetike>
3. Баушев И. Е. Внедрение системы АСКУЭ В ФГУП «Григорьевское» // НИРС-первая ступень в науку : Сборник научных трудов по материалам XLII Международной научно-практической студенческой конференции. Ярославль, 2019. С. 181-192. URL: <https://disk.yandex.ru/i/s95HlgbU0yHaUw>
4. Богомолов Р. А. CIM как элемент цифровой трансформации // Вторая общепромышленная конференция «CIM в России и мире». 2022. URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/events/2022/cim-2022_present_Bogomolov.pdf
5. Бодруг Н. С., Скрипко О. В. Практические аспекты внедрения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии // Актуальные вопросы энергетики в АПК. 2019. С. 120-122. URL: <http://irbis.dalga.ru/DigitalLibrary/NI/477.pdf#page=120>

6. Головщиков В. О. Цифровая подстанция-основной элемент цифровой электроэнергетической системы // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 224-225. URL: <https://auspublishers.com.au/temp/8cf9b9ba13f0c11e36d450835e065cfe.pdf>
7. Жилкина Ю. В., Воденников Д. А. На пути к цифровой энергетике (опыт внедрения цифровых технологий компаниями ТЭК России) // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики : в 2-х книгах. Книга 1, Выпуск 70. Иркутск, 2019. С. 248-256. URL: <https://disk.yandex.ru/i/LtLmDKnNE87yPw>
8. Змушко М. А., Соловьёв С. В. Особенности цифровых подстанций // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы Международной студенческой научной конференции. Майский, 2021. Т. 3. С. 51. URL: <https://www.bsaa.edu.ru/upload/2021/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%203%20%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%87%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%202021.pdf#page=51>
9. Кадникова И. В. АИИСКУЭ: назначение и примеры использования // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2023. № 19. С. 78-80. URL: <https://disk.yandex.ru/i/zJQYJPxeOw4tjA>
10. Конев С. И., Кунина И. Л. Правовое регулирование применения технологии искусственного интеллекта в топливно-энергетическом комплексе России // Право и государство: теория и практика. 2020. № 11 (191). С. 93-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-toplivno-energeticheskom-komplekse-rossii>
11. Колосок И. Н., Коркина Е. С. Анализ кибербезопасности цифровой подстанции с позиций киберфизической системы // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 121-131. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kiberbezopasnosti-tsifrovoy-podstantsii-s-pozitsiy-kiberfizicheskoy-sistemy>
12. Колосок И. Н., Коркина Е. С. Применение технологии граничной аналитики (Edge analytics) при создании цифровых двойников объектов ЕЭС России // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 28-39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologii-granichnoy-analitiki-edge-analytics-pri-sozdanii-tsifrovyyh-dvoynikov-obektov-ees-rossii>
13. Куликов А. Л., Зинин В. М. Требования к информационной безопасности в электроэнергетике и их реализация в интеллектуальных устройствах цифровых подстанций // Интеллектуальная электротехника. 2022. № 3. С. 49-78. URL: [https://ie.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2022/3\(19\)/3\(19\)_2022.pdf#page=49](https://ie.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2022/3(19)/3(19)_2022.pdf#page=49)
14. Люсий А. П. Правовые аспекты применения ИИ в ТЭК // Конференция молодых ученых «Правовое регулирование деятельности топливно-энергетического комплекса в современных условиях» : Сборник научных трудов конференции. Москва, 2021. С. 194-200. URL: <https://disk.yandex.ru/i/UMLAEDtNM7L2Lw>
15. Массель Л. В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 5-20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyyu-etap-razvitiya-iskusstvennogo-intellekta-ii-i-primenenie-metodov-i-sistem-ii-v-energetike>
16. Мыцко Е. А., Байструков К. И. RU 2019613720 Сервер сбора данных, коммуникации и управления цифровой электрической подстанции. № 2019612004; Заявлено 28-02-2019. Опубликовано 20-03-2019. URL:
17. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук», Аналитический центр при

Правительстве Российской Федерации URL:
<https://www.hse.ru/data/2014/01/23/1325658082/prognoz-2040.pdf>

18. Сценарии развития мировой энергетики до 2050 года. Российским энергетическим агентством Минэнерго России. URL: <https://rosenergo.gov.ru/press-center/news/rea-minenergo-rossii-predstavilo-stsenarii-razvitiya-mirovoy-energetiki-do-2050-goda/>

19. Jiang D. Y., Zhang H., Kumar H. et al. Automatic control model of power information system Access based on artificial intelligence technology. // Mathematical Problems in Engineering. 2022. P. 1-6. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/1e3c/b4f7f61c7e9eb6a1ccb025b9f60ffb52f74e.pdf>