АЛЬМАНАХ

АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2025



1 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Предисловие 4

1.1. Центры обработки данных – новый драйвер энергопотребления 8

1.1.1. Статистика и особенности энергопотребления ЦОД 8

1.1.2. Проблемы энергопотребления ЦОД 12

1.1.3. Предлагаемые решения 16

1.2. Майнинг криптовалюты: анализ потребления и регулирования 18

1.2.1. Оценки мирового потребления электроэнергии майнерами 19

1.2.2. Регулирование майнинга 23

1.2.3. Адаптация энергосистем к майнингу 25

1.3. Занятость в энергетическом секторе 26

2.1. Введение. 44
2.2. Описание проектов российских компаний. 47
2.3. Деятельность экспертной группы по кибербезопасности и Центра экспертизы по вопросам информационной безопасности в электроэнергетике 68
2.4. Обзор деятельности Центра электромобильности 71
2.4.1. Результаты деятельности Центра электромобильности в 2025 году: от аналитики к формированию отраслевой повестки. 71
2.4.2. Аналитика международного опыта развития электромобильности. 73
2.4.3. Планы Центра электромобильности на 2026 год. 77
2.5. Актуализация Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года 78
2.5.1. Предпосылки актуализации Стратегии 78
2.5.2. Анализ глобальных трендов в мировой экономике и электроэнергетической отрасли 79
2.5.3. Текущая ситуация и вызовы электроэнергетического сектора России 83
2.5.4. Цели, задачи и приоритетные меры Стратегии 86
2.5.5. Мониторинг реализации Стратегии 97
2.6. Индустриальный центр компетенций «Электроэнергетика»: от импортозамещения к архитектурному управлению ИТ-ландшафтом . . . 99
2.6.1. Вызовы и контекст цифровой трансформации. 99
2.6.2. ИЦК «Электроэнергетика»: миссия и портфель проектов 100
2.6.3. Демо-дни ИЦК как инструмент управления отраслевыми приоритетами . 103
2.6.4. Почему ИТ-ландшафт стал ключевой задачей ИЦК. 104
2.6.5. ИТ-ландшафт как инфраструктура отрасли 105
2.7. Основные мероприятия, проведенные Ассоциацией в 2025 году. 106
Заключение 107
Авторский коллектив 110

2 РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ





Приветствие Председателя Правления Ассоциации «Цифровая энергетика»

Т.А. Меребашвили

Альманах лучших практик Ассоциации «Цифровая энергетика» традиционно состоит из двух больших разделов, которые описывают международный и отечественный опыт цифровизации электроэнергетики. Такое устройство соответствует подходу, положенному в основу ежегодного издания: быть подспорьем для российской энергетики в решении острых вопросов развития за счёт консолидации передовых компетенций и анализа локальных и мировых тенденций.

Содержание «зарубежной» части продиктовано вызовами, стоящими перед отечественной энергетической сферой в настоящий момент: опираясь на новейший международный опыт, Альманах стремится предложить наиболее перспективные пути для решения насущных задач ТЭК России. Этот раздел сформирован в том числе на основании запросов Минэнерго России и экспертного взаимодействия с крупным энергетическим бизнесом. В частности, здесь рассматриваются такие темы, как интеграция центров обработки данных в энергосистему, регулирование майнинга криптовалюты и дефицит квалифицированных кадров в энергетическом секторе.

В 2025 году Ассоциация завершила актуализацию Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года с учётом новейших макроэкономических трендов, технологических и нормативных изменений. Оригинальный аналитический документ, опубликованный в 2020 году, активно использовался и бизнесом, и регуляторами, и исследовательскими организациями. Обновлённая Стратегия прошла несколько стадий обсуждения и согласования в среде руководителей ИТ-департаментов крупнейших энергокомпаний, представителей органов власти и экспертов сферы электроэнергетики. Параллельно с работой над Стратегией специалисты Ассоциации сформировали и представили отраслевому сообществу инструменты для отслеживания прогресса цифровой трансформации бизнеса — Методику оценки цифровой зрелости компаний и комплекс ключевых показателей эффективности. Материалы актуализированной Стратегии и Методики вошли в состав данного издания.

Создание референтной модели ИТ-ландшафта российской электроэнергетики — ещё один крупный проект, который реализуется на базе Ассоциации. Разработка модели ведётся в рамках работы индустриального центра компетенций «Электроэнергетика» по выявлению «белых пятен» ИТ-ландшафта отрасли для эффективного импортозамещения. Отдельный материал Альманаха посвящён эволюции ИЦК «Электроэнергетика»: от формирования портфеля проектов и проведения демо-дней до системной деятельности по построению отраслевого ИТ-ландшафта как архитектурного каркаса цифровой энергетики.

Как можно видеть, эксперты Ассоциации погружены в наиболее актуальные проблемы развития отечественной электроэнергетики и ведут активную работу над проектами федерального масштаба. Мы рады представить вам результаты этой работы.



Приветствие Директора Ассоциации «Цифровая энергетика»
А.А. Хвалько

Вы держите в руках пятый ежегодный Альманах Ассоциации «Цифровая энергетика». Каждый выпуск фиксирует очередной отрезок пути, новый этап прогресса отечественной электроэнергетической сферы. В то же время Альманах намечает дальнейшую траекторию цифровизации ТЭК России, предлагая стратегический маршрут инноваций. Всё это с уверенностью можно сказать и про издание 2025 года.

В 2025 году Ассоциация усилила деятельность по поддержке развития электромобильности в России. В рамках Центра электромобильности была проведена большая работа по анализу международного опыта включения растущего количества электротранспорта в энергосистему и повышения надёжности зарядной инфраструктуры. Существующие сложности и сдерживающие факторы обсуждались и прорабатывались с представителями отраслевого сообщества для консолидации единой позиции участников рынка. Итогом стал ряд инициатив по совершенствованию нормативной базы электромобильности, стандартизации и сертификации зарядных станций, о которых вы можете прочитать в соответствующем разделе.

Продолжаются регулярные заседания экспертной группы Ассоциации по формированию Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России, в которую входят топ-менеджеры лидирующих российских энергокомпаний, представители органов власти и исследовательских организаций. Эта площадка даёт отечественным производителям программного обеспечения возможность представить перспективные цифровые проекты для рассмотрения отраслевыми специалистами и получить рекомендацию к их использованию и тиражированию. Подробные описания решений, представленных разработчиками в 2025 году, собраны в отдельной рубрике данного Альманаха.

Ещё одно важнейшее направление работы связано с тематикой информационной и кибербезопасности, которая не теряет своей актуальности. Здесь Ассоциация выступает пространством для экспертных встреч для диалога бизнеса и власти, налаживания продуктивного взаимодействия между энергокомпаниями и профильными вузами. Большим достижением стала подготовка образовательного курса по обеспечению информационной безопасности для руководителей компаний, который был успешно запущен в начале 2026 года.

Вот уже несколько лет Ассоциация «Цифровая энергетика» получает хорошую обратную связь от представителей экспертного сообщества ТЭК России, которые рассказывают, как Альманах помогает формировать повестку цифровизации электроэнергетики, предоставляет фактуру, на которую можно опираться в работе. Мы не сомневаемся, что материалы данного выпуска также окажутся полезными для специалистов, ищущих инновационные подходы к решению сложных вопросов отечественной промышленности.

ПРЕДИСЛОВИЕ

ЕЖЕГОДНО В ЭТОМ ИЗДАНИИ МЫ ОСВЕЩАЕМ ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ, СТАРАЯСЬ РАВНОПРАВНО УДЕЛЯТЬ ВНИМАНИЕ КАК ОТЕЧЕСТВЕННОМУ, ТАК И МЕЖДУНАРОДНОМУ ОПЫТУ. СУЩЕСТВЕННАЯ ЧАСТЬ НАСТОЯЩЕГО ВЫПУСКА АЛЬМАНАХА ПОСВЯЩЕНА ОСОБО ВАЖНОМУ ДЛЯ НАС ПРОЕКТУ, КОТОРЫЙ ВЕЛСЯ АССОЦИАЦИЕЙ СОВМЕСТНО С ОТРАСЛЕВЫМ ЭКСПЕРТНЫМ СООБЩЕСТВОМ И МИНЭНЕРГО РОССИИ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО 2025 ГОДА, – АКТУАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 ГОДА.

Первоначально Стратегия была разработана Ассоциацией в 2020 году, и к настоящему моменту в силу изменения внешних и внутренних условий она потребовала пересмотра и актуализации. При этом основной подход – достижение целей через совместную деятельность государства и компаний отрасли на трех стратегических направлениях (изменение рамочных условий, изменение внутренней корпоративной культуры, внедрение цифровых решений) – остался неизменным. Также нами был повторен методологический цикл работы над Стратегией: проведен ряд семинаров и стратегических сессий, на которых были сделаны выводы о промежуточных результатах реализации Стратегии, проведен сравнительный анализ цифровизации российской электроэнергетической отрасли с ситуацией в зарубежных странах, определены основные вызовы отрасли и предложены соответствующие ответы на них. Финальным мероприятием стало публичное обсуждение актуализированной Стратегии в рамках демо-дня ИЦК «Электроэнергетика» в конце октября 2025 г. на площадке Калининской АЭС. На нем были представлены измерительные материалы для отслеживания статуса реализации Стратегии, а также отраслевая методика самооценки цифровой зрелости для организаций отрасли. Ознакомиться с основными положениями актуализированной Стратегии вы сможете в настоящем Альманахе.





Также «российская» часть Альманаха содержит информацию о деятельности профильных центров и экспертных групп Ассоциации. Существенную работу провел в 2025 году Центр электромобильности. Статистика показывает, что в прошлом году в России было реализовано 12,5 тыс. электромобилей, что составляет порядка 1% от общего объема продаж новых автомобилей. Однако если взять в расчет гибридные автомобили, то суммарная доля составит уже существенные 8% от общего объема продаж. Парк публичных зарядных станций достиг порядка 6,5 тыс. единиц, среднегодовые темпы роста составляют около 30–40%. Для перехода к управляемому развитию электромобильности и принятия регуляторных решений на основе данных Центр создает верифицированный аналитический контур по электромобильности в Российской Федерации. В Альманахе можно найти анализ международного опыта развития электромобильности – это важный задел для будущих прикладных решений.

Традиционно в Альманахе освещается деятельность экспертной группы по кибербезопасности и Центра экспертизы по вопросам информационной безопасности в электроэнергетике. Представлена информация о ведении образовательной деятельности, взаимодействии с регуляторами отрасли. Новая тематика связана с аспектами использования элементов искусственного интеллекта для решения задач информационной безопасности.

В прошлые выпуски Альманаха мы включали информацию о статусе реализации проектов на базе индустриального центра компетенций «Электроэнергетика». Деятельность ИЦК эволюционирует: если на начальном этапе основными задачами были формирование портфеля проектов и проведение демо-дней, то теперь ведется системная работа по созданию отраслевого ИТ-ландшафта как архитектурного каркаса цифровой энергетики. Об этом качественном переходе также можно прочесть в настоящем Альманахе.

При актуализации Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года эксперты отметили, что одними из ключевых вызовов в ближайшие годы будут трудности адаптации энергетической инфраструктуры к появлению новых типов потребителей и дефицит квалифицированных и мотивированных кадров. По этой причине международную часть Альманаха мы посвятили тому, как адаптируются энергетические системы и рынки в мире к развитию центров обработки данных и майнинговой инфраструктуры, а также уровню и структуре занятости в мировом энергетическом секторе.





1 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

1.1. ЦЕНТРЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ – НОВЫЙ ДРАЙВЕР ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ, ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) И ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЦЕНТРЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОД) ПРЕВРАТИЛИСЬ В КРИТИЧЕСКУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ. ЦОД СТАНОВЯТСЯ ОДНИМ ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ДРАЙВЕРОВ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В XXI ВЕКЕ, СОЗДАВАЯ ВЫЗОВЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО ВСЕМУ МИРУ.

1.1.1. Статистика и особенности энергопотребления ЦОД

Согласно отчету Международного энергетического агентства (МЭА), общемировое потребление электроэнергии ЦОД в 2024 году составило 415 ТВт·ч (порядка 1,5% от совокупного потребления электроэнергии). По прогнозам МЭА, этот объем потребления удвоится к 2030 году (рис. 1.1.1). На текущий момент крупнейшими потребителями электроэнергии для ЦОД являются Соединенные Штаты, КНР и Европейский Союз.

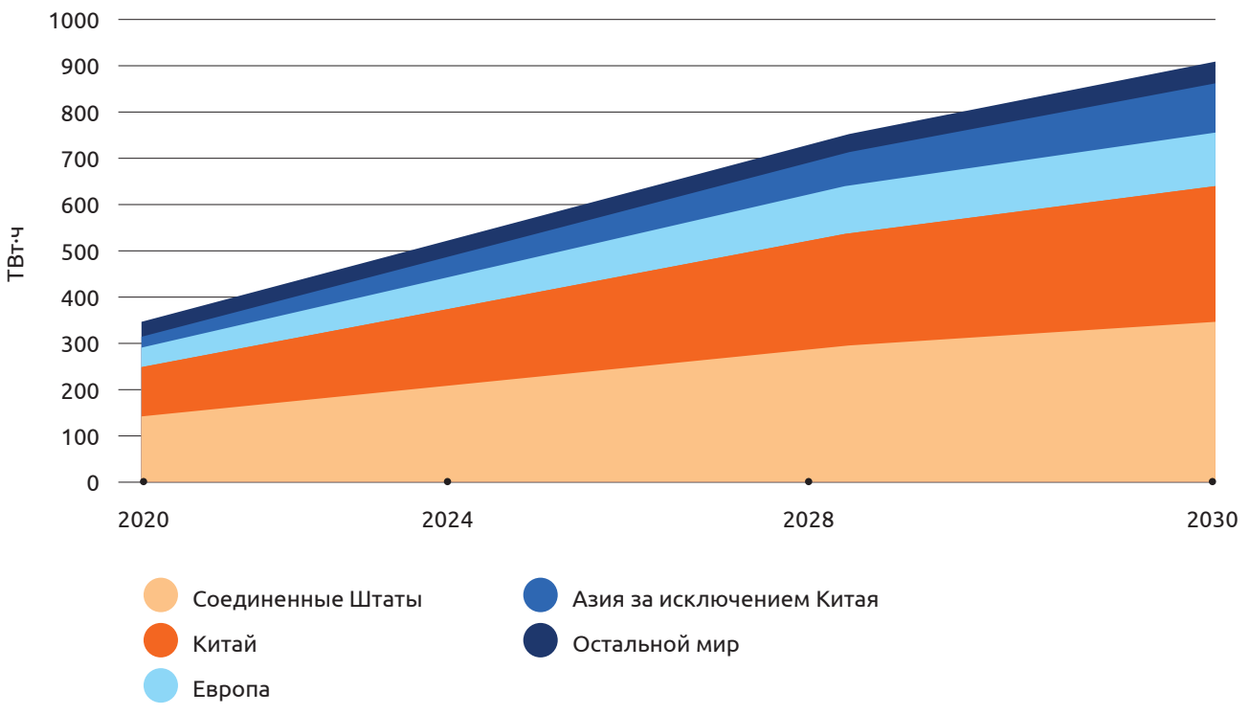


Рис. 1.1.1. Объемы энергопотребления ЦОД[1]

1 Electricity 2025. International Energy Agency. 2025. https://www.iea.org/reports/electricity-2025

Потребление электроэнергии ЦОД в США достигло 185 ТВт·ч в 2024 году, по прогнозам, оно увеличится до диапазона 325–580 ТВт·ч к 2028 году[2]. Примерно 80% спроса на электроэнергию приходится всего на 15 штатов, при этом Вирджиния, Техас, Джорджия и Аризона являются ведущими центрами благодаря благоприятным налоговым льготам, существующим оптоволоконным сетям и относительно низким ценам на энергию. Новые проекты реализуются в штатах Среднего Запада из-за близости к возобновляемым источникам энергии и для диверсификации географических рисков.

В 2024 году потребление электроэнергии ЦОД в Китае оценивается в диапазоне 100–150 ТВт·ч, что составляет около 1–2% от общего потребления электроэнергии в стране, и, по прогнозам, к 2030 году вырастет до 400–600 ТВт·ч в год[1]. Ключевой стратегией является инициатива «Восточные данные, западные вычисления», которая поощряет размещение новых высокопроизводительных вычислительных объектов в западных провинциях, таких как Цинхай, Синьцзян и Хэйлунцзян, богатых возобновляемыми ресурсами.

Прогнозируется, что спрос на электроэнергию со стороны ЦОД в Европе вырастет с 96 ТВт·ч в 2024 году до 168 ТВт·ч к 2030 году и до 236 ТВт·ч к 2035 году — увеличение почти на 150% в течение следующего десятилетия[3]. Европейский союз сделал планы в сфере искусственного интеллекта основой своей стратегии по повышению конкурентоспособности Европы на глобальных рынках. В рамках этой стратегии в 2025 году ЕС запустил инициативу InvestAI, нацеленную на мобилизацию 200 миллиардов евро для инвестиций в ИИ, а также план действий «Континент ИИ», который ставит цель как минимум утроить мощности ЦОД в ближайшие пять–семь лет. В 2023 году центры обработки данных потребляли от 33% до 42% электроэнергии в Амстердаме, Лондоне и Франкфурте, и почти 80% — в Дублине. На таких рынках, как Швеция, Дания и Норвегия, к 2030 году спрос должен утроиться. Такой быстрый рост делает ЦОД одним из самых быстрорастущих источников спроса на электроэнергию в Европе, опережая электромобили и соперничая с электрифицированной промышленностью.

За исключением Китая самый большой объем мощностей ЦОД в Азии сосредоточен в Индии[4]. Общая установленная мощность ЦОД в Индии удвоилась всего за четыре года, и еще более 2 ГВт планируется к вводу в эксплуатацию в ближайшие два года. Некоторые штаты Индии объявили о 100% освобождении от налога на электроэнергию и платы за передачу электроэнергии сроком на 10 лет для новых ЦОД. В Индии есть значительный резерв для строительства ЦОД (мощность 1 МВт на миллион пользователей, по сравнению с 51 МВт в США и 4 МВт в Китае). 40% мощностей ЦОД в Индии задействованы международными облачными провайдерами, остальное используется местным бизнесом.

Геопространственный анализ перспективных проектов ЦОД показывает, что (рис. 1.1.2):

- более половины строящихся или анонсированных ЦОД возводятся в городах с населением не менее 1 миллиона человек или вблизи них, где сети уже обслуживают большие нагрузки;
- 55% проектов в разработке имеют мощность более 200 МВт, и каждый из них после полного ввода в эксплуатацию будет ежегодно потреблять столько же электроэнергии, сколько около 200 тыс. домохозяйств;
- почти две трети этих будущих ЦОД расположены в регионах, которые уже являются существующими кластерами дата-центров.

2 Shehabi A. et al. 2024 United States Data Center Energy Usage Report. https://escholarship.org/uc/item/32d6m0d1

3 Cremona E., Czyzak P. et al. Grids for data centres: ambitious grid planning can win Europe's AI race. EMBER. 2025.

4 Lydia Powell. Akhilesh Sati. The Consumption of Energy by Data Centres Implications for the Global South. Observer Research Foundation. 2025. https://www.orfonline.org/research/the-consumption-of-energy-by-data-centres-implications-for-the-global-south

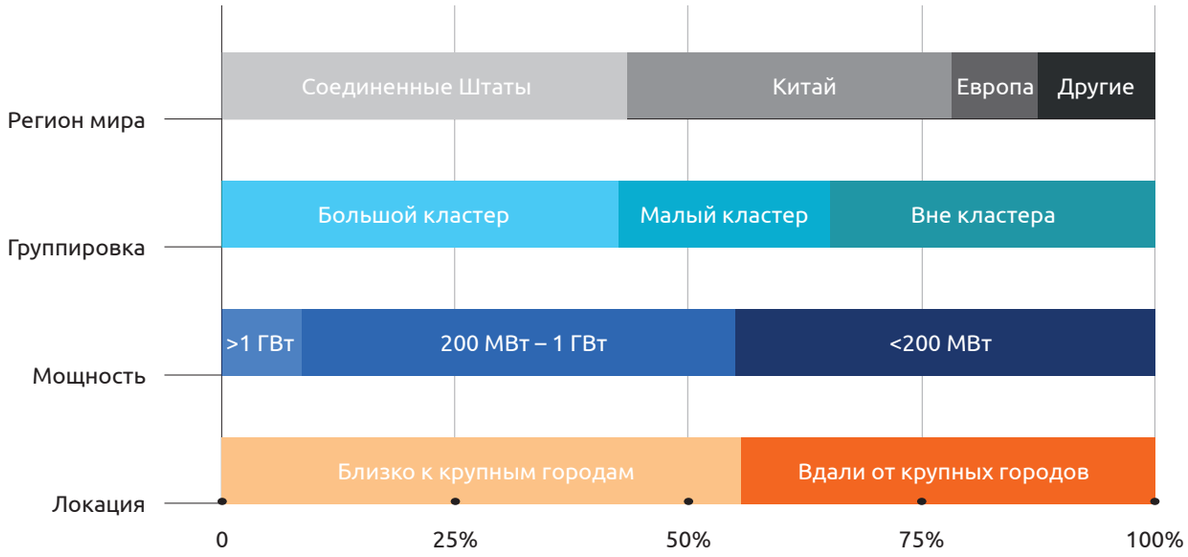


Рис. 1.1.2. Распределение ЦОД по регионам мира, потреблению электроэнергии и местам размещения[5]



5 World Energy Outlook 2025. International Energy Agency. 2025. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

6 GPU – Graphics Processing Unit – графический процессор, нашедший применение в областях, где требуются высокопроизводительные вычисления. TPU – Tensor Processing Unit – тензорный процессор, специализированная интегральная схема, предназначенная для использования с библиотекой машинного обучения TensorFlow.

ЦОД обычно подключаются к распределительной сети среднего или высокого напряжения, самые крупные объекты могут подключаться непосредственно к магистральной сети в качестве основного источника питания.

Резервирование, как правило, включает систему бесперебойного питания на основе аккумуляторов (обеспечивающие малое время реагирования на перебой электропитания) и дизельные генераторы (обеспечивающие основную резервную генерацию). Современные системы бесперебойного питания также могут обеспечивать участие ЦОД в программах управления спросом. Для повышения устойчивости на некоторых объектах устанавливают солнечные панели или водородные топливные элементы, чтобы дополнить или частично заменить дизельные генераторы. Например, Caterpillar и Microsoft успешно использовали водородные топливные элементы для обеспечения резервного питания ЦОД в течение 48 часов[7].

В ЦОД обычно используются три основных типа систем охлаждения. Воздушное охлаждение, из-за низкой стоимости и простоты эксплуатации, является основным выбором для ЦОД с низкой плотностью мощности стоек (ниже 20 кВт). Жидкостное охлаждение использует жидкую среду для отвода тепла от серверов, которая поглощает тепло гораздо эффективнее воздуха и позволяет достичь очень высокой плотности мощности стоек. Гибридное охлаждение сочетает методы воздушного и жидкостного охлаждения для оптимизации эффективности при изменяющихся рабочих нагрузках.

Основной метрикой энергоэффективности ЦОД является коэффициент эффективности использования энергии (PUE). Он определяется как отношение общего электропотребления ЦОД к электропотреблению ИТ-оборудования. Более низкий PUE указывает на большую энергоэффективность. Типичный корпоративный ЦОД имеет PUE около 1,5–1,6, в то время как самые современные объекты достигают PUE ниже 1,3. Например, Google сообщает о совокупном PUE за двенадцать месяцев на уровне 1,09 для своих крупномасштабных ЦОД, причем некоторые площадки работают с PUE ниже 1,06. Аналогично, в отчете Meta об устойчивом развитии за 2024 год указан средний PUE 1,08 по всем своим ЦОД. Это указывает на то, что ИТ-вычисления доминируют в электропотреблении этих ЦОД[8].

Характерным трендом в строительстве ЦОД по всему миру является ориентация на вычисления для систем искусственного интеллекта. ЦОД для ИИ имеют следующие характеристики энергопотребления:

- высокая плотность мощности: в отличие от традиционных серверных стоек, обычно работающих на уровне 7–10 кВт, стойки для ИИ могут достигать плотности мощности от 30 до 100+ кВт на стойку;
- крупномасштабные кластеры GPU могут резко увеличивать потребляемую мощность в течение нескольких секунд, что создает серьезные проблемы для балансировки энергосистемы и ее надежной работы;
- большое количество AC-DC и DC-DC преобразователей, используемых в оборудовании ЦОД, в совокупности демонстрируют иное динамическое поведение по сравнению с традиционными электромеханическими нагрузками (быстрое изменение режимов и гармонические искажения);
- эффект географической концентрации ЦОД в регионах с низкими ценами на электроэнергию, достаточными земельными и водными ресурсами, а также благоприятными условиями для ведения бизнеса, усиливает локальную нагрузку на энергосистему.

7 https://www.iksmedia.ru/news/5976893-Datacentr-Microsoft-na-48-chasov.html

8 Chen X. et al. Electricity Demand and Grid Impacts of AI Data Centers: Challenges and Prospects. https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.07218

1.1.2. Проблемы энергопотребления ЦОД

ЦЕЛЕСООБРАЗНО РАССМОТРЕТЬ ПРОБЛЕМЫ, КОТОРЫЕ СОЗДАЕТ РАСТУЩЕЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЦОД НА ДОЛГОСРОЧНОМ И КРАТКОСРОЧНОМ ВРЕМЕННЫХ ОТРЕЗКАХ.

В долгосрочной перспективе (годы-десятилетия) строительство ЦОД требует значительных инвестиций в генерирующие мощности, передающую инфраструктуру и распределительное оборудование. Однако, цикл планирования, получения разрешений и строительства передающих и распределительных сетей может занимать до 5–10 лет. Узким местом является также нормативно-правовое регулирование технологического присоединения ЦОД к сетям. Сложные процедуры согласования и получения разрешений, тщательные исследования по интеграции в сеть, длинные очереди на присоединение и необходимость крупномасштабной модернизации сетевой инфраструктуры приводят к многолетним задержкам в развертывании ЦОД. В настоящее время около 62% мощностей европейских ЦОД расположены на рынках FLAP-D (Франкфурт, Лондон, Амстердам, Париж, Дублин), но ожидается, что к 2030 году этот показатель упадет до 55%, а к 2035 году — до 51%. Из этих пяти ключевых рынков только Франция, где сеть остается относительно незагруженной, как ожидается, сохранит устойчивый приток инвестиций в ЦОД. В Ирландии, Нидерландах и Франкфурте сетевым операторам пришлось принять радикальные меры, фактически запретив новые ЦОД как минимум до 2030 года. Это говорит о том, что сетевая инфраструктура стала критическим фактором, влияющим на инвестиционные решения, часто перевешивая такие факторы, как стоимость земли, экономические стимулы и привлекательные нормативные условия. (рис. 1.1.3).

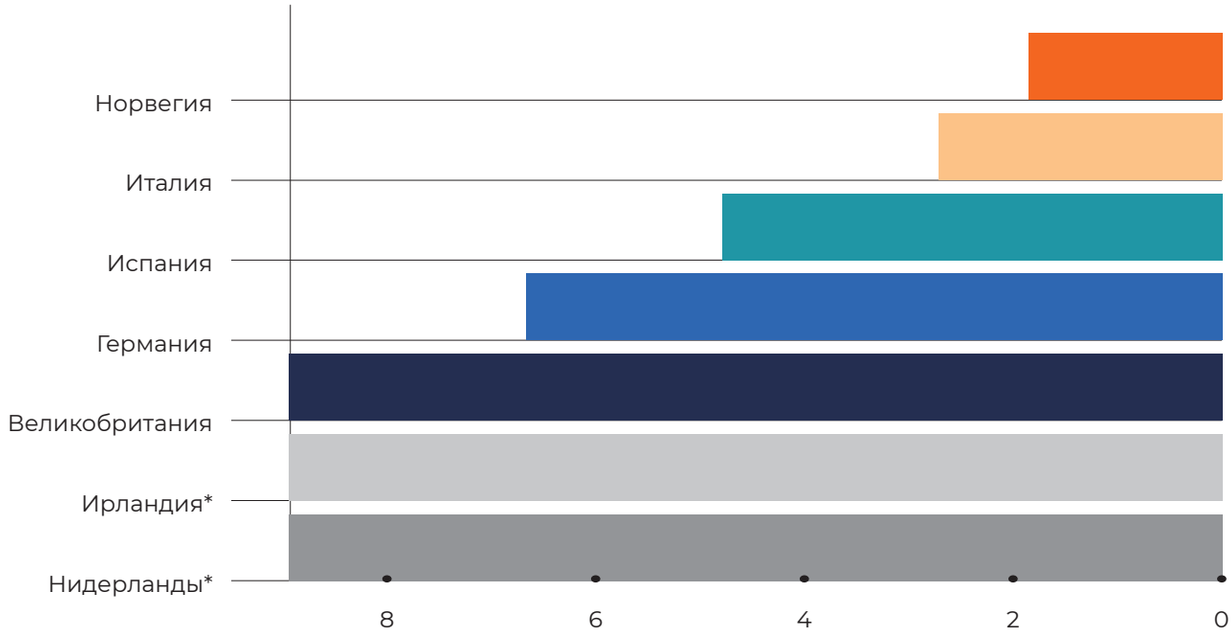


Рис. 1.1.3. Средние сроки технологического присоединения ЦОД в Европе, лет[3]

Стремительное строительство ЦОД создает парадоксальную нагрузку на местные экономики. Штат Вирджиния, лидер США по числу ЦОД, в 2023 году потерял $750 млн налоговых поступлений из-за предоставленных льгот. В Иллинойсе субсидии в $468 млн обернулись созданием всего 339 рабочих мест, что составляет около $1,4 млн на одно место. Одновременно ЦОД обостряют конкуренцию за электро-

* В Ирландии и Нидерландах запрет на подключение новых ЦОД



энергию с промышленностью и ЖКХ, толкая цены вверх. Этот спрос уже начинает менять структуру генерации: он замедляет вывод угольных и газовых станций в США[9].

На отрезке от часов до недель мощные и переменные нагрузки ЦОД создают существенные эксплуатационные и рыночные проблемы для энергосистемы. Точное прогнозирование нагрузки остается принципиально сложным из-за сложного и нециклического характера работы ЦОД. Обычно предполагается, что ЦОД являются потребителями с гарантированной нагрузкой, но реальные данные показывают, что даже для объектов размещения (colocation) потребление электроэнергии может падать или расти до 30% ото дня ко дню в зависимости от выполняемых ИТ-задач. Также присутствует некоторая сезонная вариативность из-за потребностей в охлаждении. Кроме того, для обеспечения надежности в условиях больших и быстрых изменений нагрузки системные операторы должны поддерживать повышенный резерв в энергосистеме, что увеличивает операционные затраты. Ввод новых ЦОД влияет на цены на электроэнергию и мощность. Например, в отдельных штатах США цены на рынке мощности на поставку в 2026-2027 годах выросли до 329,17 долл./МВт, что более чем в десять раз выше цены в 28,92 долл./МВт на поставку в 2024-2025 годах[8]. Кроме того, существенный и часто непредсказуемый спрос со стороны ЦОД для ИИ повышает предельные затраты на генерацию на оптовых рынках, поскольку для удовлетворения спроса, обусловленного ИИ, вводится резервная дорогостоящая тепловая генерация. Это также усиливает волатильность цен на рынках на сутки вперед.

В реальном времени мощные нагрузки ЦОД могут существенно повлиять на динамику и устойчивость энергосистемы. ЦОД для ИИ подключаются к энергосистеме через мощные преобразователи на силовой электронике, которые чувствительны к кратковременным отклонениям напряжения и частоты. В регионах с высокой концентрацией ЦОД по этим причинам могут происходить каскадные аварии. В ERCOT сообщалось о нескольких случаях, когда мощные вычислительные нагрузки отключались во время аварий в передающей сети[8]. ЦОД могут создавать быстрые колебания мощности во время холодного старта, плановых отключений, переключения между задачами или внезапных прерываний нагрузки, вызванных авариями или эксплуатационными инцидентами. Например, обучение крупномасштабных моделей ИИ на десятках тысяч GPU может вызывать значительные колебания мощности, возникающие из-за синхронного характера этих задач и чередования энергоемкой вычислительной фазы и менее энергоемкой фазы коммуникации. В отличие от традиционных электромеханических нагрузок, спрос ЦОД может изменяться на десятки-сотни мегаватт в течение субсекундных интервалов (рис. 1.1.4).

9 De Roucy-Rochegonde L., Buffard A. AI, Data Centers and Energy Demand Reassessing and Exploring the Trends. The French Institute of International Relations. 2025.

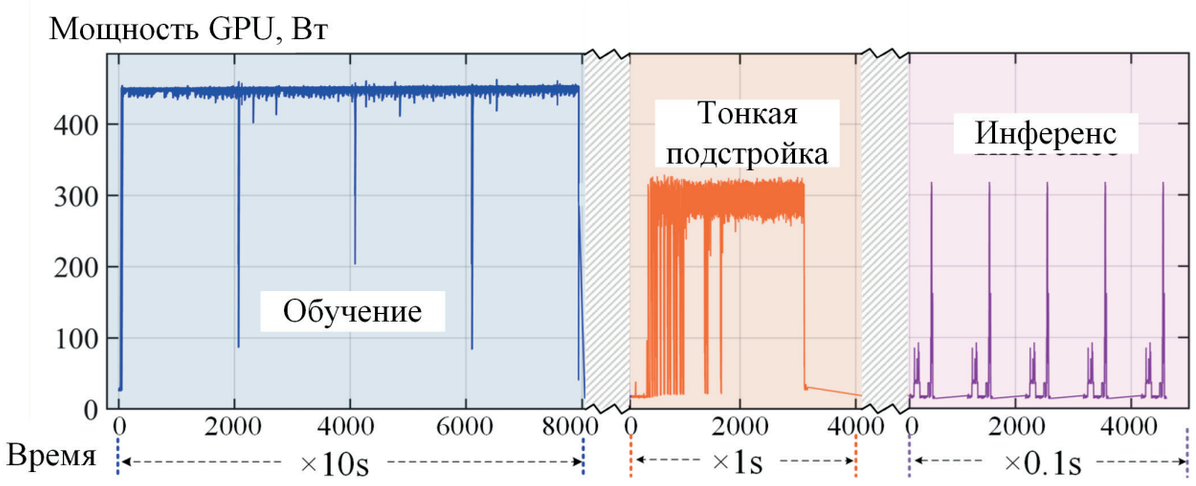


Рис. 1.1.4. Изменяющаяся во времени нагрузка ЦОД[8]

Высокочастотные коммутационные устройства и оборудование силовой электроники в ЦОД могут вносить значительные гармонические искажения в сеть, ухудшая качество электроэнергии и создавая риски для близлежащих электроустановок. Согласно анализу Bloomberg выявлена сильная корреляция между близостью к кластерам ЦОД и ухудшением качества электроэнергии[8]. Помимо гармонических искажений, ЦОД могут способствовать возникновению фликера, несимметрии токов и напряжений.

В период с 2010 по 2020 год потребление электроэнергии ЦОД оставалось относительно стабильным, несмотря на то, что объем производимых данных за тот же период вырос с 2 до 64 зеттабайт[10] (ЗБ). Это стало возможным благодаря тому, что технологический прогресс в области проектирования чипов и методов охлаждения в значительной степени компенсировал рост потребности в энергии. Однако начиная с 2020 года средний PUE практически не меняется, а спрос на энергию со стороны ЦОД начал снова коррелировать с ростом объемов генерируемых данных[11]. Согласно данным МЭА, следуя тренду 2015-2024 годов, средний PUE ЦОД снизится до примерно 1,43 к 2030 году. Даже если удастся снизить средний PUE до 1,3 к 2030 году в наилучшем случае, это сократит энергопотребление ЦОД примерно на 85 ТВт·ч, или всего на 9%.

В принципе, улучшения в вычислительных технологиях являются более важным фактором потенциального снижения спроса на энергию. Например, из рисунка 1.1.5 следует, что при росте потребления новых поколений процессоров в 2 раза их производительность увеличилась в 72 раза[12].



10 10^{21} байт.

11 De-Bray G. et al. AI and energy sectors more intertwined than ever. Deutsche Bank Research Institute. 2025.

12 Singer B. et al. AI/Data Center Power Demand: The 6 Ps driving growth and constraints. Goldman Sachs Research. 2025.

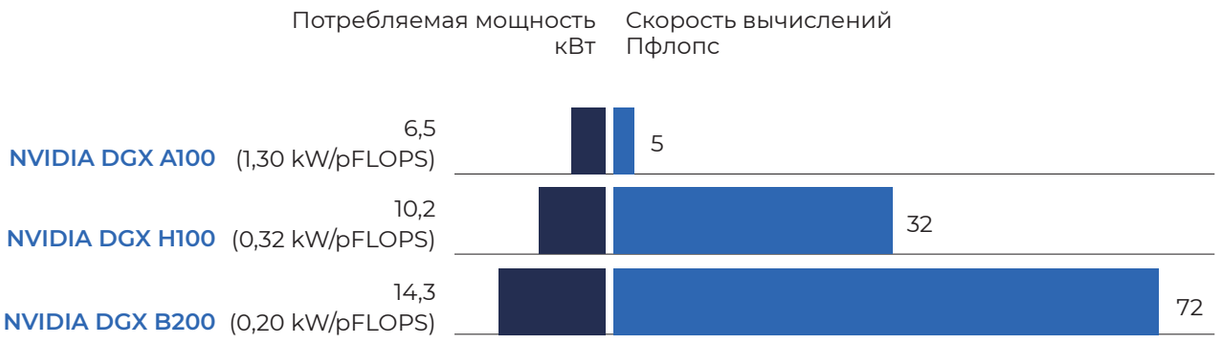


Рис. 1.1.5. Рост производительности процессоров опережает рост потребляемой мощности

По оценкам Schneider, ожидается, что фактор производительности ИКТ улучшится с 0,92 ТВт·ч/ЗБ в 2020 году до 0,45 ТВт·ч/ ЗБ к 2030 году благодаря постоянному прогрессу в создании GPU и TPU, увеличению производительности памяти и более оптимальному использованию ресурсов. Если этот показатель удастся снизить до 0,3 ТВт·ч/ЗБ, это могло бы сократить энергопотребление ЦОД на 14%, или 153 ТВт·ч.

Еще одно направление улучшения вычислительных технологий заключается в создании более оптимизированных моделей. Например, в январе 2025 года компания DeepSeek объявила, что разработка соответствующей бесплатной открытой большой языковой модели заняла всего два месяца (2,78 млн GPU-часов) с использованием одного кластера всего на 2048 чипах Nvidia H800. Для сравнения: Meta обучала модели Llama на двух кластерах, используя 39,3 млн GPU-часов и 49 152 чипа Nvidia H100. Модели DeepSeek используют более короткие циклы обучения и меньше данных, а следовательно, требуют меньшего количества вычислительных часов на одну задачу обучения по сравнению с более традиционными моделями ИИ. Однако, исследование MIT Technology Review показывает, что DeepSeek более энергоемок в поиске ответов, чем эквивалентная модель от Meta с тем же количеством параметров (70 миллиардов). DeepSeek склонен генерировать гораздо более длинные ответы, и поэтому было обнаружено, что он потребляет на 87% больше энергии.

Отмечается также, что в настоящее время ЦОД используют лишь часть своей мощности подключения к сети, оставляя резерв для будущего роста. Данные МЭА и McKinsey показывают, что в среднем европейские ЦОД в 2024 году использовали только 44% своей годовой номинальной мощности[3]. Ирландский системный оператор EirGrid сообщает, что средняя нагрузка, фактически потребляемая клиентами — ЦОД, составляет примерно 34% от их законтрактованной мощности. Это соответствует данным по Норвегии, где из 500 МВт, подключенных к сети, в 2023 году использовалось только 150 МВт — коэффициент использования всего 30%.

По мнению некоторых исследователей, серьезным ограничением роста ЦОД может стать отсутствие необходимых квалифицированных кадров. Например, по отдельным оценкам, потребуется дополнительно около 510 тыс. рабочих мест в энергетике США и около 250 тыс. рабочих мест в ЕС[12]. Особенно будет ощущаться нехватка квалифицированных специалистов, необходимых для строительства линий электропередачи и организации межсетевых соединений. Высвобождение рабочей силы в других отраслях экономики из-за внедрения ИИ вряд ли станет достаточным источником кадров для сектора передачи и распределения из-за высоких требований к квалификации (минимум 3–4 года обучения). Такое положение вещей, вероятно, ускорит внедрение решений по оптимизации сетей, автоматизации и повышению производительности труда.

1.1.3. Предлагаемые решения

УДОВЛЕТВОРЕНИЕ РАСТУЩИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СО СТОРОНЫ ЦОД ТРЕБУЕТ КОМПЛЕКСНОЙ СТРАТЕГИИ.

Необходимо совершенствовать механизмы планирования передающих и распределительных сетей со стратегическим размещением ЦОД. Сроки строительства и ввода в эксплуатацию крупного ЦОД составляют около двух-трех лет, в то время как создание новой электрической инфраструктуры (генерация, линии электропередачи, подстанции) может занять четыре или более лет. Это подчеркивает необходимость в более совершенных инструментах прогнозирования запросов на подключение ЦОД. Для обеспечения эмпирически обоснованной характеристики энергопотребления ЦОД и выявления возможностей для их оптимизации необходим постоянный сбор данных и отчетность по таким параметрам, как размер объектов, потребление энергии и воды, источник питания, типы систем охлаждения, информация о системах резервного питания, характеристики установленного ИТ-оборудования, а также другие доступные характеристики. Эти детали часто считаются собственностью компании, но новые механизмы обмена данными могли бы решить эти проблемы путем создания репозитория, куда компании могли бы предоставлять данные об энергопотреблении, которые затем анонимизировались бы и агрегировались для публичного распространения[13]. Кроме того, чтобы сохранить инвестиции в ИИ в стране, правительства и сетевые операторы могут создавать условия для более равномерного географического распределения ЦОД.

Альтернативой традиционному развитию энергосистем является строительство локальной генерации, полностью ориентированной на ЦОД. Например, в интересах Microsoft осуществляется перезапуск АЭС «Три-Майл-Айленд», Amazon приобрела кампус ЦОД у АЭС в Пенсильвании за 650 млн долл. Параллельно идут инвестиции в малые модульные реакторы (SMR). Проект Stargate предполагает строительство в США нескольких ЦОД мощностью 5 ГВт каждый, что требует создания сопоставимых гигаваттных электростанций и стимулирует развитие крупной атомной энергетики[9]. Во Франции EDF предложила цифровым компаниям четыре промплощадки, подключенные к сетям с 2 ГВт атомных мощностей, в рамках общих инвестиций в ИИ на 109 млрд евро.

Низкое использование мощности подключения делает ЦОД идеальными кандидатами для поэтапного подключения. ЦОД могли бы подать заявку на немедленное подключение мощности, соответствующей примерно 50% их потребностей, при этом оставшиеся 50% подключались бы в течение более длительного периода. В США такой поэтапный подход, по имеющимся данным, может сократить время в очереди на подключение на 80%, с 5–8 лет до 12–18 месяцев. Другим актуальным вариантом для новых ЦОД является негарантированное или гибкое подключение к сети, при котором пользователи заранее соглашаются с системными операторами, что их потребление может быть прервано при определенных условиях, например во время экстремальных погодных явлений. Это позволяет новым потребителям подключаться к перегруженной сети гораздо быстрее и может принести дополнительные выгоды, такие как снижение сетевых тарифов. МЭА подсчитало, что, если бы европейские ЦОД предлагали всего 30 часов гибкости в год, доступная для них сетевая мощность могла бы более чем удвоиться[3]. Это не означало бы, что ЦОД время от времени полностью отключался бы от сети — модель МЭА предполагает, что в 80% часов пиковой нагрузки на сеть более половины обычного сетевого электроснабжения ЦОД все еще было бы доступно. Побочные эффекты схемы гибкости могли бы быть дополнительно компенсированы исполь-

13 Shehabi A. et al. 2024 United States Data Center Energy Usage Report. https://escholarship.org/uc/item/32d6m0d1

зованием резервной генерации на месте и аккумуляторных батарей.

Стандартные ценовые механизмы управления спросом могут создавать новые проблемы при прямом применении к ЦОД для ИИ. Например, задачи инференса или обучения, отложенные в ответ на высокие цены на электроэнергию, могут быть перенесены одновременно на период после падения цен, что приведет к вторичным пикам потребления. Более того, операторы ЦОД для ИИ относительно нечувствительны к ценам на электроэнергию, так как эти объекты имеют высокие невозвратные капитальные затраты, а оказываемые ими услуги являются высокодоходными. В результате альтернативные издержки отсрочки задач обучения или инференса могут перевесить потенциальную экономию от управления спросом. Одним из перспективных направлений являются стимулирующие и контрактные механизмы управления спросом, в которых ЦОД берут на себя обязательства по предопределенным уровням гибкости в обмен на прямую компенсацию или приоритетные сетевые услуги. Например, Google подписал контрактные соглашения с энергокомпаниями в Индиане и Теннесси о сокращении ИИ операций в периоды пиковой нагрузки на сеть. Кроме того, известны механизмы, когда системный оператор вводит значительные штрафы для ЦОД за потребление энергии во время самых высоких интервалов спроса.

Актуальна стандартизация и внедрение методов минимизации колебаний потребляемой мощности ЦОД. Например, программные методы, в том числе на уровне GPU, могут ограничивать скорость изменения мощности, целесообразна установка локальных систем накопления энергии на уровне серверных стоек для сглаживания пиков потребления. Высокоточное моделирование динамического поведения объектов ЦОД необходимо для оценки их способности оставаться в работе при сетевых возмущениях и их взаимодействия с энергосистемой.

Для решения проблем с качеством электроэнергии следует внедрять активную фильтрацию гармоник на объектах ЦОД, симметрирование фаз и перераспределение нагрузки для минимизации искажений тока в нейтрали, координацию с системными операторами для мониторинга гармоник и планирования мер по их снижению[8]. Поскольку мощность ЦОД продолжает расти, активное управление качеством электроэнергии будет иметь решающее значение для поддержания устойчивости сети, обеспечения безопасности оборудования и соответствия нормативным требованиям.

Проведение прямых измерений параметров ИТ-оборудования в сотрудничестве с университетами, национальными лабораториями, а также отраслевыми партнерами позволило бы собирать эксплуатационные характеристики на основе физических атрибутов (например, ядра серверов, DRAM, сетевые порты, хранилища и т.д.), а не полагаться на общие средние показатели энергопотребления от поставщиков данных. Затем измеренные данные можно было бы использовать для обучения имитационных моделей энергопотребления.

Проблемой является также балансирование инвестиций в развитие энергосистем для удовлетворения спроса ЦОД. Если будут сделаны существенные инвестиции в генерацию и сетевое развитие, а ожидаемая нагрузка не будет построена, возврат этих затрат ляжет бременем на всех потребителей. С другой стороны, перекладывание затрат только на ЦОД замедлит их развертывание и создаст проблемы в экономике. Необходимы широкие прикладные исследования с участием энергетических экономистов, разработчиков моделей ЦОД, разработчиков сетевых моделей и других специалистов для выявления ключевых рисков для существующих потребителей, ЦОД и энергокомпаний.

1.2. МАЙНИНГ КРИПТОВАЛЮТЫ: АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ



МАЙНИНГОМ ЦИФРОВОЙ ВАЛЮТЫ (КРИПТОВАЛЮТЫ) НАЗЫВАЮТ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ПРОВЕДЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СТРУКТУР (БЛОКОВ В БЛОКЧЕЙНЕ) ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРИПТОВАЛЮТНЫХ ПЛАТФОРМ.

За создание структурной единицы майнер получает вознаграждение за счёт новых (эмитированных) единиц криптовалюты. Майнинг превратился в один из наиболее энергоемких секторов цифровой экономики. В данном разделе приведены некоторые подходы к оценке потребления электроэнергии майнерами в мире и примеры регулирования майнинга со стороны операторов энергосистем.

Для понимания дальнейшего изложения следует привести некоторые термины и соответствующие определения:

Хеш (hash) – уникальный код фиксированной длины, генерируемый майнинговым оборудованием, который проверяется на соответствие критериям соответствующей сети (блокчейна). Процесс майнинга заключается в многократной генерации хешей по определенным правилам.

Хешрейт (hashrate) – скорость генерации хешей майнинговым оборудованием, определяет вероятность получения вознаграждения майнером. Измеряется в количестве хешей в секунду (современные биткоин-фермы генерируют порядка 10^{12} хешей в секунду – терахеш в секунду – Tx/c).

Консенсус – механизм, обеспечивающий целостность и работоспособность сети блокчейн, определяет то, как участники сети приходят к согласию по актуальному состоянию данных. Необходим для защиты сети от конфликтов, двойных трат, а также других видов нарушений.

Proof-of-work – консенсусный алгоритм, обеспечивающий безопасность блокчейна путем выполнения узлами (майнерами) сложных вычислений для создания новых блоков; он предотвращает двойные траты и спам, требуя значительных энергозатрат, что делает атаки экономически невыгодными.

Proof-of-stake – консенсусный алгоритм, при котором формирование нового блока в блокчейне зависит от количества криптоактивов на счету участника.

ASIC – Application-Specific Integrated Circuit – специализированная интегральная схема, разработанная для выполнения строго определенной задачи, в частности, высокоэффективного майнинга.

1.2.1. Оценки мирового потребления электроэнергии майнерами

В ТО ВРЕМЯ КАК ОБЫЧНЫЕ ЦОД ОБРАБАТЫВАЮТ РАЗНООБРАЗНЫЕ ЗАДАЧИ С РАЗЛИЧНЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ, ОБЪЕКТЫ ДЛЯ МАЙНИНГА КРИПТОВАЛЮТ ЯВЛЯЮТСЯ УЗКОСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМИ УСТАНОВКАМИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМИ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ХЕШЕЙ.

Эти специализированные интегральные схемы (ASIC) работают непрерывно и на максимальной мощности.

Трудность оценки энергопотребления майнинга обусловлена двумя причинами. Во-первых, майнинг работает на ИТ-оборудовании, существенно отличающемся от применяемого в традиционных ЦОД, а потому оценки потребления, сделанные для ЦОД, неприменимы. Во-вторых, индустрия майнинга криптовалют обычно непрозрачна, следовательно сбор всеобъемлющих данных на уровне отдельных объектов практически невозможен.

Объединяя данные об эффективности оборудования майнинга с данными о хешрейте сети, можно получить оценки потребления электроэнергии. Известны следующие подходы к оценке энергопотребления[14]:

- подход «сверху вниз» – простая оценка, получаемая путем умножения подразумеваемого хешрейта сети на предполагаемую энергоэффективность репрезентативного майнингового устройства; точность данной оценки обусловлена оптимальностью выбора характеристик репрезентативного устройства;
- экономический подход базируется на предпосылке, что доход от майнинга должен по крайней мере оправдывать операционные затраты; точность оценки обусловлена волатильностью цен на криптоактивы, колебаниям стоимости электроэнергии и другими факторами;
- гибридный подход «сверху вниз» сочетает аспекты двух подходов, приведенных выше; он подразумевает вычисление эффективности гипотетического майнингового устройства на основе характеристик реального майнингового оборудования, которое соответствует или превышает определенный порог рентабельности. Полученная эффективность вместе с хешрейтом сети затем используется для оценки общего потребления электроэнергии;
- экстраполяция на основе модельных измерений предполагает оценку энергопотребления небольшой репрезентативной части сети и экстраполяцию результатов на всю сеть.

Поскольку не существует центрального реестра или механизма для отслеживания участников блокчейн-сети, участником может стать кто угодно, в результате чего точный состав используемого майнингового оборудования остается в значительной степени неизвестным. Опрос, проведенный Кембриджским центром альтернативного финансирования, показал, что диапазон эффективности современных ASIC составляет от 18,0 Дж/Тх до 71,4 Дж/Тх, медианная эффективность на уровне 29,5 Дж/Тх. Взвешенная эффективность, которая учитывает относительный масштаб операций (на основе хешрейта) респондентов, оценивается примерно в 28,2 Дж/Тх и служит ориентиром для эффективности оборудования. Дополнительно были проанализированы более ста различных моделей ASIC для биткоина. Чтобы лучше отражать реальные рыночные условия, методология обычно ограничивает производителей оборудования, фокусируясь на трех основных (Bitmain, MicroBT и Canaan), совокупная доля рынка которых превышает 85%. Этот фильтр исключает «экзотические» устройства с незначительным влиянием на продажи и устаревшие модели.

14 Cambridge Digital Mining Industry Report: Global Operations, Sentiment, and Energy Use. Cambridge Center For Alternative Finance. 2025. https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2025/04/2025-04-cambridge-digital-mining-industry-report.pdf

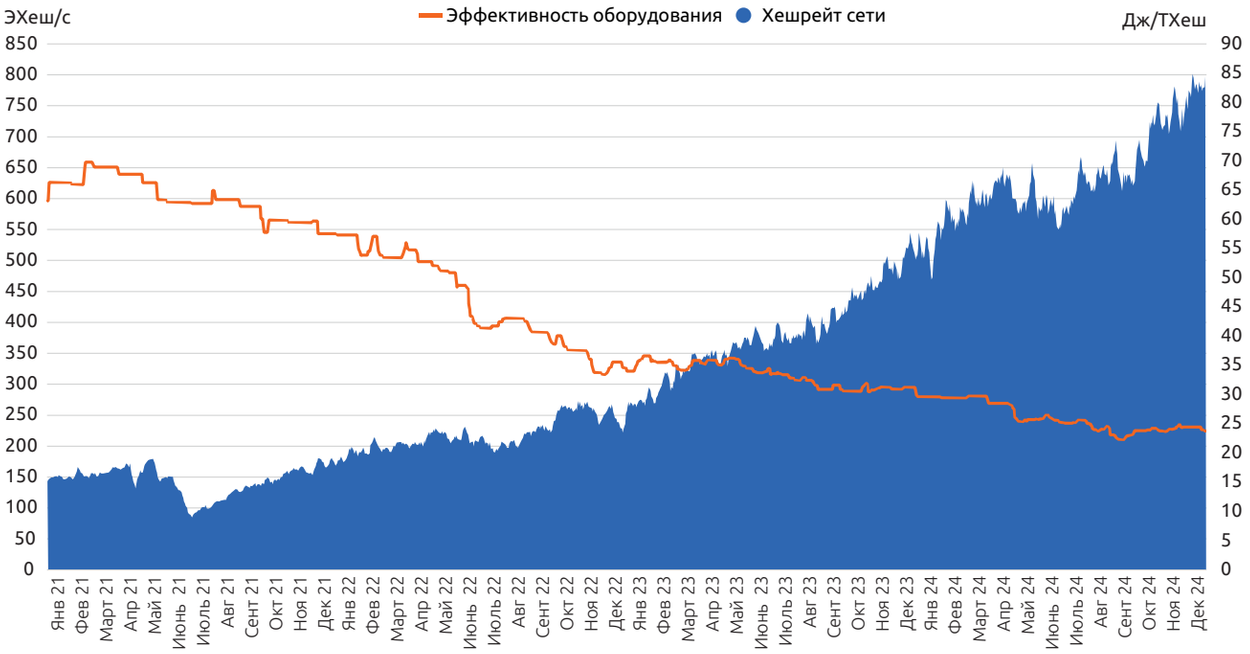
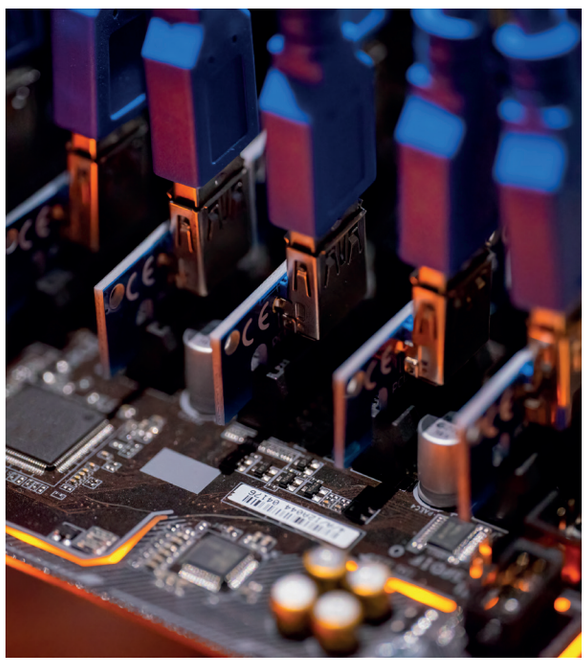


Рис. 1.2.1. Зависимость между средней эффективностью оборудования для майнинга (правая шкала) и усредненным на недельном интервале хешрейтом сети Биткоин с 1 января 2021 г. по 31 декабря 2024 г.[14]

Как показывает рис. 1.2.1, влияние технологических достижений в сочетании с меняющимся ландшафтом цифрового майнинга приводит к гораздо более высоким уровням эффективности оборудования. При увеличении энергоэффективности с 60 Дж/Тх до 23,7 Дж/Тх подразумеваемый хешрейт вырос на 455% за тот же период (с 01.01.2021 по 31.12.2024). По мере того как оборудование для майнинга становится более эффективным, оно потребляет меньше энергии для выполнения того же объема работы. И наоборот, по мере роста хешрейта сети требуется больше энергии для поддержания этого уровня активности. Таким образом, повышение эффективности помогает смягчить энергетические потребности растущих уровней хешрейта. Прогнозы, основанные на общедоступных данных о разработке ASIC, указывают на продолжение повышения эффективности оборудования, при этом наиболее эффективные устройства в настоящее время достигают 12 Дж/Тх, а ожидается, что будущие разработки достигнут уровня ниже 10 Дж/Тх.

Хотя подразумеваемый хешрейт сети и потребление электроэнергии со временем выросли, траектории их роста значительно разошлись. За наблюдаемый период подразумеваемый хешрейт сети вырос на существенные 455%, в то время как годовое потребление электроэнергии немного более чем удвоилось (+111%). Это наблюдение важно, потому что оно подчеркивает ошибочность использования простых экстраполяций для прогнозирования будущего энергопотребления.



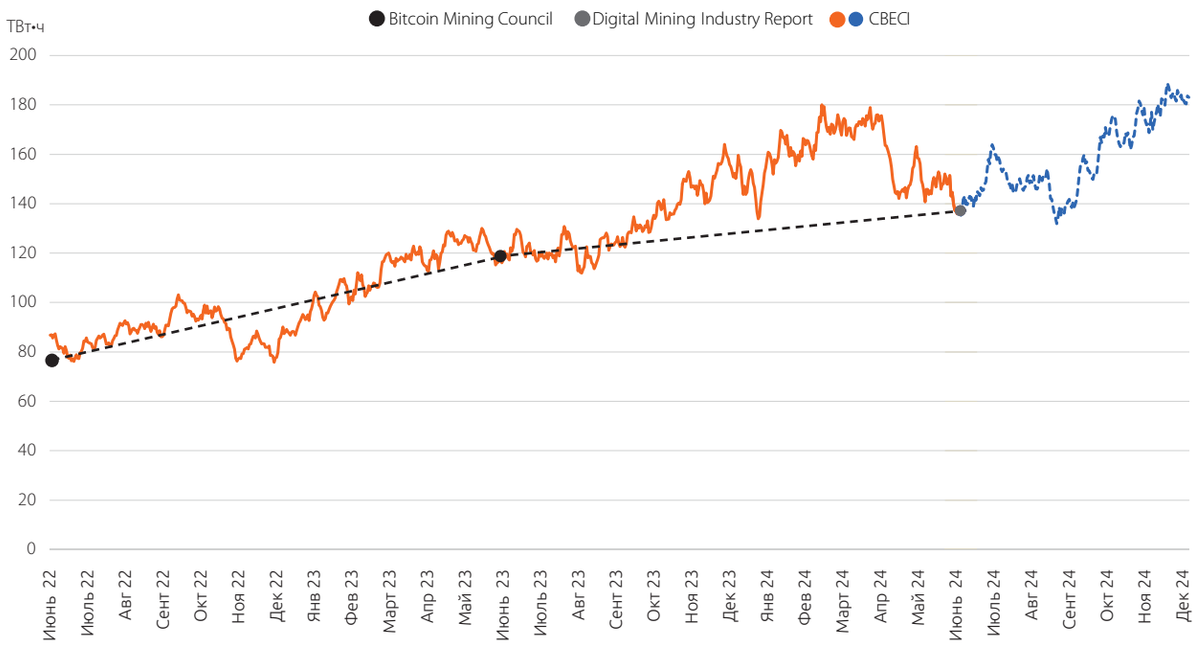


Рис. 1.2.2. Сравнение различных оценок годового энергопотребления сети Биткоин[14]

На основе взвешенных оценок эффективности оборудования годовое потребление электроэнергии сети Биткоина составляет порядка 138,2 ТВт·ч по состоянию на 30 июня 2024 года[14] (см. рис. 1.2.2). Этот уровень потребления эквивалентен приблизительно 0,54% от общемирового годового потребления электроэнергии. Несмотря на децентрализованный характер майнинга, потребление электроэнергии может быть приблизительно оценено с приемлемой погрешностью, так как разные методы оценки приходят к примерно одинаковому выводу.

Представляют интерес исследования, в которых осуществляется географическая привязка оценок энергопотребления. Например, такие оценки сделаны для США Национальной лабораторией в Беркли[15]. Чтобы оценить долю глобального майнинга, приходящуюся на Соединенные Штаты, были использованы данные о географическом распределении хешрейта CBECI[16]. Карта майнинга CBECI отслеживает географическое распределение хешрейта Биткоина, собирая и агрегируя данные IP-адресов от участвующих майнинговых пулов (порядка 30–40% от общего хешрейта Биткоина). В этом анализе доля США в глобальном хешрейте порядка 6% до 2021 года (запрет майнинга в КНР) и порядка 33–36% после. Отсутствие прозрачности в отношении мест майнинга остается существенным источником неопределенности при оценках энергопотребления.

Дополнительно для получения верхней и нижней границы оценок энергопотребления вводятся PUE майнинговых объектов. Типичные значения PUE для майнинговых операций находятся в диапазоне от 1.05 до 1.20. Для сценариев нижней границы предполагается, что оборудование состоит только из самых эффективных моделей, работающих с самым низким PUE. Для верхних оценок используются порог рентабельности CBECI и верхняя граница PUE. Для калибровки данных использована оценка «снизу вверх», которую провело Управление энергетической информации США (EIA)[17]. Были выявлены 137 объектов майнинга в 21 штате, с подробными данными о мощности электропитания для 101 из этих объектов. Предполагая 80% коэффициент использования для задокументированных 10 275 МВт мощностей майнинга, EIA оценило годовое потребление электроэнергии примерно в 70 ТВт·ч за 2023 год (см. рис. 1.2.3).

15 Shehabi A. et al. 2024 United States Data Center Energy Usage Report. https://escholarship.org/uc/item/32d6m0d1

16 Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. https://ccaf.io/cbnsi/cbeci

17 Morey M. et al. Tracking electricity consumption from U.S. cryptocurrency mining operations. EIA. 2024. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61364

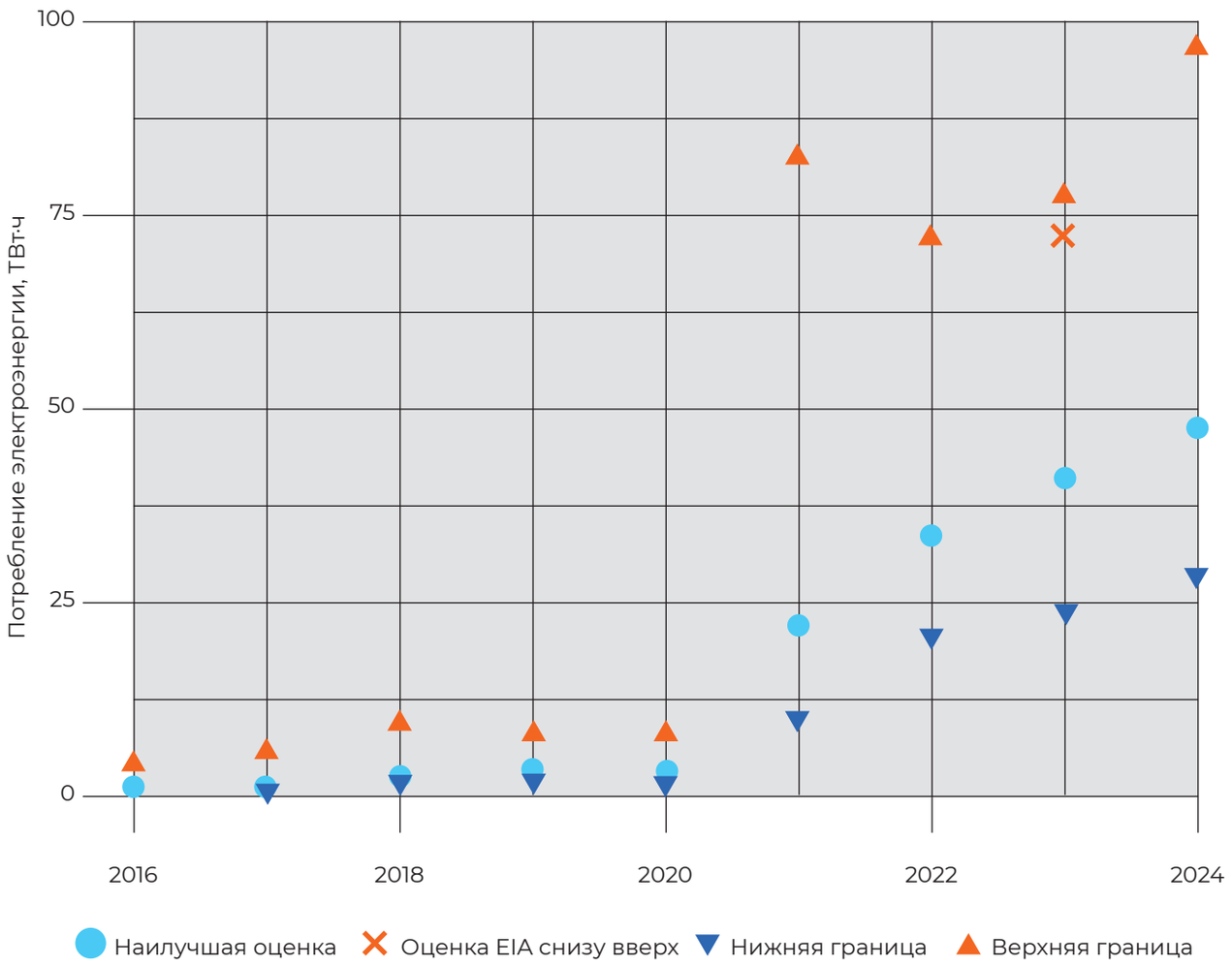


Рис. 1.2.3. Оценки годового энергопотребления майнинга Биткоина в США с 2016 по 2024 год[15]

Многие исследования рассматривают только потребление энергии, связанное с майнингом биткоина, по нескольким причинам. Во-первых, биткоин составляет подавляющее большинство активности по майнингу криптовалют на основе proof-of-work. Во-вторых, криптовалюты, основанные на альтернативных механизмах консенсуса, потребляют значительно меньше энергии. Приведенные методологии можно было бы распространить и на другие криптовалюты на основе proof-of-work, если они получат значительное распространение и появятся достаточные данные о хешрейте их сетей, эффективности оборудования и географическом распределении майнинговой активности.

Для оценок будущего энергопотребления майнинга разрабатываются модели линейной регрессии. Модели демонстрируют сильную статистическую связь между ценой криптовалюты и энергопотреблением. Для США показано, что каждое увеличение цены биткоина на 1 тыс. долл. приводит к увеличению энергопотребления примерно на 0,058 ТВт·ч в месяц.

Как видно из изложения выше, проблемы прогнозирования потребления электроэнергии майнерами также связаны с недостатком данных. Привлечение участников майнинговой индустрии для добровольного обмена анонимизированными агрегированными данными о характеристиках и режимах оборудования было бы полезным для операторов энергосистем. По мере того, как цифровые активы становятся все более распространенными, энергокомпаниям придется разрабатывать более совершенные инструменты для отслеживания и управления спросом на энергию, связанным с майнингом.

1.2.2. Регулирование майнинга

АНАЛИЗ ГЛОБАЛЬНОГО ХЕШРЕЙТА ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ПОДАВЛЯЮЩЕЕ БОЛЬШИНСТВО МАЙНИНГОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СОСРЕДОТОЧЕНО В США (~36%), НА ВТОРОМ МЕСТЕ НАХОДИТСЯ РОССИЯ (~16%) И ДАЛЕЕ – КИТАЙ (~14%), ГДЕ МАЙНИНГ ФОРМАЛЬНО ЗАПРЕЩЕН, А ТАКЖЕ КАЗАХСТАН (~2,5%).

В США по-прежнему нет единого федерального законодательства, устанавливающего нормы и правила потребления электроэнергии оборудованием для майнинга. Министерство энергетики США и Агентство энергетической информации активно проводят ежегодные исследования на эту тему. Техас стал крупнейшим центром майнинга в США благодаря дешевой электроэнергии и прогрессивному регулированию. В ноябре 2024 г. Комиссия по коммунальным услугам Техаса (PUCT) ввела обязательную регистрацию всех майнинговых ферм, подключённых к сети ERCOT, с раскрытием мощности и графиков потребления. Аналогично в штате Нью-Джерси для новых майнинговых ферм вводится необходимость предоставить энергетические планы. В штате Нью-Йорк в 2022 году введен мораторий на выдачу новых разрешений для майнинговых операций на базе proof-of-work. Основная претензия регуляторов – активное использование майнингом угольных электростанций, выводимых из эксплуатации. В Штате Нью-Гэмпшир в 2025 году начато рассмотрение законопроекта о полной дерегуляции майнинга.

В июне 2021 г. Китай ввёл полный запрет майнинга, мотивируя это чрезмерным энергопотреблением и финансовыми рисками. Это решение привело к миграции мощностей (от 65% до 75% китайского хешрейта переместились в США, Россию и Казахстан). Тем не менее, несмотря на официальный запрет, майнеры используют избыточную гидроэнергию в провинциях Сычуань и Юньнань. Также появляются пилотные проекты, интегрированные в государственную энергосистему, тестируются модели использования майнинга для потребления избыточной энергии от ветровых и солнечных станций, майнинговое оборудование размещается непосредственно на электростанциях.

В Казахстане в 2024 г. введены комплексные меры для регулирования майнинга. Во-первых, введено лицензирование для владельцев дата-центров и арендаторов майнингового оборудования. Обязательные требования включают регистрацию в специальном государственном реестре, соответствие стандартам информационной безопасности, физическое присутствие оборудования в Казахстане, и размещение дата-центров вне жилых зон. Лицензиаты обязаны использовать только аккредитованные майнинг-пулы и продавать определенную долю добытых активов через лицензированные биржи. Введен фиксированный налог 2 тенге за кВт·ч потреблённой электроэнергии (независимо от тарифа), 1 тенге за кВт·ч для объектов, запитанных от ВИЭ или автономно, а также штрафная ставка 25 тенге за кВт·ч для нелицензированных майнеров. Организации обязаны уплатить подоходный налог 20% с доходов от майнинга. Майнеры могут покупать электроэнергию только при наличии избытков в национальной энергосистеме, с текущим лимитом максимум 1 МВт·ч через платформу Министерства энергетики.

В Индии отсутствуют законы, запрещающие майнинг, регулирование не введено. Тарифы на электроэнергию для коммерческих предприятий в Индии выше, чем в Казахстане, поэтому майнинг не всегда оказывается рентабельным. Правительство изучает возможность введения специальных «криптозон» с льготными тарифами.

В Бразилии криптовалюты легализованы и ведется активная борьба с нелегальным майнингом. В 2024–2025 гг. полиция провела серию рейдов в Рио-де-Жанейро, выявив майнинговые фермы, ежемесячно незакон-

но потребляющие электроэнергию на суммы выше 100 тыс. долл.

В Евросоюзе в 2024 г. вступил в силу регламент MiCA (Markets in Crypto-Assets). Введена обязательная отчетность: владельцы майнингового оборудования должны публиковать данные об энергопотреблении на транзакцию, источниках энергии и методологии расчёта. При регистрации новых активов требуется независимая оценка потенциального энергопотребления сети. В Ирландии, где майнинг потребляет свыше 20% электроэнергии страны, рассматривают налог на энергоёмкие вычисления. Германия обязала майнеров использовать только «избыточную» ВИЭ-энергию.

Системной проблемой является рост нелегального майнинга. По оценкам Интерпола, до 30% глобального хешрейта приходится на операции с использованием украденной электроэнергии. Энергокомпании применяют следующие технические методы выявления нелегального майнинга:

- анализ гармоник: исследования показали, что ASIC-фермы создают уникальный спектр гармоник тока и помеховые сигналы диапазоне 150 кГц – 30 МГц; установка соответствующей анализирующей аппаратуры на подстанциях позволит оперативно выявлять нелегальных майнеров по помеховым «отпечаткам»;
- анализ потребления с помощью машинного обучения позволяет выявить признаки майнинг-ферм: равномерное потребление без суточных колебаний, резкие скачки потребляемой мощности, несоответствие заявленной мощности фактическому уровню потребления;
- тепловизионный анализ: обследование районов с высокими потерями электроэнергии для выявления повышенного тепловыделения от майнинговых ферм и фидеров к ним;
- анализ данных от поставщиков оборудования: создание реестра майнеров на основе данных продавцов ASIC.

В странах, где распространен майнинг, усиливаются наказания: в Бразилии штрафы до 500 тыс. долл. и конфискация оборудования, в Казахстане – штрафы до 260 тыс. долл., в Таджикистане – уголовная ответственность. Одновременно реализуются поощрительные программы за легализацию.

Перспективы развития майнинга зависят, в основном, от распространения энергоэффективных консенсусов, которые могут радикально сократить потребление; регуляторной гармонизации, а также интеграции и взаимодействия майнеров с энергосистемами.



1.2.3. Адаптация энергосистем к майнингу

В МИРЕ СУЩЕСТВУЮТ РАЗЛИЧНЫЕ ПРИМЕРЫ, КОГДА МАЙНЕРЫ СТАНОВЯТСЯ АКТИВНЫМИ УЧАСТНИКАМИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ.



В последние годы управление спросом превратилось из нишевого инструмента балансировки сети в важный компонент современных электроэнергетических систем. Поскольку энергосистемы по всему миру испытывают всплеск использования переменных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветер и солнце, управление балансом между спросом и предложением становится все более сложным. Компании майнинга становятся стратегическими партнерами для системных операторов, функционируя как высокогибкий ресурс. В отличие от ЦОД или таких отраслей, как производство стали, операции майнинга способны быстро наращивать или снижать свою нагрузку в ответ на сигналы сети в реальном времени, неся при этом минимальные эксплуатационные расходы, поскольку основным последствием является лишь снижение объема майнинга криптовалюты. Эта гибкость делает их особенно ценными в регионах с изолированными энергосистемами, таких как ERCOT в Техасе, где ограниченные взаимосвязи с другими сетями делают балансировку нагрузки в реальном времени более критичной. Например, при избытке солнечной/ветровой энергии оборудование включается, предотвращая отключение ВИЭ-генерации. В принципе, майнинг-фермы могут улучшить окупаемость проектов ВИЭ. По некоторым оценкам, до 10% доходов крупных майнеров в Техасе складываются из вознаграждения за услуги балансировки.

Еще одно направление – это использование попутного газа для питания генераторов, снабжающих электроэнергией майнинг-фермы, на нефтедобывающих площадках. Это дополнительный доход для нефтяных компаний, снижение выбросов CO_2 и дешевая электроэнергия для майнеров[18].

Наконец, майнеры, заинтересованные в дешевой электроэнергии, могут софинансировать модернизацию инфраструктуры и получать льготные тарифы.

Успешная модель взаимоотношений энергокомпаний и майнеров, вероятнее всего, будет строиться на обязательной прозрачности операций и технологической интеграции. Майнинг, при разумном регулировании, может превратиться из проблемы энергобезопасности в часть ее решения.

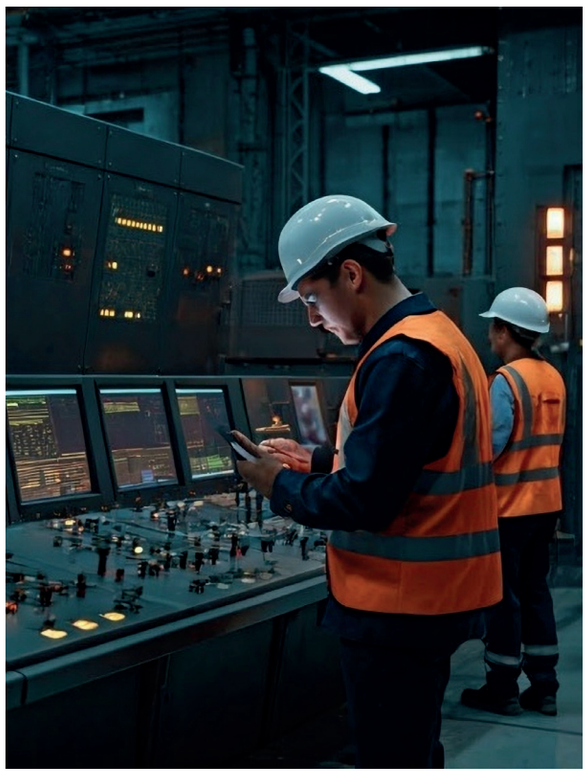
18 https://www.globaldatacenterhub.com/p/the-new-infrastructure-loop-how-flare

1.3. ЗАНЯТОСТЬ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

ТРЕТИЙ ГОД ПОДРЯД ЗАНЯТОСТЬ В МИРОВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ ОПЕРЕЖАЕТ ОБЩИЙ РОСТ ЧИСЛА РАБОЧИХ МЕСТ В ЭКОНОМИКЕ.

В 2024 году увеличение численности работников ТЭК в мире составило 2,2%, что почти вдвое превышает средний показатель по экономике, а общая численность занятых в секторе достигла 76 млн человек. В отдельных странах вклад энергетики заметно выше: в Китае каждое пятое впервые созданное рабочее место относится к энергетике, в США – каждое десятое.[19]

Тем не менее в 2025 г., согласно оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), произошло замедление роста рынка труда в энергетике – показатели самые низкие с 2020 г. Исключение составляет только электроэнергетика, что сопровождается высоким спросом на квалифицированных электриков, монтажников линий электропередачи, инженеров и техников, необходимых для реализации и эксплуатации новых проектов.



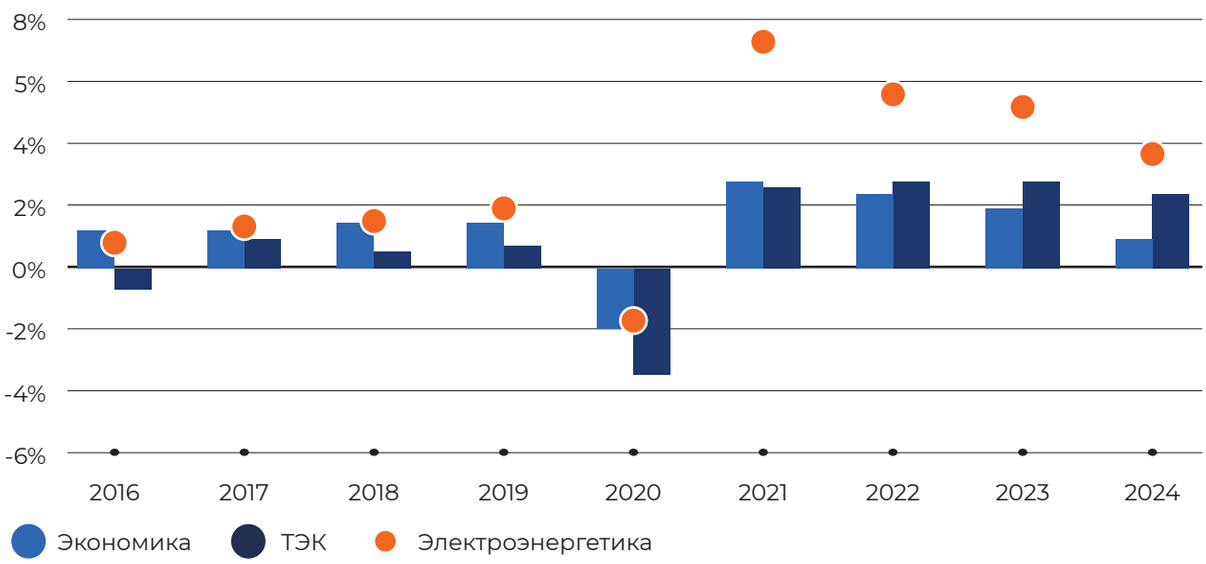


Рис. 1.3.1. Мировой глобальный рост занятости в экономике в целом, энергетическом секторе и электроэнергетике, 2016–2024 гг[20].

19 IEA. World Energy Employment 2025

20 ILO. World Employment and Social Outlook Trends 2025

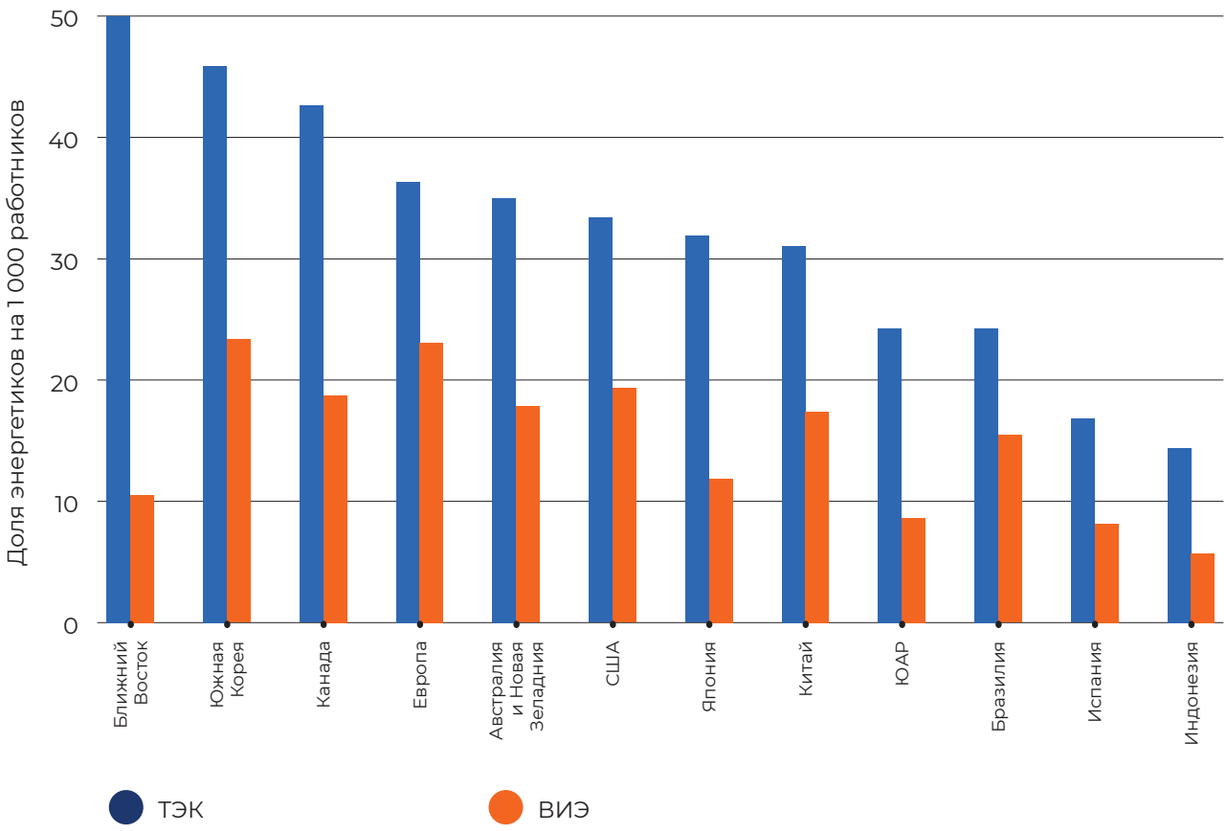


Рис. 1.3.2. Количество рабочих мест в энергетике на тысячу занятых, 2024 год[21].

В 2024 ГОДУ СУММАРНОЕ ЧИСЛО РАБОЧИХ МЕСТ В ТЭК ВЫРОСЛО, ПРИЧЁМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ПО ТЕМПАМ РОСТА ЗАНЯТОСТИ ПОЧТИ ВДВОЕ ОПЕРЕДИЛА ОСТАЛЬНЫЕ СЕКТОРА.

Электроэнергетический сектор, включающий производство, передачу, распределение и хранение электроэнергии, опередил сектор добычи топлива и стал крупнейшим работодателем в глобальном энергетическом секторе, достигнув 22,6 миллиона рабочих мест в 2024 г. Основным драйвером роста стало возросшее количество проектов по строительству новых электростанций.

Передача, распределение и хранение электроэнергии обеспечили в 2024 г. в глобальном масштабе 8,5 млн рабочих мест, но рост в этих подсекторах был вдвое медленнее. Хотя критически важная инфраструктура сетей получила значительные дополнительные вложения в последние годы, отрасль испытывает трудности из-за экономических факторов: цены на компоненты и трансформаторы выросли почти вдвое с 2018 года. Также ситуацию усугубляет дефицит кадров: ощущается острая нехватка высококвалифицированных электриков высокого напряжения, специалистов по производству оборудования и опытных проектировщиков инженерных решений.

21 ILOSTAT. https://ilostat.ilo.org/data/

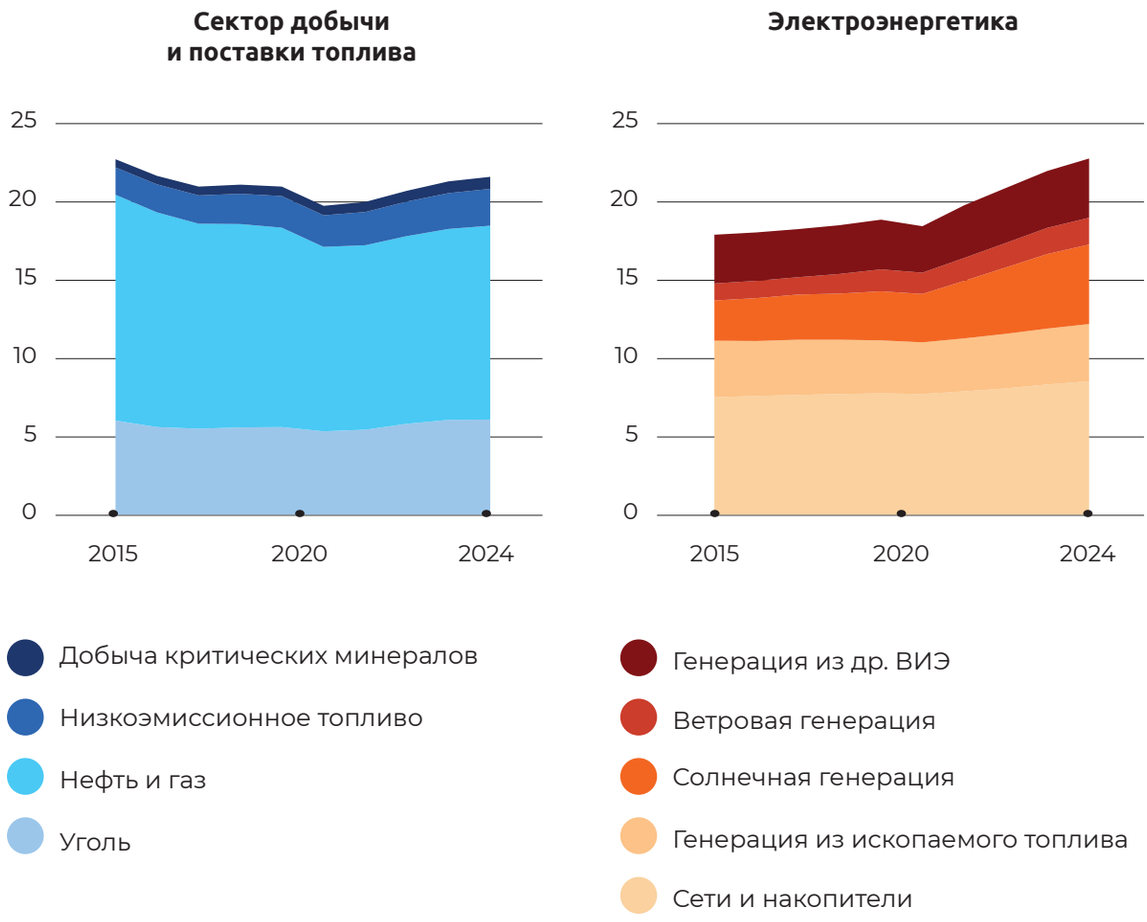


Рис. 1.3.3. Глобальная занятость в энергетическом секторе по видам технологий, 2015–2024 гг., млн работников[19].

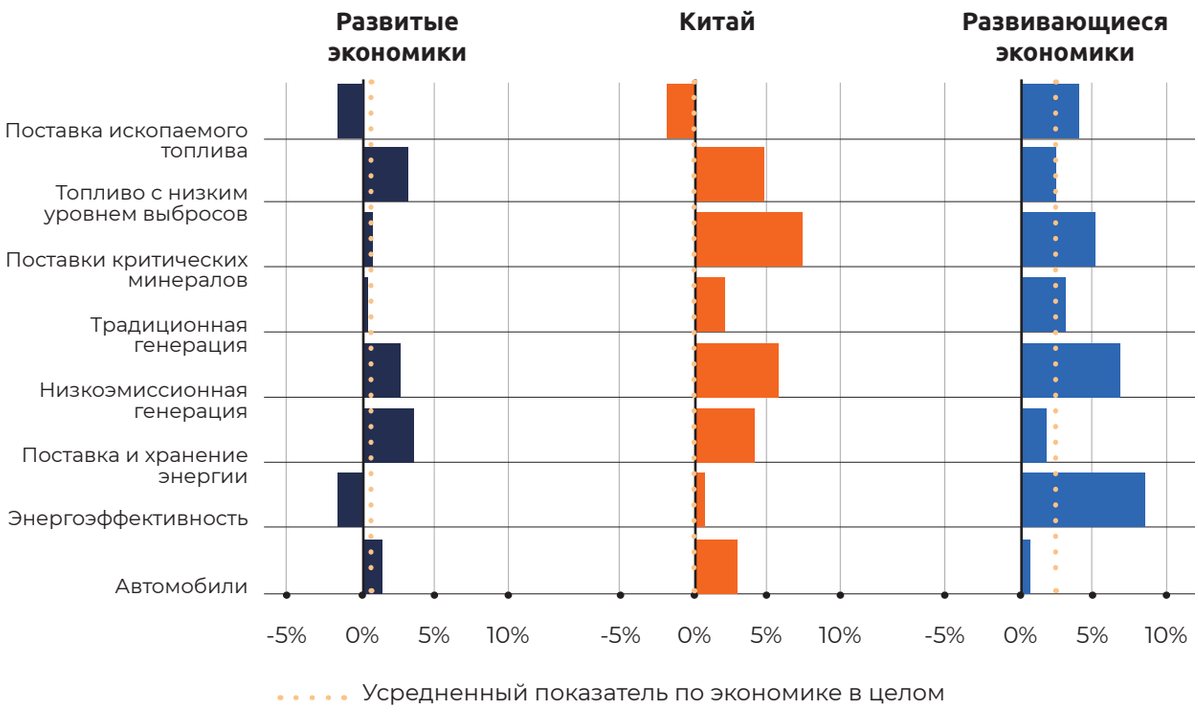


Рис. 1.3.4. Рост занятости по технологиям и регионам, 2023–2024 гг[19].

Среди специалистов наибольшую долю работников в энергетическом секторе составляют прикладные технические специалисты – до 41 млн человек.

Эта группа включает техников, мастеров специализированных работ, операторов оборудования и машин, сборщиков и пусконаладчиков, составляя суммарно до 54% от общей численности работников в энергетике, что более чем вдвое превышает долю аналогичных специальностей в экономике в целом.

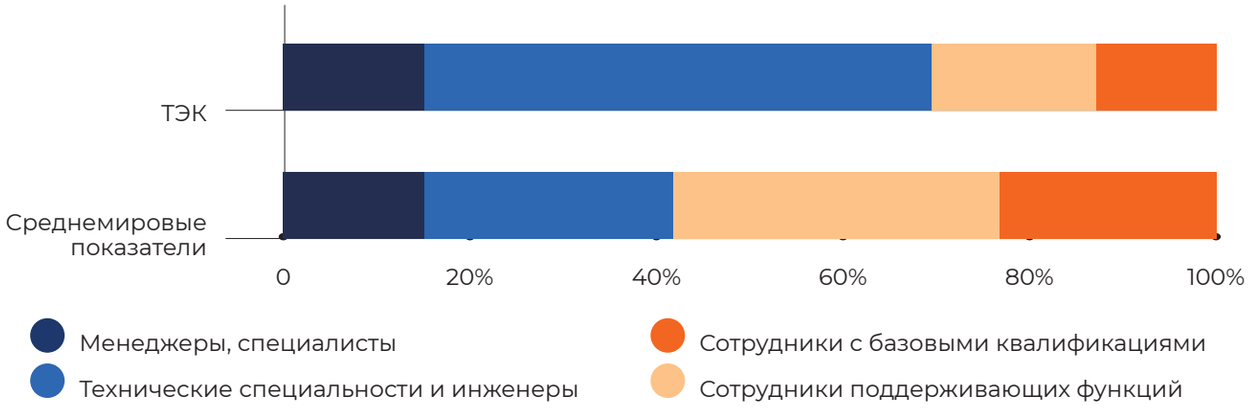


Рис. 1.3.5. Распределение групп профессий в энергетическом секторе по сравнению с общей экономикой, 2024 год[19]

Наиболее многочисленной подгруппой технических специалистов являются электрики, сварщики, специалисты по обслуживанию коммунальной инфраструктуры и строители СЭС. Данные категории показали самый высокий годовой прирост, увеличив свою численность почти на 1,6 млн человек с 2015 года и достигнув 18,9 млн работников к 2024 году. Такая тенденция обусловлена всплеском строительства новых энергетических объектов.

Для прогнозирования тенденций количества рабочих мест в общемировом энергетическом секторе МЭА были сформированы три базовых сценария, демонстрирующих ожидания на рынках труда до 2035 г.:

1. Сценарий объявленных законодательных мер (STEPS)

Этот сценарий предполагает реализацию объявленных законодательных инициатив:

- Количество рабочих мер в энергетике вырастет умеренно до 2035 года.
- Наибольший рост обеспечит электроэнергетический сектор – на 14% до 26 млн работников к 2035 г.;
- Занятость в традиционной генерации останется значительной;
- Производство электротранспорта приблизится к паритету с автомобилями с ДВС к 2035 году;
- Рынок энергоэффективных технологий продолжит развиваться, увеличиваясь на 1,2% ежегодно, по мере ускорения внедрения энергосберегающих решений.

2. Сценарий действующих политических мер (CPS)

Данный сценарий учитывает исключительно существующие законодательные акты, подразумевая умеренный подход к скорости развертывания новых энергетических технологий:

- Общий рост числа рабочих мест в энергетическом секторе выражен слабо, особенно в секторе ВИЭ: здесь на 1,3 млн работников меньше, чем в сценарии STEPS;
- Традиционные технологии сохраняют значительное количество работников;
- Занятость в производстве электромобилей растет, но рынок энергоэффективных решений теряет 7% рабочих мест вследствие низких темпов внедрения энергоэффективных решений.

3. Сценарий нулевых выбросов к 2050 году (NZE)

Это амбициозный сценарий, направленный на достижение нулевого уровня выбросов CO_2 к 2050 году:

- Значительный рост занятости в электроэнергетическом секторе: +60% до 36 млн работников к 2035 г., за счет инвестиций в ВИЭ и низкоуглеродные источники энергии.
- Электромобили и производство аккумуляторов достигнут 90% рынка автомобильного производства к 2035 году.
- Спад занятости в традиционной энергетике: падение на 60% в угольной отрасли и на 40% в нефтегазовом секторе. Некоторые потери будут компенсироваться созданием новых рабочих мест в низкоэмиссионной энергетике.

Независимо от того, по какому сценарию будет развиваться энергетика, уже наблюдаются структурные изменения, общие для всех сценариев:

- устойчивый рост занятости в электроэнергетике;
- электромобильность становится ключевой темой;
- сокращение занятости в угольных предприятиях.

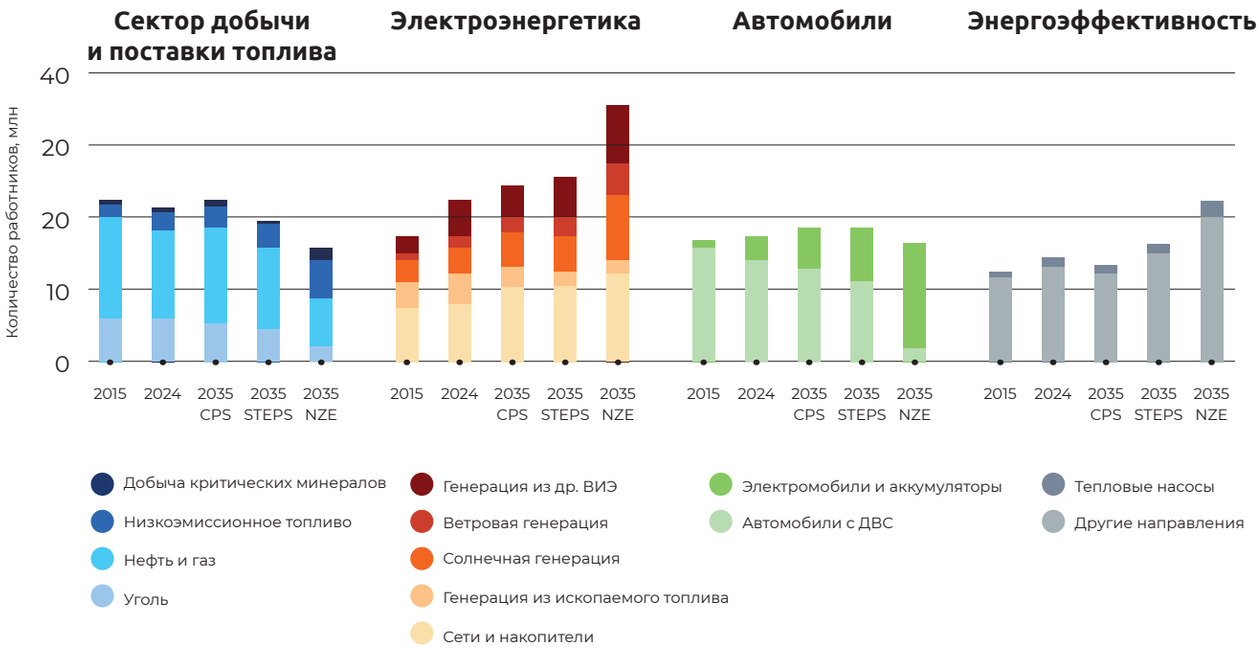


Рис. 1.3.6. Глобальная занятость в энергетическом секторе по технологиям и сценариям, 2015, 2024 и 2035 гг[19].

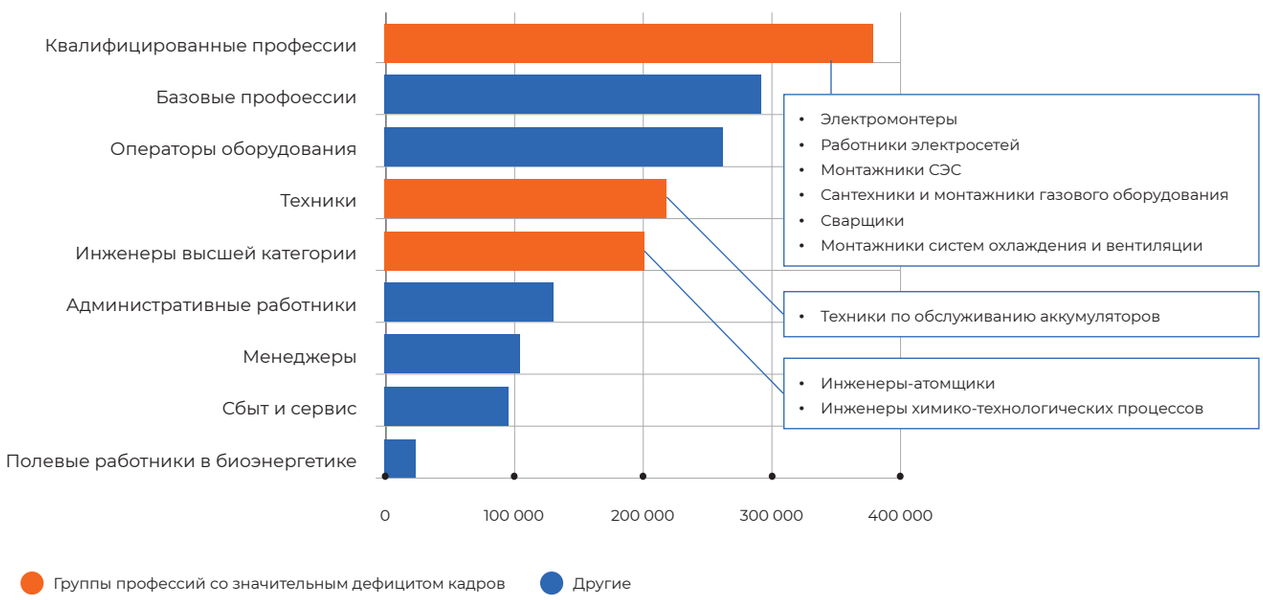


Рис. 1.3.7. Количество рабочих мест в энергетике по группам специальностей, 2023–2024 гг[22].

МНОГИЕ КОМПАНИИ ОТМЕЧАЮТ ПРОБЛЕМУ РОСТА ЗАТРАТ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ПРОЕКТОВ, ЧТО ЗНАЧИТЕЛЬНО ОГРАНИЧИВАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШАТЬ ОПЛАТУ ТРУДА СОТРУДНИКАМ.

22 Eurostat. Statistics on employment and growth 2025

В противовес возросшему объему строительства генерирующих мощностей и инфраструктуры многие компании сообщают о затруднениях с подбором технического персонала. Таковы данные ежегодного опроса МЭА, проведенного среди более чем 700 предприятий, профсоюзов и образовательных учреждений. Около половины компаний отметили проблемы с наймом сотрудников, что ведет к удлинению сроков реализации проектов и увеличению затрат. Сталкиваясь с дефицитом кандидатов, обладающих требуемым уровнем квалификации, компании зачастую вынуждены прибегать к найму менее подготовленных специалистов или обучению непосредственно на рабочем месте. Уровень подготовки выпускников учебных заведений, имеющих дипломы и сертификаты, релевантные для энергетики, не растет или снижается в большинстве стран, что дополнительно усиливает дефицит квалифицированных специалистов.

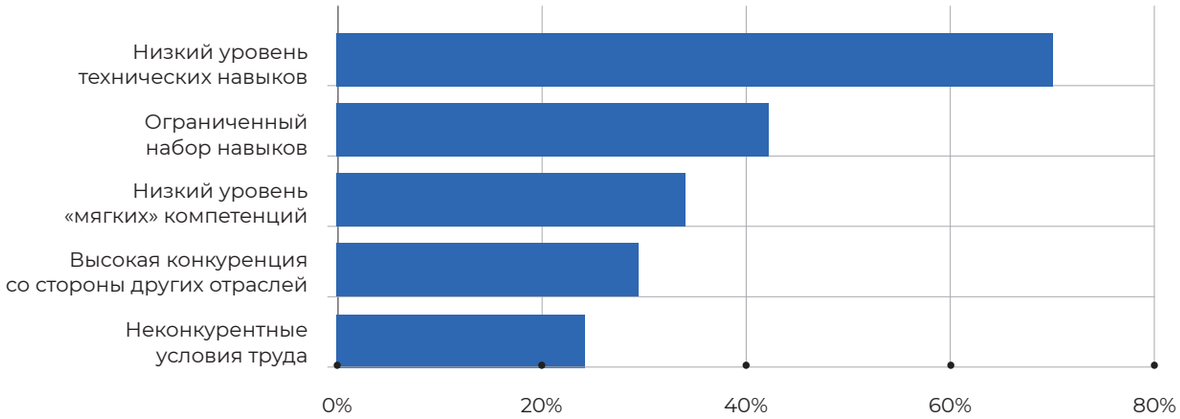


Рис. 1.3.8. Основные причины нехватки рабочей силы, отмеченные работодателями в энергетическом секторе[23].

С точки зрения заработной платы наиболее высокий показатель реального роста зарплат отмечен в атомной энергетике: он варьируется от 2% до 5% в Китае, Индии и США. Средняя оплата труда в возобновляемой энергетике, напротив, не смогла достичь таких высоких показателей, а ветроэнергетика столкнулась с серьезными экономическими проблемами в ряде регионов.

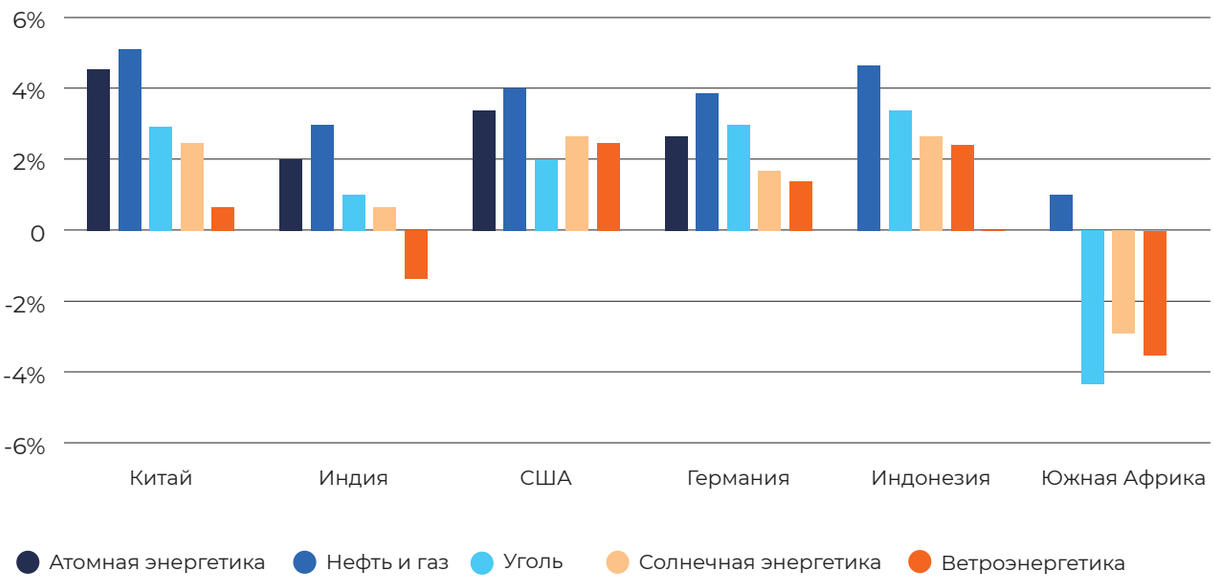


Рис. 1.3.9. Изменение реальных зарплат по странам и технологиям, 2024–2025 годы[24,25].

23 IEA Industry Employment Survey, 2025.

СТАРЕНИЕ РАБОЧЕЙ СИЛЫ И НИЗКАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ УСЛОВИЙ ТРУДА ДЛЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ЗНАЧИТЕЛЬНО УСУГУБЛЯЮТ ДЕФИЦИТ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Дефицит квалифицированных кадров в энергетическом секторе обусловлен двумя пересекающимися тенденциями: старение рабочей силы происходит быстрее, чем в среднем по экономике (многие работники близки к выходу на пенсию), и при этом в сферу приходит недостаточно молодых специалистов с необходимым уровнем компетенций.

Например, в США ожидается уход на пенсию около 30% электриков в течение ближайшего десятилетия. В Великобритании в этот же период ожидается снижение численности рабочих мест на 1 млн человек, так как примерно 20% инженерного персонала выйдет на пенсию. Аналогичные проблемы отмечены в Канаде, Японии и Европейском союзе, особенно в отношении квалифицированных рабочих специальностей.

С точки зрения привлечения молодых специалистов некоторые развитые экономики демонстрируют общий рост в энергетическом секторе. Например, в США наблюдается повышение интереса молодёжи к рабочим местам в энергетике, частично вызванное ростом стоимости высшего образования и перспективами карьерной стабильности. Однако темпы набора на должности молодых специалистов пока критически отстают от необходимых для замещения выходящих на пенсию.

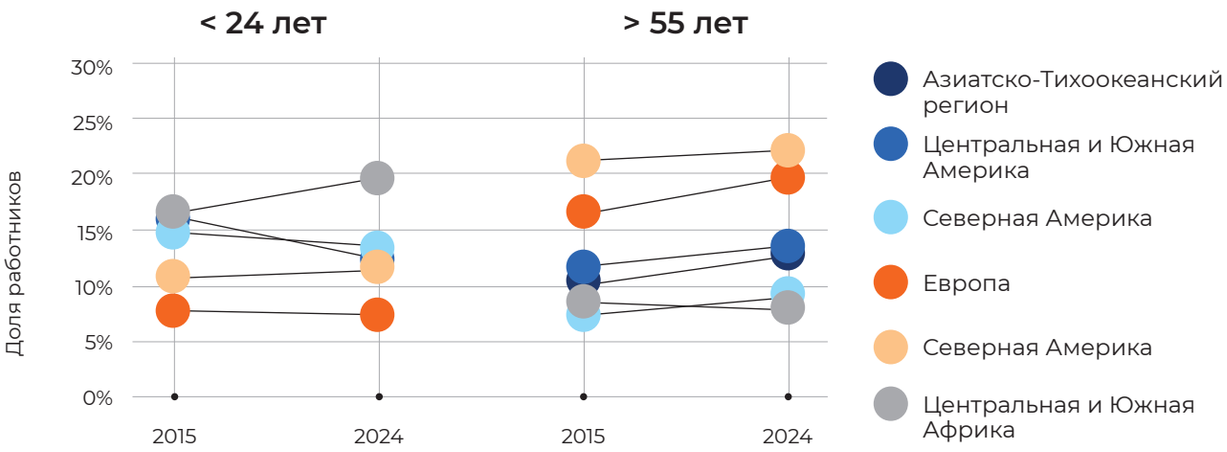


Рис. 1.3.10. Доля работников энергетического сектора по возрастным группам в отдельных регионах, 2015 и 2024 гг[19].



24 International Monetary Fund | IMF Annual Report 2025

25 Economic Research Institute. Common Compensation Terms and Formulas 2025.

При этом некоторые сегменты ТЭК заметно старше других. В атомной энергетике и электроэнергетике доля работников, находящихся в пределах десяти лет до выхода на пенсию, по отношению к новым сотрудникам моложе 25 лет составляет 1,7 и 1,4 соответственно, что значительно выше среднего значения по экономике в целом (1,2). В этих секторах ситуация обусловлена историческими всплесками приема на работу, трудностями в привлечении молодых специалистов ввиду изменений восприятия этих отраслей, а также традиционно низкой внутриотраслевой мобильностью работников в жестко регулируемых секторах. В целом по энергетическому сектору дефицит квалифицированных специалистов также усугубляется качеством рабочих мест и конкуренцией в оплате труда. Опросы МЭА показывают, что многие молодые работники покидают или отказываются занимать должности в отрасли из-за более низких зарплат и менее привлекательных условий труда.

Ряд стран предпринимают шаги для улучшения восприятия профессионального образования и повышения заинтересованности студентов, но привлечение большего числа выпускников в профильные учебные заведения само по себе не решает проблему. Многие выпускники, получившие образование по энергетическим дисциплинам, не идут работать в энергетический сектор. Например, в 2023 г. из 4,3 млн выпускников инженерных факультетов, устроившихся на работу в США, только 1,7 млн работали инженерами, при этом более 600 тыс. предпочли карьеру в ИТ и разработке программного обеспечения, а более 1 млн оказались заняты в непрофильных секторах. В Великобритании только 44% недавно трудоустроенных выпускников инженерных специальностей поступили на работу в промышленные сектора, имеющие прямое отношение к энергетике.

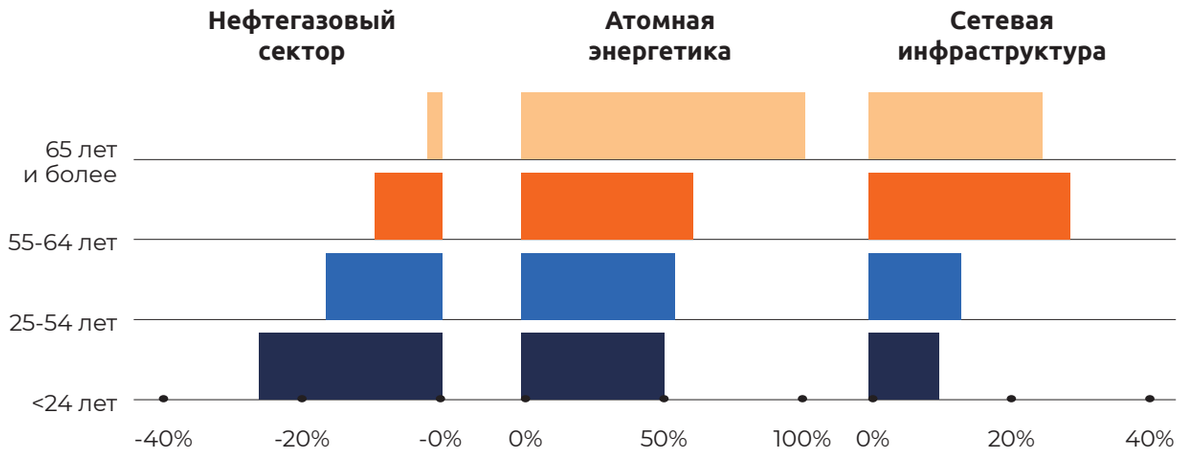


Рис. 1.3.11. Изменения на рынке труда по возрастным группам в различных секторах ТЭК за 20=15–2024 гг.[22]

В США в секторе солнечной энергетики и СНЭ нехватка квалифицированных кадров привела к росту затрат на рабочую силу на 43% в период с 2021 по 2023 год. В 2024 году сочетание дефицита рабочей силы и длительности закупок оборудования вызвало задержку запуска около 53 ГВт солнечных электростанций (СЭС). Похожие проблемы возникают и в Индии, где аналогичные задержки и рост затрат затрагивают производителей солнечных панелей и аккумуляторных батарей, так как работодатели испытывают трудности с наймом необходимого количества квалифицированных сотрудников для запланированного расширения мощностей.

Кроме проблем с вводом новой генерации, нехватка кадров влияет и на поддержание работоспособности существующей инфраструктуры. В 2022 году французскому атомному сектору пришлось столкнуться с продленными сроками ремонтных работ из-за нехватки работников, что привело к самому низкому объему выработки электроэнергии за последние 30 лет и вызвало серьёзные сомнения в надежности системы.

В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ ВОЗНИК ДЕФИЦИТ ВЫПУСКНИКОВ С ОБРАЗОВАНИЕМ, СООТВЕТСТВУЮЩИМ ТРЕБОВАНИЯМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Анализ МЭА показывает, что предложение по количеству квалифицированных специалистов не успевает за спросом со стороны промышленности на технических специалистов.

С появлением новых технологий в энергетическом секторе компании часто сами начинают предоставлять необходимое обучение, создавая собственные образовательные программы или сертифицированные партнерские сети для оперативного устранения недостатков в знаниях. Такая практика снижает нагрузку на работников, которым пришлось бы самостоятельно проходить дополнительное обучение.

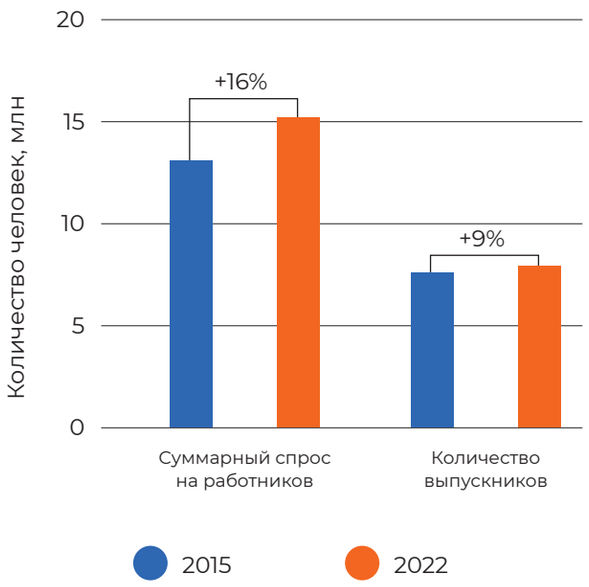


Рис. 1.3.12. Спрос на прикладных технических специалистов со стороны промышленности и выпускники профильных специальностей за 2015–2022 гг[26,27].

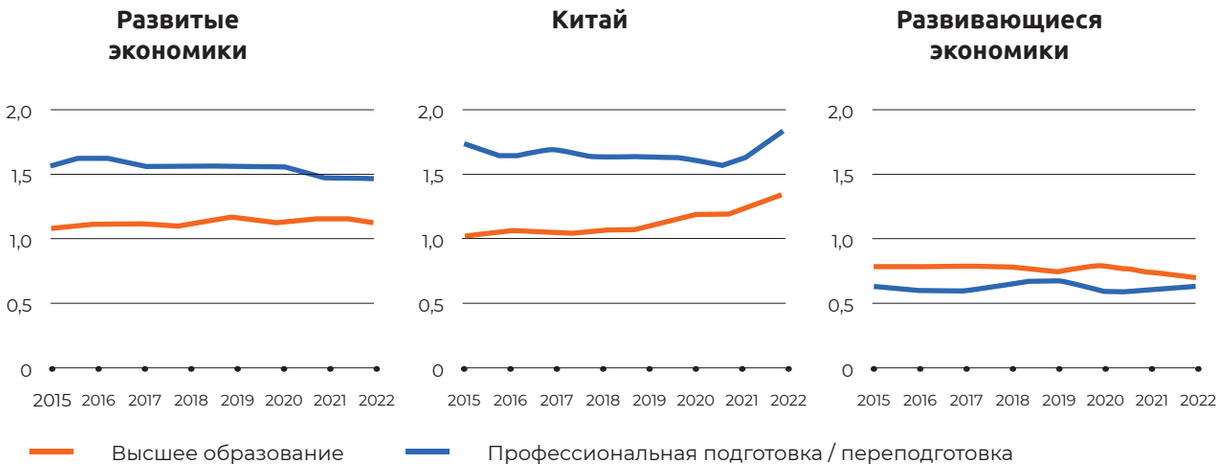


Рис. 1.3.13. Выпускники с квалификациями, релевантными энергетике (высшее и среднее специальное образование) на тысячу населения, 2015–2022 гг[27,28].



26 OECD Data explorer, 2025 statistics
27 UNESCO Institute for Statistics. SGG 4 Monitoring
28 UN Demographic Statistics Database 2025

СОЗДАНИЕ КВАЛИФИЦИРОВАННОЙ РАБОЧЕЙ СИЛЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ ТРЕБУЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКУ

Образование и подготовка в области энергетики составляют сравнительно небольшой процент от общих расходов на образование и подготовку в экономике. С 2015 по 2024 год ежегодно тратилось около 12 млрд долларов на профессиональное образование и подготовку работников в энергетике по всему миру, что эквивалентно примерно 0,2% от глобальных государственных расходов на образование.

Программы профессионального обучения обычно обходятся дороже, чем общеобразовательные программы, из-за необходимости специальных тренажеров и акцента на обучении в полевых условиях для приобретения технических навыков. В странах ОЭСР программы профессионального обучения стоят в среднем на 16% дороже, чем обычные образовательные программы. В развивающихся экономиках финансовая нагрузка на компании также остается высокой из-за меньшего объема государственной поддержки.

КОЛИЧЕСТВО РАБОЧИХ МЕСТ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ПРОДОЛЖАЕТ СТРЕМИТЕЛЬНО РАСТИ, ПРИЧЕМ НИЗКОЭМИССИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СЕТИ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ДО 90% ОБЩЕГО ПРИРОСТА РАБОЧЕЙ СИЛЫ

Только за 2024 г. порядка 40% всех новых рабочих мест в электроэнергетическом секторе было создано в солнечной энергетике, причем почти три четверти из них приходится на Китай. Далее наибольший рост продемонстрировали сети, добавив около 220 тыс. рабочих мест. В угольной энергетике количество рабочих мест, наоборот, сократилось на 12 тыс. в период с 2023 по 2024 год из-за уменьшения темпов ввода новых мощностей.

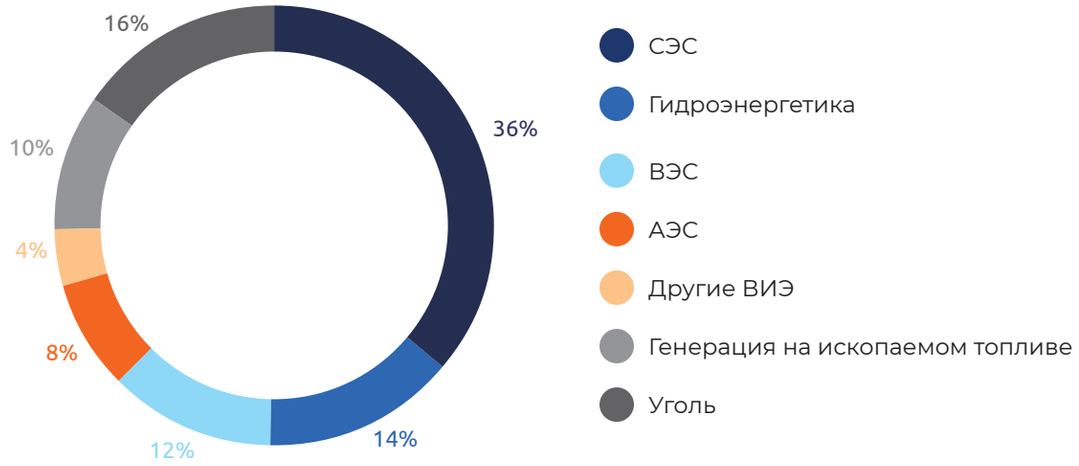


Рис. 1.3.14. Занятость в электроэнергетике по видам генерации, 2024 г.[19]

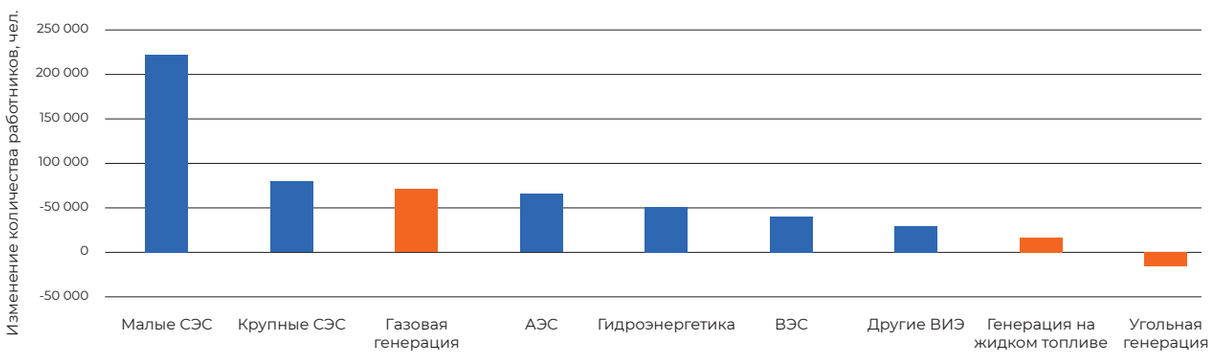


Рис. 1.3.15. Изменение числа рабочих мест за 2023–2024 годы[19].



ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТЬ СТАЛА КЛЮЧЕВЫМ ДРАЙВЕРОМ РОСТА ЗАНЯТОСТИ В АВТОПРОМЫШЛЕННОСТИ И СОПУТСТВУЮЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Производство электромобилей продолжает демонстрировать уверенный рост, что подтверждается долей более 20% в мировых продажах автомобилей. В 2024 году объём рынка труда в производстве электромобилей достиг 3,1 млн человек, увеличившись на 34% по сравнению с предыдущим годом, что почти в пять раз больше, чем в 2020 году, и более чем в десять раз выше, чем в 2015 году. Растущий спрос на электромобили также вызвал стремительный рост занятости в производстве аккумуляторов – в 2024 году количество занятых работников достигло почти 425 тыс. человек, по сравнению с 110 тыс. рабочих мест в 2015 году.

Китай закрепил своё положение ведущего производителя электромобилей и аккумуляторов для них на мировых рынках: рынок труда вырос на 570 тыс. человек в 2024 году, достигнув показателя в 2,4 млн. Хотя Китай давно является крупным производителем автомобилей, обладая долей мирового рынка около 20–30% на протяжении 2010-х годов, сейчас там производится уже более 70% электромобилей в мире.

Значительная часть роста вакансий в Китае в этом сегменте обеспечивается локальными брендами, предназначенными для внутреннего рынка, где электромобили составляют почти половину всех продаж автомобилей. Китайские компании также рассматривают расширение производства электромобилей в других регионах: например, BYD и GWM объявили о новых производственных мощностях в Бразилии, Таиланде, Индонезии и Малайзии, которые начнут работать в ближайшие годы. Эти страны также являются значительным источником экспортного спроса на китайские электромобили, поэтому проводят переговоры о тарифных исключениях для электромобилей взамен инвестиций в местное производство.

Наблюдаемый в последние годы переход от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания к электромобилям, как ожидается, продолжится и в ближайшие годы, хотя темпы этого перехода остаются под вопросом. По верхнему уровню в производстве электромобилей и аккумуляторов для них могут быть заняты до 15 млн человек к 2035 году, а по нижнему — 6,1 млн.

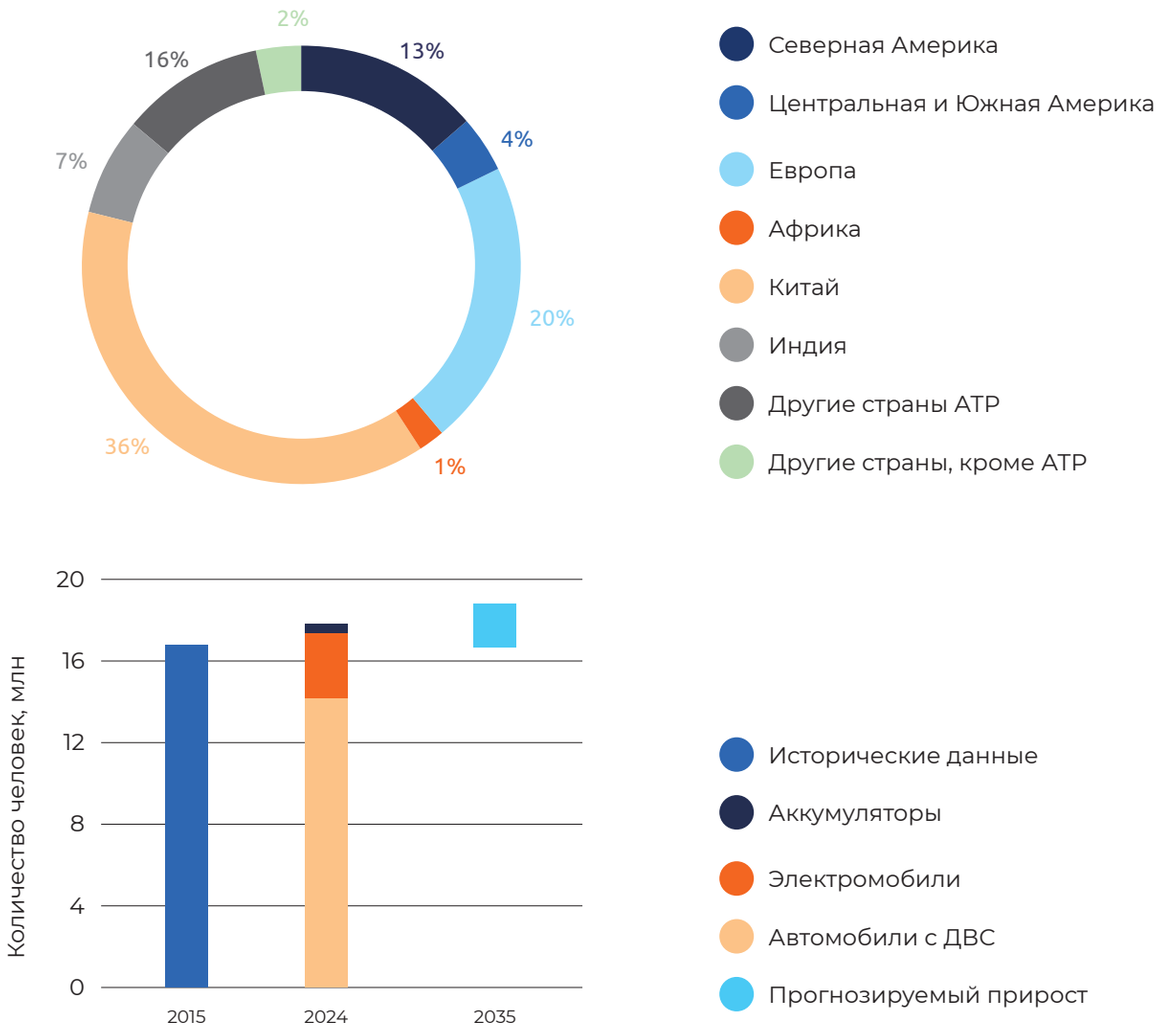


Рис. 1.3.16. Занятость в производстве автомобилей и аккумуляторов для электромобилей по регионам в 2015, 2024 годах и по сценариям в 2035 г.[19]

Выводы

Внутри ТЭК сектор электроэнергетики в 2025 году стал крупнейшим по количеству занятых вакансий, впервые обогнав сектор поставок топлива. Основным фактором спроса на рабочую силу стало развитие солнечной энергетики, обеспечив половину прироста занятости с 2019 года. Атомная энергетика, сетевая инфраструктура и системы хранения энергии обеспечили еще 25% новых рабочих мест после 2019 года.

Электрификация инфраструктуры также меняет характер занятости и в смежных секторах. Например, число работников в производстве транспортных средств продолжало расти в 2024 году – почти на 800 тыс. человек только в области электротранспорта.

В целом, наибольший прирост рабочих мест наблюдался именно в странах с формирующейся экономикой, среди которых лидируют Индия (5,8%), Индонезия (4,8%) и Ближний Восток (3,5%), тогда как в Китае этот показатель составил 2,2%, а в развитых экономиках 0,4%. Тем не менее занятость остаётся сосредоточенной преимущественно в тех регионах, где уже давно существуют крупные энергетические компании и соответствующие цепочки поставок.

Главной проблемой для энергетических компаний стал недостаток квалифицированных кадров, особенно по прикладным техническим специальностям, на долю которых приходится более 50% рабочей силы

в энергетике, что вдвое больше среднего показателя в общемировой экономике.

Старение рабочей силы в энергетическом секторе также усугубляет нехватку квалифицированных кадров. Энергетический сектор «старее» среднего показателя среди других отраслей и одновременно с этим в отрасль приходит недостаточно квалифицированных молодых сотрудников, чтобы заменить уходящих на пенсию. По примерным подсчетам, только до 2035 года до 60% впервые приходящих в отрасль сотрудников потребуется исключительно для замены уходящих на пенсию энергетиков.

Способность государств поддерживать энергетическую безопасность, расширять инфраструктуру, наращивать производство электроэнергии, модернизировать атомные электростанции или привлекать инвестиции всё больше зависит от наличия необходимой рабочей силы. Сегодня уже ощущаются реальные последствия нехватки кадров: около 60% энергетических компаний сообщают о дефиците рабочей силы, что ставит под угрозу сроки выполнения проектов, надёжность системы и контроль затрат.

Количество выпускников с квалификациями, соответствующими энергетическому сектору, отстаёт от растущих потребностей экономики в квалифицированных кадрах. Разрыв между потребностью и предложением непосредственно сказывается на привлечении и удержании необходимых квалифицированных сотрудников. Чтобы предотвратить дальнейшее усугубление дефицита кадров к 2030 году, число выпускников, поступающих в энергетический сектор, должно возрасти примерно на 40% в глобальном масштабе, причем еще больше потребуется в сценарии глобального перехода экономики на возобновляемую энергию к 2050 году.

Расширение образовательной инфраструктуры до такого уровня будет стоить около 2,6 млрд долларов ежегодно во всём мире — что составляет около 0,1% мировых расходов на публичное образование. Некоторые страны уже добились значительного прогресса в привлечении большего числа молодых людей к соответствующим программам профессионального образования.

При этом повышение квалификации работников внутри энергетического сектора также могло бы способствовать устранению дефицита квалифицированной рабочей силы. Анализ показывает, что более 40% опрошенных компаний в сфере энергетики предпочитают нанимать сотрудников из отрасли, чтобы сохранить отраслевые знания и опыт. Компании также обращаются непосредственно к образовательным учреждениям, чтобы помочь восполнить дефицит навыков, спонсируя студентов или обеспечивая подготовку кадров для труднозаполняемых вакансий. Тем не менее взаимодействие в области разработки образовательных программ остается ограниченным.

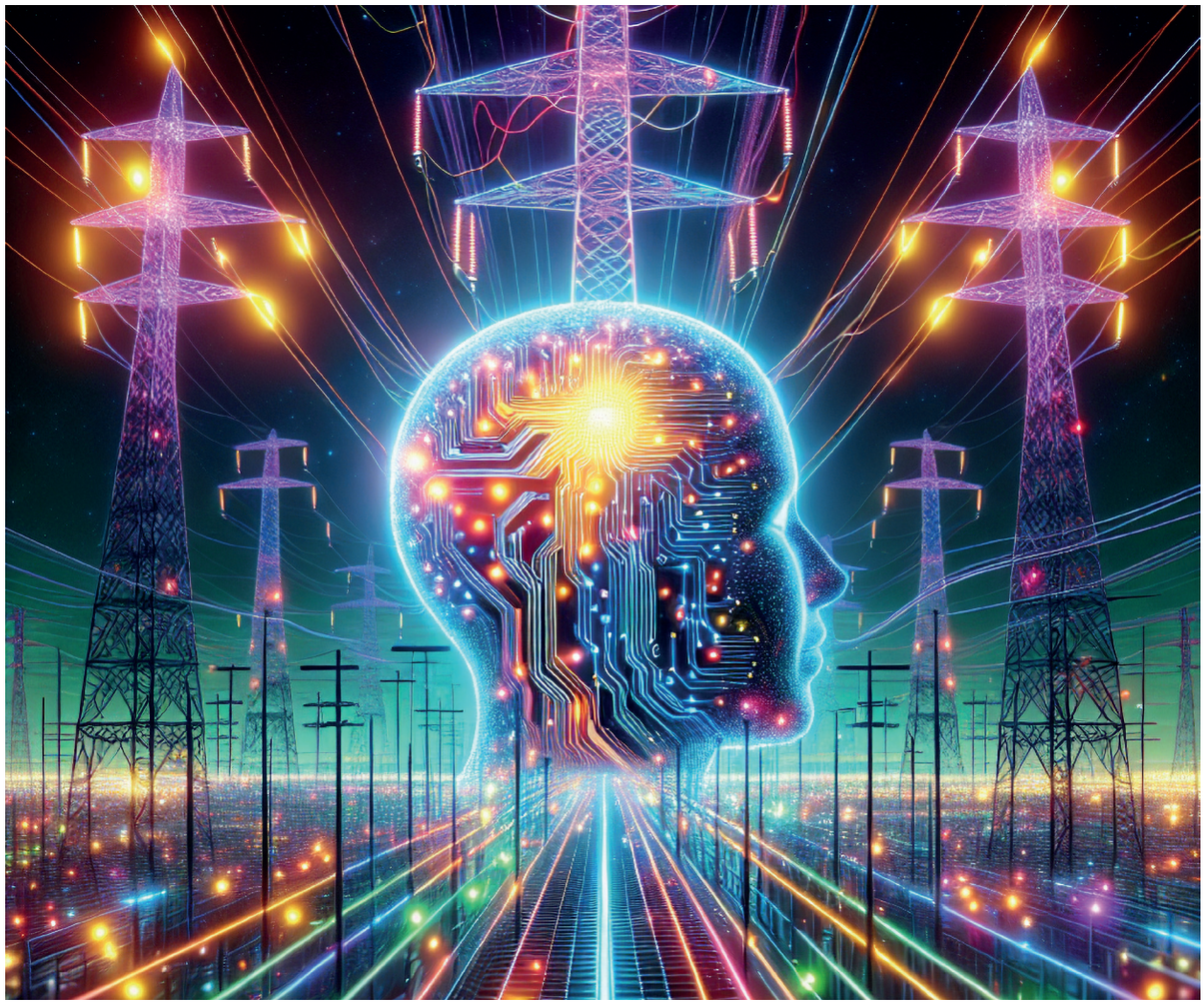
Привлечение работников также зависит от конкурентоспособной заработной платы и качества рабочих мест: согласно опросам по занятости в энергетическом секторе, работники и представители отрасли назвали оплату труда, гарантию занятости и безопасность на рабочем месте основными факторами при оценке вакансии. В 2025 году наибольшие темпы роста зарплат наблюдались в нефтяной и газовой промышленности практически во всех регионах, составив в среднем 3,7%, далее следует атомная отрасль со средним показателем 3,2%, тогда как зарплаты в угольной отрасли и возобновляемой энергетики выросли всего на 1,2% и 0,8% соответственно.



ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПО МЕРЕ ПОВЫШЕНИЯ ЗНАЧИМОСТИ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЭК ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННАЯ РАБОЧАЯ СИЛА СТАНОВИТСЯ ВАЖНЕЙШИМ УСЛОВИЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНЫХ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК, ВВОДА НОВЫХ МОЩНОСТЕЙ И НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ.

Искусственный интеллект потенциально может стать мощным инструментом повышения производительности в энергетике, однако на сегодня технологии ИИ практически никак не решают проблему острой нехватки квалифицированных технических кадров. Компании видят наибольшие долгосрочные выгоды от ИИ в повышении административной эффективности, причем ИИ уже способствует повышению эффективности ряда бизнес-процессов, которые были подробно описаны в Альманахе за 2024 г.

Тем не менее, компании энергетической отрасли пока отстают от других секторов экономики по уровню интеграции ИИ в свою деятельность: концентрация работников, обладающих компетенциями в области ИИ, в энергетике примерно на 40% ниже, чем в высокотехнологичных сферах, финансах, образовании и медиаиндустрии. Хотя инвестиции в развитие навыков и компетенций сотрудников в области ИИ в целом растут в энергетическом секторе, базовые сценарии использования ИИ не приводят к значительному снижению потребности в прикладных технических специалистах, поскольку подобные профессии в основном состоят из ручных операций, труднозаменимых искусственным интеллектом.





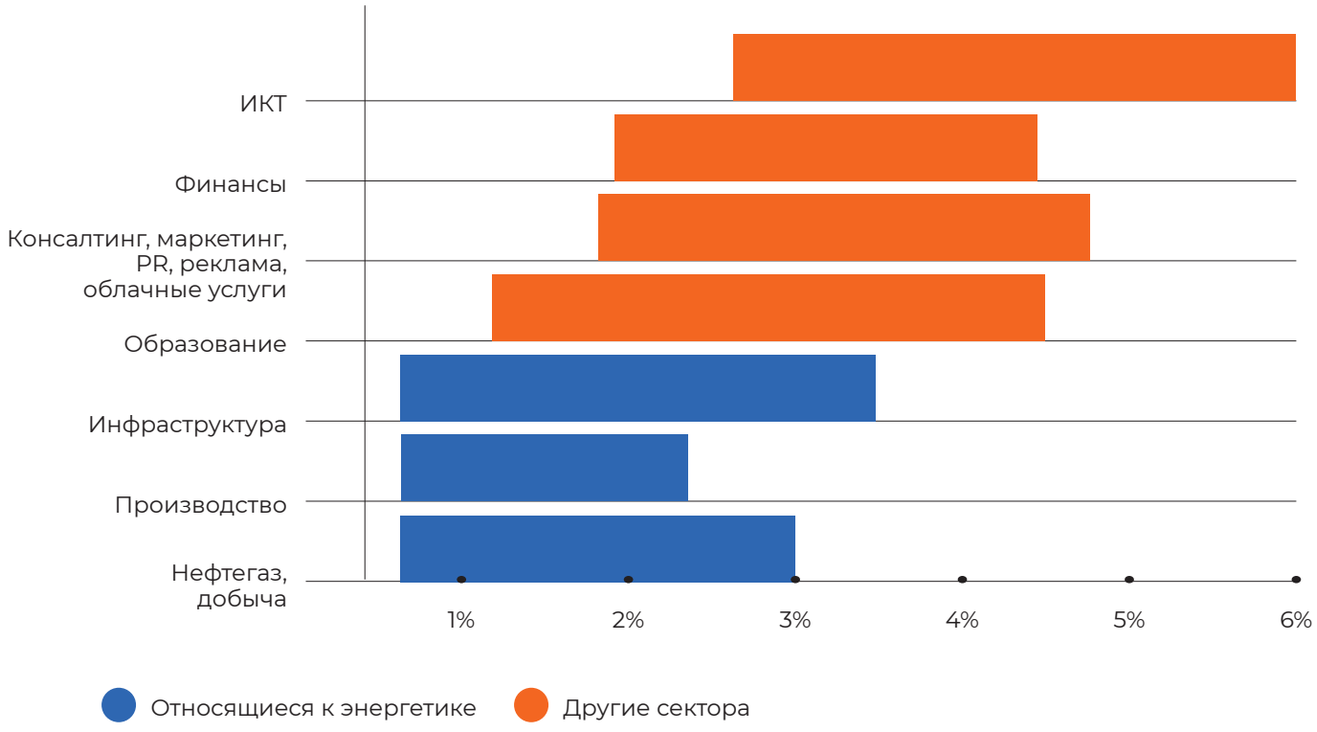


Рис. 1.3.17. Доля специалистов по искусственному интеллекту по секторам, 2024 г.[19]

Ситуацию в целом также осложняют некоторые барьеры, препятствующие формированию необходимой цифровой грамотности на предприятиях. Во-первых, энергетические компании часто сталкиваются со сложностями в конкуренции с техническими и финансовыми организациями по размеру заработной платы и льгот. Во-вторых, многие предприятия не имеют четко закрепленных стратегий или конкретных сценариев использования ИИ, что затрудняет обоснование инвестиций.

В-третьих, ограничение связано с доступностью обучения действующего персонала необходимым навыкам в сфере ИИ. В результате появляются успешные модели сотрудничества компаний с университетами или поставщиками технологий для реализации целевых программ обучения, в то время как некоторые компании вкладывают средства во внутренние платформы для формирования цифровых компетенций среди своих сотрудников.

2 РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ





2.1. ВВЕДЕНИЕ

РАЗДЕЛ, ПОСВЯЩЕННЫЙ РОССИЙСКОМУ ОПЫТУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ, МЫ НАЧИНАЕМ С КРАТКОГО АНАЛИЗА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ, КОТОРЫЕ В НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ СТАВИТ ПЕРЕД СОБОЙ ОТРАСЛЬ В ДАННОМ НАПРАВЛЕНИИ.

Важной вехой в целеполагании является принятие в апреле 2025 года Энергетической стратегии Российской Федерации до 2050 года[29]. В ней сформулированы первоочередные меры развития электроэнергетики в контексте цифровой трансформации:

- повышение качества обслуживания потребителей, в том числе путем развития цифровых сервисов для взаимодействия с потребителями;
- совершенствование системы оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления в электроэнергетике с учетом новых системных вызовов и развития технологий управления;
- стимулирование участия потребителей в работе энергосистемы за счет активизации управления энергопотреблением и агрегированного управления спросом на электрическую энергию, в том числе для развития рынка управления спросом опережающими темпами и снижения неравномерности графика потребления электрической энергии;
- создание отраслевых стандартов моделирования процессов и единой архитектуры информационно-технологических систем, стандартов унификации данных для обмена цифровыми информационными моделями в электроэнергетике;
- расширение использования интеллектуальных систем учета[30] электрической энергии (мощности) и эффективное обеспечение объектов электросетевого комплекса цифровыми дистанционными устройствами управления;
- прогнозирование и установление причин инцидентов с использованием цифровых двойников и анализа больших данных;
- создание отечественного пула серийных технологий для осуществления постепенного энергетического перехода на него всей экономики Российской Федерации, а также освоение компетенций для сервисного обслуживания и локализации производства зарубежного оборудования;
- обеспечение безопасных условий труда работников организаций топливно-энергетического комплекса, в том числе путем внедрения роботизированных комплексов, исключающих присутствие персонала в потенциально опасных зонах;
- обеспечение и совершенствование взаимодействия ведомственного центра государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации с субъектами топливно-энергетического комплекса и Национальным координационным центром по компьютерным инцидентам по вопросам противодействия компьютерным атакам;
- повышение надежности, безопасности и отказоустойчивости сетей связи для критически важных объектов топливно-энергетического комплекса, в том числе за счет использования государственной системы связи Российской Федерации.

29 Утв. Распоряжением Правительства России от 12.04.2025 г. № 908-р

30 Среди показателей реализации Энергетической стратегии: увеличение доли приборов учета, соответствующих требованиям к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии и подключенных к таким системам (от общего количества приборов учета), не менее чем до 70% в 2036 году и не менее чем 95% в 2050 году

В Энергетической стратегии указаны основные технологии, которые целесообразно развивать для достижения целей цифровой трансформации отрасли. Среди них технологии распределенной энергетики, автоматизированного управления, искусственного интеллекта и анализа больших данных, робототехнические комплексы, цифровые двойники, интернет вещей, всего более 130 технологий.

Анализ годовых отчетов[31,32,33,34] крупнейших компаний отрасли показывает, что *генерирующие компании* определяют для себя следующие *приоритеты цифровой трансформации*:

- переход на преимущественное использование отечественного программного обеспечения, российской радиоэлектронной продукции;
- оптимизация процессов в области управления производственными и сбытовыми активами, трейдинга, инжиниринга с использованием передовых решений в области автоматизации и цифровизации;
- совершенствование мероприятий, связанных с информационной безопасностью;
- автоматизация процессов расчёта потреблённой электрической энергии, управление взаимодействием с потребителем;
- развитие технологий автоматизации технологических процессов и дистанционного управления объектами;
- развитие риск-ориентированной модели управления объектами электроэнергетики на основе их технического состояния;
- рост цифровой выручки в 10 раз до 2030 г.

Основные *направления* цифровой трансформации:

- создание единого хранилища технологических данных;
- создание совместных предприятий и партнерств с ведущими технологическими и телекоммуникационными компаниями России, а также с разработчиками программного обеспечения;
- развитие модели машинного обучения;
- создание мультисервисных узлов связи для объектов электроэнергетики;
- создание интеллектуальных систем управления гибридными энергокомплексами, имеющими в своем составе ВИЭ и системы накопления энергии;
- создание систем мониторинга и аналитики тепловых сетей;
- создание единой цифровой платформы для управления производственными активами;
- создание единой информационной аналитической системы для внутренних и внешних пользователей;
- использование предиктивной аналитики для повышения эффективности бизнес-процессов;
- внедрение платформ и средств роботизации технологических процессов, в том числе в части взаимодействия с клиентом;
- расширение использования технологий робототехники и сенсорики, применение БПЛА и технологии ИИ для анализа данных;
- использование методов дополненной и виртуальной реальности для повышения эффективности управления, обучения и ремонтов, а также при техническом и оперативном обслуживании оборудования;
- реализация проектов по созданию и стандартизации цифровых двойников объектов энергетики;
- строительство ЦОД.

31 Годовой отчет ПАО «Интер РАО» https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=12213&type=2

32 Годовой отчет ПАО «Русгидро» https://rushydro.ru/investors/disclosure/reports/annual-reports/

33 Годовой отчет ПАО «Т Плюс» https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=9480&type=2

34 Годовой отчет АО «Атомэнергопром» https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=11230&type=2

В *сетевом комплексе* компании[35] отрасли выделяют следующие *приоритеты* цифровой трансформации:

- рост эффективности деятельности и надежности электроснабжения потребителей;
- изменение логики процессов и создание новых услуг и сервисов, внедрение единой системы моделирования бизнес-процессов на базе отечественного программного обеспечения, развитие инфраструктуры работы с данными;
- повышение наблюдаемости сети и уровня управляемости, создание единой корпоративной ИТ-архитектуры;
- запуск проектов, основанных на технологиях искусственного интеллекта (генеративная модель для сетевого комплекса, работа с потребителями, системы биллинга и предиктивной аналитики);
- развитие сети связи электросетевого комплекса;

В части *оперативно-диспетчерского управления* приоритетом является достижение установленных ключевых показателей эффективности импортозамещения и установленных индикаторов эффективности перехода на преимущественное использование отечественного программного обеспечения. В перечень *инициатив* по внедрению цифровых решений включены: автоматизированное дистанционное управление электросетевым оборудованием и графиками нагрузки электрических станций из диспетчерских центров, система мониторинга запасов устойчивости, цифровое моделирование энергосистемы и её элементов на основе открытых стандартов CIM, система мониторинга переходных режимов, система мониторинга и анализа функционирования устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, цифровое управление спросом потребителей розничного рынка.

Актуализированная Стратегия цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 г. учитывает эти приоритеты при формулировании ответов на вызовы развития отрасли. Подробнее о соответствующих мерах и релевантных решениях смотрите раздел 2.5.



35 Годовой отчет ПАО «Россети» https://rosseti.ru/shareholders-and-investors/disclosure-of-information/annual-reports/

2.2. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТОВ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

2.2.1. Лаборатория РЗА

ПРОЕКТ 

Разработчик	ООО «Лаборатория РЗА»
Тип проекта	цифровая платформа / инженерное программное обеспечение
Стадия зрелости	опытная эксплуатация (переход к коммерческим поставкам)
Платформа	веб-сервис и локально разворачиваемый программный комплекс

«Лаборатория РЗА» — расчетный программный комплекс для электроэнергетики, обеспечивающий единое цифровое пространство для проектирования, расчетов и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) и первичного оборудования.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

Снижение трудозатрат и количества ошибок при проектировании и эксплуатации энергообъектов; минимизация рисков аварий с экономическим ущербом в сотни миллионов рублей; повышение надежности и обоснованности инженерных решений; создание единой расчетной и информационной модели энергообъектов.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

«Лаборатория РЗА» представляет собой комплексную цифровую платформу, включающую:

- графический редактор для построения расчетных схем энергообъектов;
- верифицированные и пользовательские базы данных электроэнергетического оборудования (ЛЭП, трансформаторы, двигатели, ТТ, ТН и др.);
- научное расчетное ядро для моделирования установившихся, электромеханических и электромагнитных режимов;
- инструменты автоматизированного выбора оборудования и уставок РЗА;
- средства анализа и проверки корректности работы РЗА;
- автоматическое формирование проектной и отчетной документации.

Платформа может использоваться как через интернет-браузер, так и в виде локального программного комплекса, размещаемого на серверах предприятия, что позволяет учитывать требования по информационной безопасности.

КЛЮЧЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛ

Сервис выполняет расчёты токов короткого замыкания и установившихся режимов в фазных координатах с учётом несимметрии, различных схем заземления, распределённости параметров линий и реальных характеристик оборудования. Реализованы пакетные расчёты, построение векторных диаграмм и автоматическое формирование протоколов расчёта в формате Word.

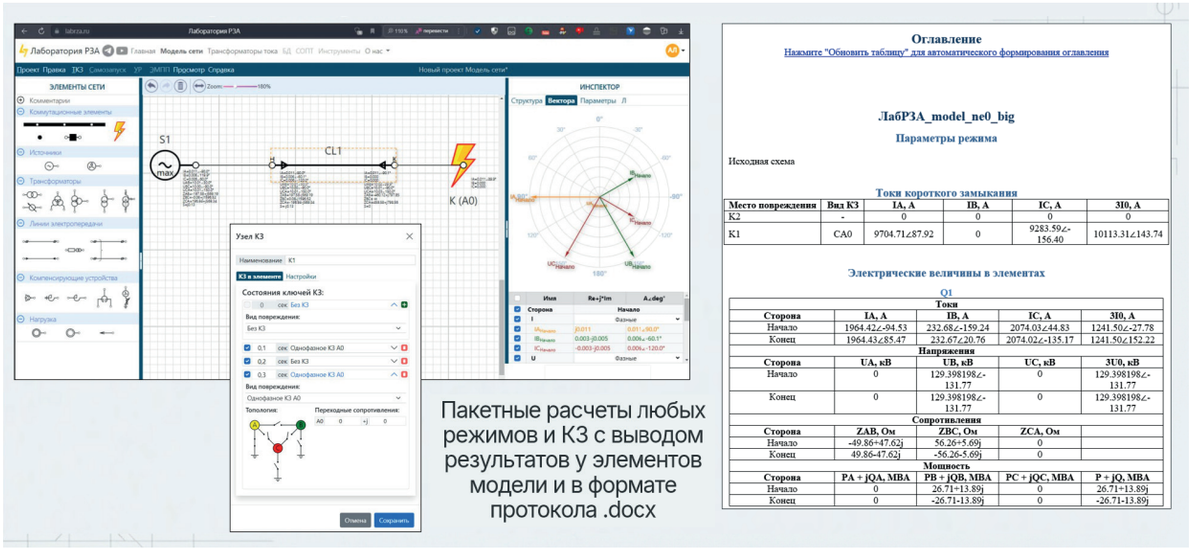


Рис. 2.2.1.1. Пример расчёта токов короткого замыкания

Поддерживается моделирование электромагнитных и электромеханических переходных процессов, включая дугу в выключателях, сложные и переходящие короткие замыкания, однофазные замыкания на землю, а также процессы самозапуска электродвигателей с учётом остаточной скорости, пусковых токов и моментов нагрузки. Результаты моделирования могут экспортироваться в формате COMTRADE для воспроизведения на испытательных установках и проверки работы реальных устройств РЗА.

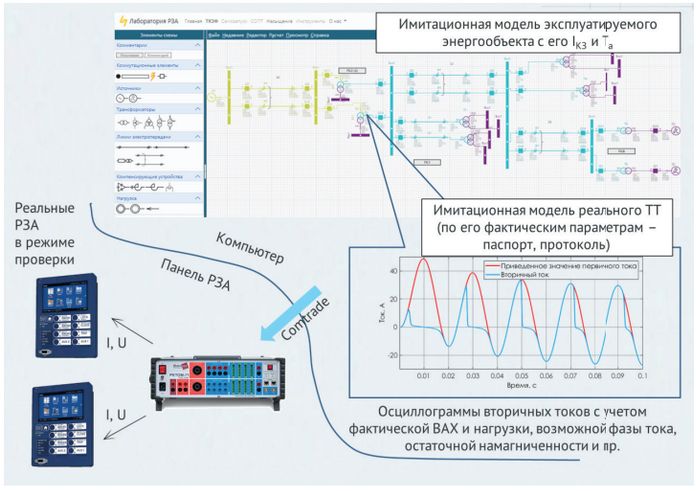


Рис. 2.2.1.2. Проверка микропроцессорных терминалов результатами моделирования электромагнитных переходных процессов

Одним из ключевых направлений проекта является автоматизированный выбор и проверка трансформаторов тока и устройств РЗА с учётом их работы в переходных режимах. Сервис выполняет расчёты времени до насыщения ТТ, проектный выбор и проверку по требованиям действующих ГОСТ, а также моделирование реальных аварийных режимов с формированием осциллограмм вторичных токов.

Это позволяет перейти от формальной проверки уставок к проверке фактической корректности работы РЗА при токах, соответствующих расчётным случаям коротких замыканий, что существенно снижает риск неправильного функционирования защит.

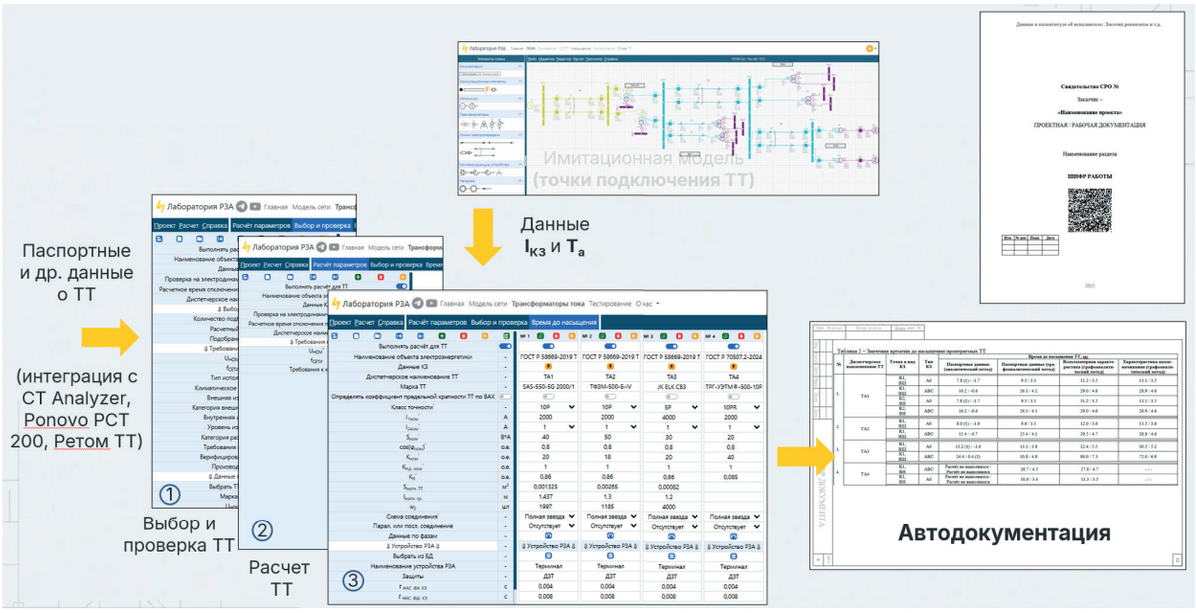


Рис. 2.2.1.3. Автоматизированные расчеты времени до насыщения трансформаторов тока

Реализована автоматическая генерация проектной и отчетной документации в соответствии с требованиями действующих стандартов. Программное обеспечение может использоваться как через интернет-сервис, так и в виде локально размещаемого комплекса на серверах предприятия.

КЛИЕНТЫ И ПОЛЬЗОВАТЕЛИ

Проектные организации, электростанции, сетевые компании и промышленные предприятия. Потенциальный рынок включает более тысячи проектных организаций, 800 электростанций и сетевых компаний и свыше 13,6 тыс. промышленных предприятий.

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

Внедрение сервиса «Лаборатория РЗА» обеспечивает:

- сокращение трудоёмкости инженерных расчётов и проектирования до двух раз;
- снижение количества ошибок при выборе оборудования и настройке РЗА;
- повышение надежности и промышленной безопасности энергообъектов;
- ускорение подготовки проектной и эксплуатационной документации;
- повышение качества инженерных решений за счёт использования точных моделей и верифицированных методик.

СТАТУС И РАЗВИТИЕ

Участник ИЦ «Сколково», победитель конкурса «Энергопрорыв-2025». Проект развивается при поддержке фондов развития инноваций. Планируется внесение в реестр отечественного ПО, сертификация, масштабирование и интеграция в отраслевые ПТК.

2.2.2. Эффективное отечественное УСПД с использованием радиоканала и поддержкой СПОДЭС

ПРОЕКТ

Разработчик	ООО НТЦ «Техноспринт»
Тип проекта	инфраструктурный / действующие рынки
Стадия зрелости	опытно-промышленная эксплуатация
Платформа	проприетарный программно-аппаратный комплекс

Эффективное отечественное устройство сбора и передачи данных (УСПД) с использованием радиоканала и поддержкой протокола СПОДЭС представляет собой систему сбора и передачи данных с прибора учета электроэнергии (ПУЭ) по радиоканалу. Эта система позволяет построить динамическую самоорганизующуюся сеть из ПУЭ и УСПД, в которой каждый модем ПУЭ является ретранслятором, а радиоканал оптимизирован по дальности и пропускной способности. Данные могут передаваться на верхний уровень по сетям 3G/LTE, Ethernet и т.д. Взаимодействие с верхним уровнем ведётся по протоколу СПОДУС.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- Обеспечение автоматического эффективного (не менее 95%) сбора данных и показаний с ПУЭ без использования выездных бригад;
- Обеспечение технологического суверенитета и импортозамещения в части протоколов передачи данных;
- Снижение операционных затрат на сбор и передачу данных с ПУЭ;
- Снижение капитальных затрат при установке новых и замене действующих ПУЭ путём использования универсального УСПД, совместимого с ПУЭ разных производителей.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

УСПД Техноспринт собирает показания параллельно по 6 каналам и хранит данные с 1,8 тыс. приборов учета, что значительно увеличивает пропускную способность сети. Дальность передачи данных составляет до 2 км в прямой видимости. Независимость от производителей «железа», так как сетевой и канальный уровень реализованы программным способом на ОС Linux. УСПД Техноспринт даёт возможность подключения ПУЭ других производителей используя стандартные команды СПОДЭС по радиоканалу без доработки существующих ПУЭ. Эффективность сбора данных достигается за счет автоматического построения самоорганизующейся сети, поддерживающей до 12 уровней ретрансляции.



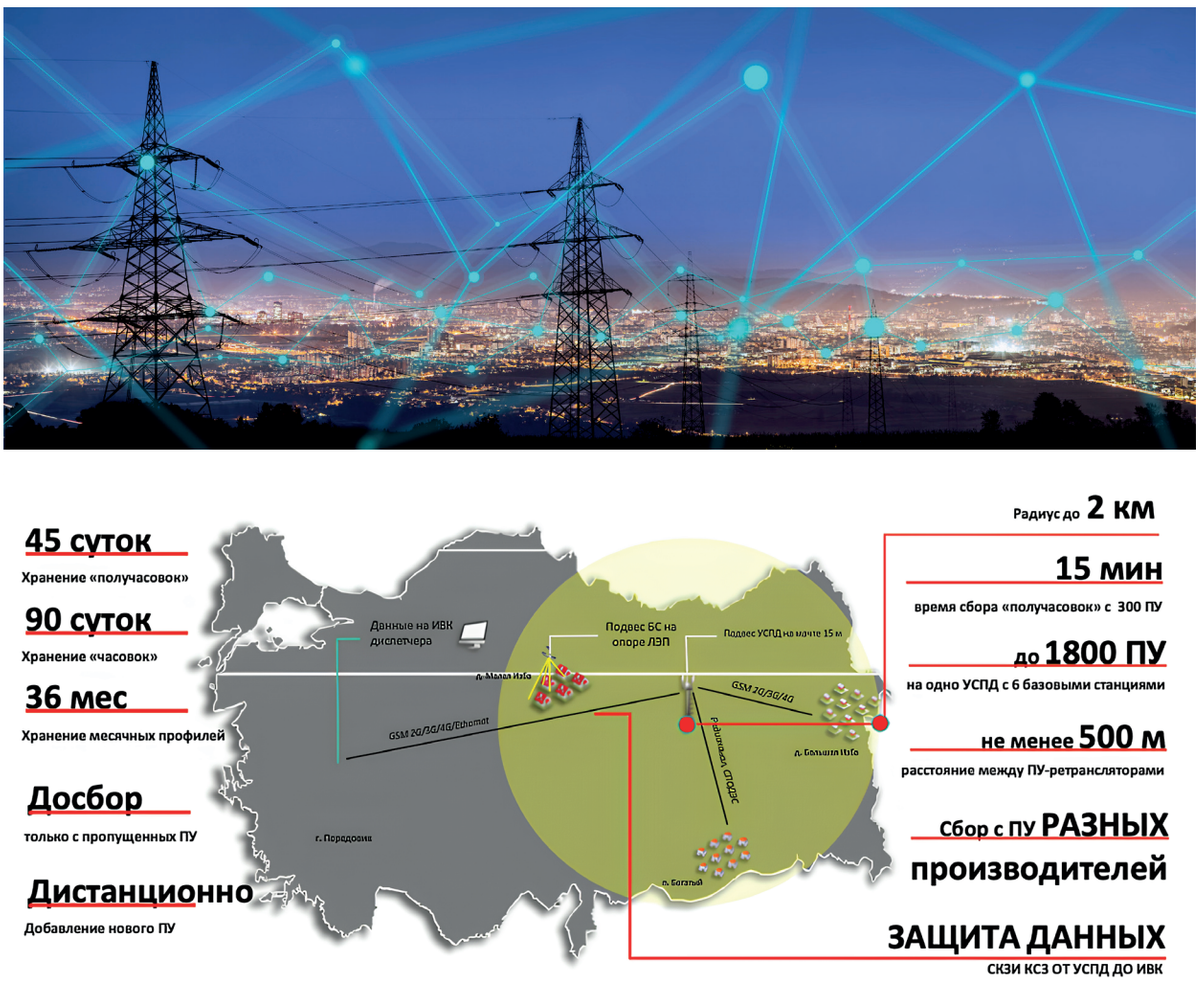


Рис. 2.2.2.1. Основные параметры работы УСПД Техноспринт

Программно-аппаратный комплекс УСПД Техноспринт включает в себя:

- RF-модемы ПУЭ – встраиваются в счётчики, осуществляют сбор данных с них по СПОДЭС и передают их на базовый модем с динамической ретрансляцией по радиоканалу 868 МГц;
- RF-модемы Базовых станций – осуществляют приём и передачу данных по радиоканалу и передают их на базовое устройство с функциями УСПД по интерфейсу RS-485;
- УСПД – принимает данные с ПУЭ в протоколе СПОДЭС, архивирует их и передаёт на верхний уровень по сетям LTE, Ethernet и т.д.

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

- Эффективный сбор параметров и данных с ПУЭ (не менее 95%);
- Импортозамещение – применяется программное решение (ОС Linux), независимость от «железа»;
- Управляемость – удалённая прошивка/обновление УСПД и модемов, а также конфигурация ПУЭ по «прозрачному» каналу;
- Экономически эффективный сбор данных – отсутствие выездных бригад для опроса пультом, возможность собирать данные с ПУЭ разных производителей с помощью одной системы.

2.2.3. Отечественные программируемые логические контроллеры и программные решения для импорто-замещения на рынке АСУ ТП

ПРОЕКТ



Разработчик	ООО «Реглаб»
Тип проекта	инфраструктурный / действующие рынки
Стадия зрелости	промышленная эксплуатация
Платформа	ПТК AstraRegul, РСУ Externum

Линейка программируемых логических контроллеров REGUL — универсальный инструмент для создания систем промышленной автоматизации любого масштаба. ПЛК REGUL позволяют закрывать потребности рынка от малой до большой автоматизации:

Программно-технический комплекс (ПТК) AstraRegul — решение для ускоренного внедрения АСУ ТП любой сложности. Модульная проектно-компонуемая платформа на базе контроллеров семейства REGUL с интегрированным программным комплексом AstraRegul. Система собирается под задачу из готовых блоков: пакетных лицензий, проверенных библиотек и функциональных модулей, которые заказчик использует как конструктор. Это сокращает время интеграции и настройки, чтобы предприятия могли быстрее запустить систему автоматизации. Компонуемая архитектура обеспечивает гибкость масштабирования от локальных до распределённых систем управления и систем безопасности.

РСУ Externum – полнофункциональная отечественная распределённая система управления (DCS). Отечественный программно-аппаратный комплекс (ПАК) для автоматизации опасных и непрерывных распределённых технологических процессов. Комплексная архитектура совмещает распределённую систему управления и систему противоаварийной защиты ПАЗ.

ПАК включает аппаратную часть (контроллеры REGUL, сетевую инфраструктуру, серверы и АРМ) и интегрированный программный комплекс, в котором разрабатывается весь проект системы.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

Обеспечение автоматизации распределённых непрерывных технологических процессов любых отраслей: построение от локальных до распределённых систем управления и систем безопасности в едином информационном пространстве.

Замещение используемых на промышленных предприятиях иностранных решений для АСУ ТП без потери функциональности, в том числе в рамках требований постановления Правительства №1912, требующего перехода субъектов КИИ на применение доверенных программно-аппаратных комплексов (ДПАК) к 2030 году.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

ПЛК REGUL R050 – контроллер для локальных систем автоматизации, систем телемеханики и диспетчеризации, распределенной периферии для ввода/вывода сигналов — совместно с ПЛК REGUL R400 или REGUL R500. Изготовлен по стандартам качества старших моделей линейки, обеспечивает надёжность и предсказуемость работы малых промышленных объектов.

ПЛК REGUL R300 – контроллер для решения как малых задач автоматизации с дополнительными требованиями, такими как «горячая» замена модулей и резервирование, так и больших, где не нужны сверхбыстрые циклы опроса. Оптимален для систем управления, в которых применение флагманского R500 избыточно. Стадия окончания разработки и старт продаж запланированы на 2026 год.

ПЛК REGUL R400 предназначен для локальных систем управления, где важно по месту видеть параметры процесса и регулировать их без обращения к центральной операторной.

ПЛК REGUL R500 — контроллер hi-end сегмента для распределённых систем управления с экстремальными требованиями к надёжности, скорости и объёму обработки сигналов.

ПЛК REGUL R500S – специализированный контроллер для систем противоаварийной защиты (ПАЗ) с уровнем функциональной безопасности до SIL3/УПБ3. Обеспечивает безопасность на критически важных взрывоопасных и химически опасных производствах. Защищает персонал, окружающую среду и оборудование.

ПЛК REGUL RX00 включены в российский реестр промышленной продукции, произведённой на территории РФ (№10393962), и в составе ПАК в реестр российского программного обеспечения Минцифры России (№20250).

Основные технические характеристики ПТК AstraRegul:

- до 50 рабочих станций.
- до 25 серверных станций.
- до 50 ЦПУ ПЛК.
- готовые библиотеки — PS_Base, PS_Diagn, PS_TechEE, PS_TechOG, а также профильные фейсплейты для отраслей.
- три типа архитектуры: одноранговая, клиент-серверная, мультисерверная.
- кроссплатформенность — работает на Windows и Linux.

ПТК AstraRegul включён в Реестр промышленной продукции, произведённой на территории РФ (№10438899), ПАК AstraRegul включен в реестр отечественных программ Минцифры РФ (№23314), ПК AstraRegul включен в реестр отечественных программ Минцифры РФ (№15886).

РСУ Externum обеспечивает автоматизацию распределённых непрерывных технологических процессов в едином информационном пространстве. РСУ Externum является первым и на текущий момент единственным отечественным аналогом зарубежных решений от Honeywell (PlantCruise), Emerson (DeltaV), Yokogawa (Centum), Schneider Electric (Foxboro). Программный комплекс Externum включен в реестр российского ПО Минцифры России (№28099). *Основные технические характеристики РСУ Externum:*

- единое адресное и сетевое пространство — одноранговая структура сети на базе проприетарного протокола RegulNet.
- разработка проекта в одной среде.
- общее место хранения СПО и ППО.
- механизм доставки обновлений и изменений всех компонентов без влияния на технологический процесс.
- все компоненты работают под ОС Linux.
- все компоненты системы конфигурируются в одной среде.

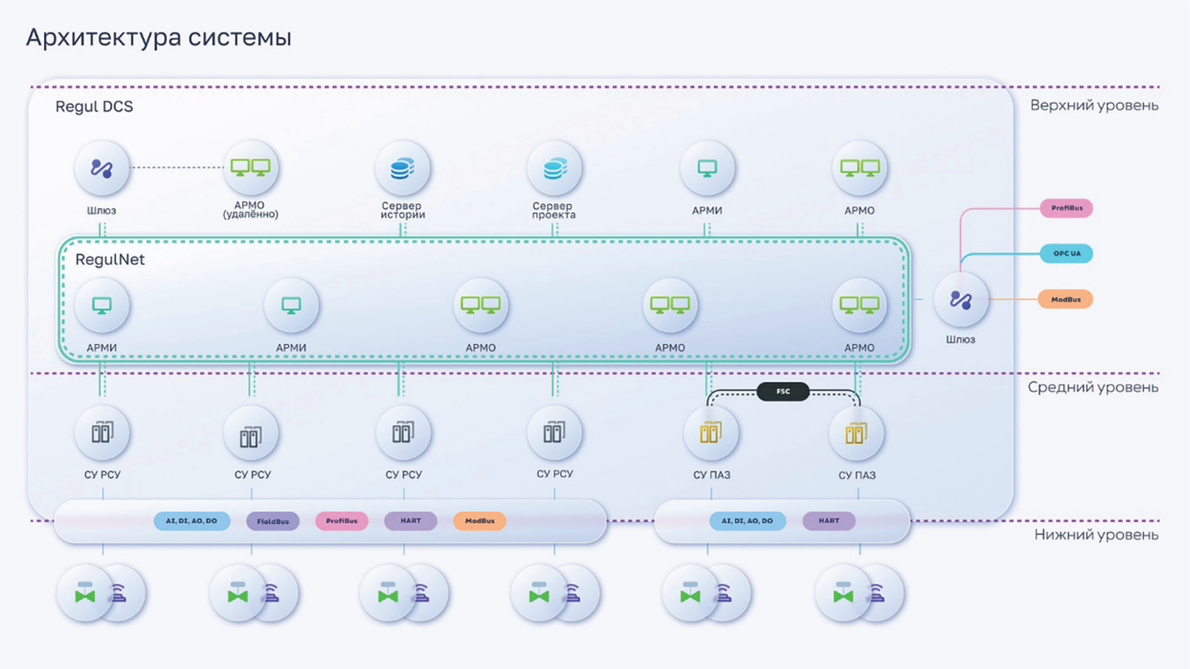
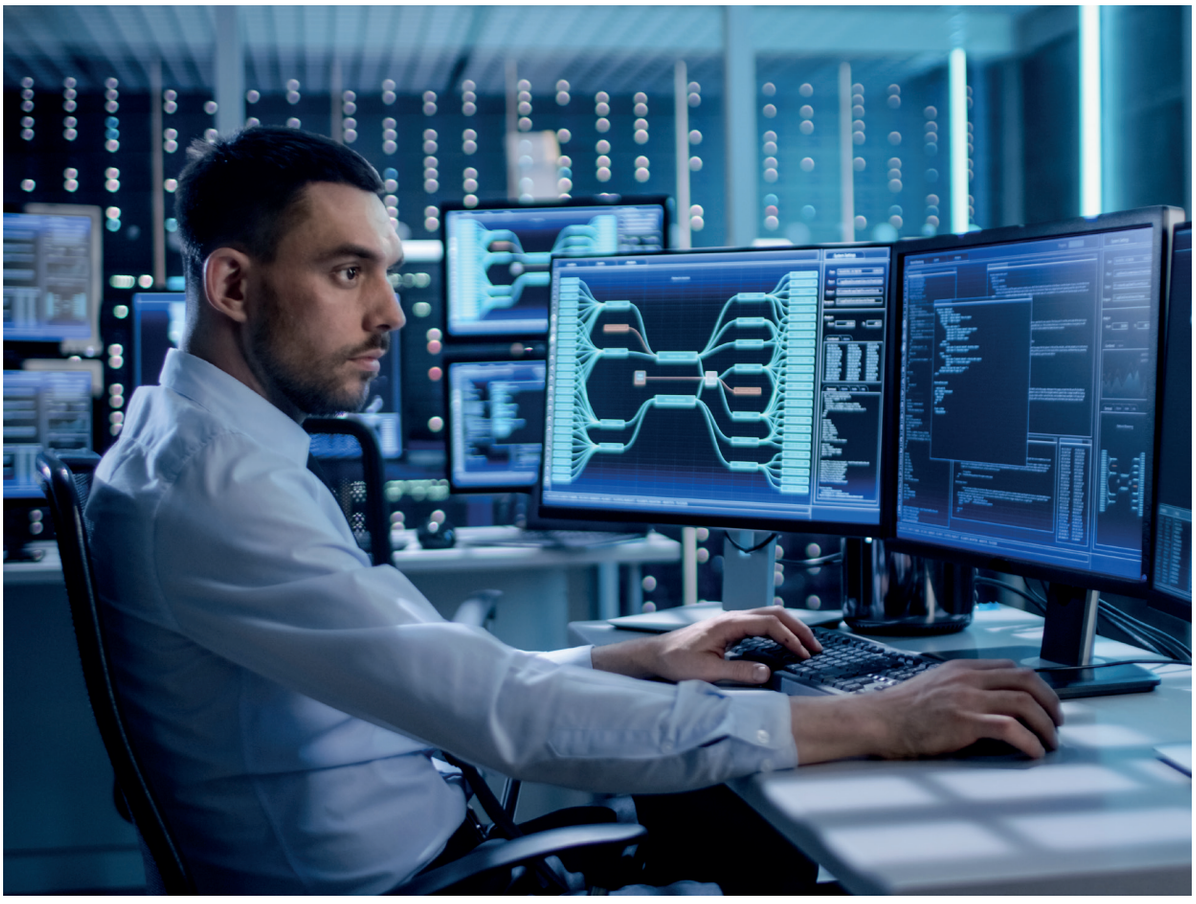


Рис. 2.2.3.1. Архитектура ПАК

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

Наработан большой опыт внедрения и применения выпускаемых ПЛК и ПТК в разных отраслях промышленности и транспорта (рис. 2.2.3.2).



ОБЪЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ



Рис. 2.2.3.2. Сферы внедрения ПАК

Основные эффекты от внедрения ПАК заключаются в следующем:

- возможность интеграции с уже существующими решениями;
- повышение безопасности эксплуатации и сроков службы технологического оборудования;
- централизованный учет и минимизация потребления энергоресурсов;
- применение РСУ Externum позволяет осуществить модернизацию опасных производств без остановки действующих технологических процессов, реализовать системы непрерывных технологических процессов (например, аммиак, карбамид, метанол) на опасных производственных объектах, что способствует повышению качества и стабильности производства продукции;
- повышение уровня доверия конечных пользователей к разработкам отечественного производителя;
- опыт внедрения на субъектах КИИ позволяет поддерживать высокие стандарты качества всей линейки продуктов и способствует укреплению технологического суверенитета страны.



2.2.4. Цифровизация промышленной безопасности и охраны труда: Интегрированная система обеспечения безопасности работ (ИСОБР) как инструмент трансформации энергетического сектора

ПРОЕКТ



Разработчик	VISITECH (группа OMEG.AI)
Тип проекта	корпоративное программное обеспечение / цифровая трансформация
Стадия зрелости	промышленная эксплуатация
Платформа	импортонезависимая автоматизированная информационная система (включена в реестр Минцифры РФ)

Современная промышленность сталкивается с растущими вызовами в области промышленной безопасности и охраны труда (ОТ и ПБ): дефицит квалифицированных кадров на удалённых объектах, увеличение доли человеческого фактора в аварийных ситуациях, ужесточение регуляторных требований при одновременном сокращении инвестиций в модернизацию. В этих условиях цифровизация процессов ОТ и ПБ становится не дополнительной опцией, а необходимым условием обеспечения устойчивой и безопасной эксплуатации промышленных активов.

Система ИСОБР представляет собой комплексное решение для автоматизации бизнес-процессов в области безопасности, обеспечивающее сквозное управление жизненным циклом актива с применением технологий искусственного интеллекта. Новая архитектура системы, представленная в рамках проекта, демонстрирует интеграцию современных ИИ-технологий в единую экосистему промышленной безопасности.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- Обеспечение сквозной цифровой прослеживаемости всех операций в области ОТ и ПБ – от оформления электронного наряда-допуска и учёта обучений с медосмотрами до анализа инцидентов и контроля выполнения мероприятий по оценке условий труда.
- Снижение влияния человеческого фактора за счёт автоматизации контроля рисков и соблюдения регламентов.
- Повышение скорости принятия управленческих решений на основе аналитики в реальном времени.
- Формирование единой информационной среды для взаимодействия эксплуатирующего персонала, подрядчиков и надзорных органов.
- Достижение измеримых экономических эффектов через сокращение простоев, компенсаций и штрафов, связанных с нарушениями требований безопасности.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

Система ИСОБР охватывает пять ключевых этапов жизненного цикла промышленного актива, на каждом из которых задействованы специализированные ИИ-агенты (см. рис. 2.2.4.1).

Система ИСОБР апробирована и внедрена в капиталоёмких отраслях промышленности: химия и нефтехимия, нефтепереработка, металлургия, горная отрасль, энергетика (тепловая, гидро- и атомная генерация, сетевые компании), пищевая промышленность, машиностроение. Кросс-отраслевая архитектура решения позволяет адаптировать функционал под специфику регламентов и нормативных требований каждой индустрии.



Рис. 2.2.4.1. Охват жизненного цикла актива системой ИСОБР

В архитектуре системы ИСОБР реализован интегрированный подход. Одним из ключевых преимуществ системы ИСОБР является её способность трансформировать традиционные подходы к обеспечению безопасности в цифровые решения. Система ИСОБР реализует уникальную архитектуру, объединяющую девять ключевых направлений в единую экосистему безопасности, где центральным элементом является ИИ-агент.





Рис. 2.2.4.2. Архитектура новой компании

Замкнутая архитектура обеспечивает бесперебойный поток информации по безопасности от персонала на местах к лицам, принимающим решения в центре управления и обратно к персоналу на производстве. Эта архитектура включает четыре ключевых компонента:

1. Структурирование данных и рабочих процессов
- Наряд-допуск
- Оценка рисков
- Медицинские осмотры
- Журналы обучения
- СОУТ (Special Assessment of Working Conditions)
- Персонал

2. Наблюдение и обнаружение отклонений
- Обнаружение СИЗ и их ношение
- Мониторинг нарушений зоны
- Распознавание опасного поведения
- Отклонения от технологических карт

3. Центр управления
- Агрегация всех данных
- Сценарии реагирования и эскалации
- Контроль коррекции

4. Обратная связь и коррекция
- Оповещения в реальном времени
- Голосовые команды
- Корректирующие действия

В таблице показано как система с помощью ИИ-агента на основе восприятия зрения и голоса решает задачи в четырёх ключевых сферах безопасности.

Домен риска	Тип анализа	Примеры сценариев	Бизнес-эффект
СИЗ и контроль зон	Визуальный (детекция объектов и классификация)	• Отсутствие каски, респиратора, защитной куртки/жилета • Голые предплечья в зоне риска • Отсутствие страховочного пояса при работе на высоте	Снижение травматизма до 40%; автоматизация контроля вместо ручных обходов
Поведение	Визуальный (трекинг позы, траекторий)	• Наклон за ограждения • Падение человека • Движение ТС в направлении персонала • Открытые люки без ограждений	Предотвращение инцидентов в реальном времени; сокращение времени реакции с минут до секунд
Технологические процессы	Визуальный и логический (последовательность действий)	• Несоблюдение чек-листа операций • Работа под нагрузкой (человек между клещами и колонной) • Мониторинг огнеопасных работ (сварка, горелка, угловая шлифовальная машина)	Снижение риска аварий; соответствие регламентам (ПБ, ОТ)
Оборудование	Визуальный и аудио	• Обнаружение огня/дыма/пара • Обнаружение утечки жидкости/газа • Характерные звуки разгерметизации, искрения • Обнаружение человека, поднимающегося по лестнице	Раннее выявление отказов; предиктивное ТО; предотвращение ЧС

ИСОБР включает интеллектуальные голосовые ассистенты и ботов, которые позволяют ускорить коммуникацию и повысить точность выполнения регламентных действий. Они обеспечивают выдачу информации по текущему запросу (данные о количестве несчастных случаев (НС) в филиале, планирование задач для сотрудников), создание отчетов и презентаций, формирование динамических чек-листов на основе НС и внешних источников, разработку корректирующих мероприятий по последним инцидентам, генерацию и отправку писем с оповещениями.

Центральным элементом системы является ИИ-агент, обеспечивающий анализ, прогнозирование, оповещения и подготовку места для работы. Эта система интегрирует различные компоненты безопасности: электронный учет и контроль выдачи средств индивидуальной защиты, управление медицинскими осмотрами и здоровьем персонала, цифровые обучающие программы и тренажеры, мониторинг состояния техники и оборудования, цифровая система управления работами повышенной опасности, видеоаналитика для контроля соблюдения регламентов, геолокация персонала и контроль маршрутов.

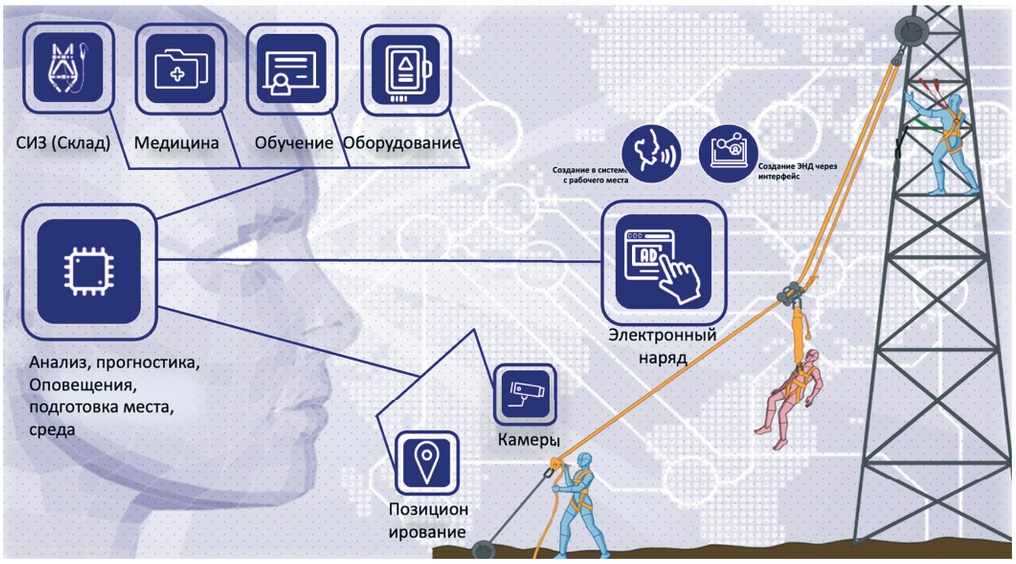


Рис. 2.2.4.3. Модули ИИ-агента

Помимо функциональных возможностей, ключевым преимуществом ИСОБР является её гибкость в интеграции и развертывании, позволяющая эффективно внедрять систему в различные бизнес-среды без значительных изменений в существующей инфраструктуре (доступны облачное решение на базе облака OMEG.AI, локальная версия и офлайн-режим). Система поддерживает полный спектр взаимодействия с ведущими корпоративными платформами, включая SAP, 1С, Microsoft Active Directory и Oracle. Ключевое преимущество архитектуры ИСОБР заключается в ее способности реализовывать двусторонний обмен данными с внешними системами, что позволяет достичь значительного ускорения бизнес-процессов в области промышленной безопасности и охраны труда.

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

Операционная эффективность:

- сокращение времени оформления наряда-допуска с 2–4 часов до 20–25 минут;
- ускорение расследования инцидентов в 3–5 раз за счёт автоматизированного сбора данных и формирования хронологии событий;
- повышение объёма выполненных работ на 15–20% благодаря контролю эффективности рабочего времени персонала.

Безопасность производства:

- снижение числа инцидентов на 20–30% за счёт автоматического контроля рисков и предотвращения нарушений регламентов;
- сокращение выявленных нарушений при проверках надзорных органов на 40–60%;
- обеспечение цифровой прослеживаемости всех операций — от выдачи наряда до подписания акта о завершении работ.

Экономическая эффективность:

- снижение прямых и косвенных затрат на обеспечение безопасности на 50–70 млн руб. в год на предприятии среднего размера;
- минимизация издержек, связанных с остановами производства из-за нарушений требований ПБ;
- оптимизация бюджета на СИЗ за счёт точного расчёта потребности и контроля срока годности средств защиты;
- благодаря возможности адаптации под существующую инфраструктуру время внедрения сокращается на 30–40%, а затраты на интеграцию снижаются на 25–35% по сравнению с традиционными решениями.

2.2.5. Кибер Бэкап – программное решение по резервному копированию и защите данных

ПРОЕКТ



Разработчик	ООО «Киберпротект»
Тип проекта	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости	промышленная эксплуатация
Платформа	проприетарная автоматизированная информационная система

Кибер Бэкап – программное решение для резервного копирования и восстановления данных с защитой от вирусов-шифровальщиков и оценкой уязвимостей. Решение позволяет защищать физические и виртуальные среды, а также различные приложения, масштабируется без ограничений. Решение может использоваться на предприятиях малого, среднего и крупного бизнеса, а также в государственных организациях. Кибер Бэкап позволяет осуществлять резервное копирование и восстановление данных в импортонезависимых ИТ-инфраструктурах.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- Обеспечение безопасности производственных информационных систем, уменьшение вероятности простоев производственной и управленческой инфраструктуры.
- Существенное сокращение вероятности аварийных ситуаций и техногенных катастроф путём защиты критической информационной инфраструктуры.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

На российских предприятиях вследствие масштабной цифровизации данные становятся ключевым конкурентным преимуществом. Их потеря превращается в недопустимое событие. Это влечёт необходимость защиты данных, поскольку потери происходят постоянно – вследствие случайного удаления, поломки оборудования, кражи носителей информации, а также действий зловредного ПО. Продукт Кибер Бэкап решает вопрос киберзащиты данных и удовлетворяет четырём основным принципам:

- сохранность (данные не теряются, всегда есть копия);
- безопасность (посредством постоянной проверки на уязвимости – обеспечивается надежная защита копий от зловредных воздействий);
- аутентичность (гарантия что это «та самая копия» – её точно не изменили посредством хакерского вторжения);
- доступность (если в случае кибератаки данные были украдены или зашифрованы, и за доступ к ним требуют выкуп – то всегда можно обратиться к резервной копии, и таким образом не зависеть от вымогателей).

Ключевое преимущество Кибер Бэкап заключается в двух базовых факторах. Во-первых, основной функционал реализован на уровне лучших мировых решений в области резервного копирования (Veeam Backup, Veritas NetBackup, Commvault Backup). Во-вторых, обеспечена широкая совместимость именно с российским ПО (операционные системы, системы виртуализации, СУБД, приложения), что является критически важным для отечественного Заказчика.



Рис. 2.2.5.1. Система резервного копирования Кибер Бэкап

Функциональные возможности решения:

- запуск виртуальных машин из резервной копии за 15 секунд, восстановление серверов или рабочих станций на отличное от исходного оборудование;
- миграция между виртуальными и физическими средами (P2V, V2V, V2P, P2P);
- встроенная защита от вирусов-вымогателей на основе ИИ, модуль проверки наличия уязвимостей в операционных системах и приложениях;
- безагентное резервное копирование с поддержкой российских систем виртуализации;
- экономия до 20% рабочего времени благодаря упрощенному и автоматизированному администрированию;
- поддержка удаленного мониторинга и восстановление вне хоста;
- экономия места в хранилище благодаря дедупликации и сжатию;
- поддержка ленточных накопителей;
- гранулярное восстановление.

В Кибер Бэкап встроена защита от вирусов-шифровальщиков и оценка уязвимостей, а именно:

- модуль Активной Защиты от вирусов-вымогателей, непрерывно обучаемый выявлению и устранению угроз (машинное обучение выявлению несанкционированных операций шифрования);
- оценка уязвимостей (ведение актуальных баз уязвимостей операционных систем, веб-браузеров, приложений).

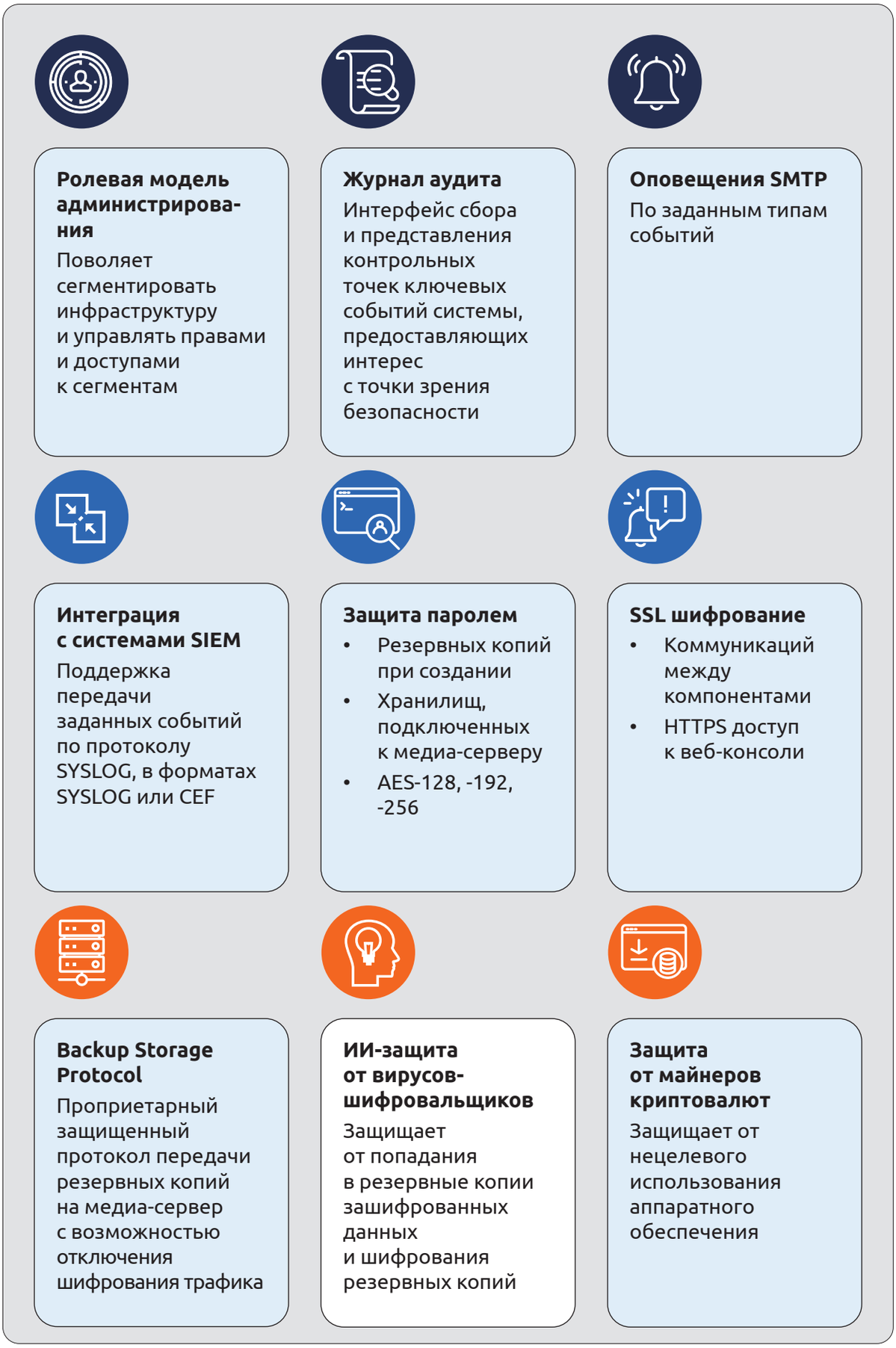


Рис. 2.2.5.2. Система резервного копирования Кибер Бэкап

Основные преимущества решения:

- 100% российская разработка (нет импортных компонентов, нет внешних библиотек, нет импортного проприетарного ПО), входит в Реестр российского ПО (№ 4160) с указанием признака «Программное обеспечение относится к сфере искусственного интеллекта»;
- подходит для защиты критической информационной инфраструктуры (КИИ) – есть сертификат ФСТЭК России по 4 уровню доверия;
- подходит для высоконагруженных и многопоточных систем – решение имеет технологический уровень Enterprise;
- сквозное и системное решение, может применяться в любой отрасли экономики;
- имеет тысячи внедрений в организациях разного размера и отрасли, государственных и частных;
- участвует в построении технологического суверенитета страны – входит в дорожную карту Правительства РФ «Новое общесистемное ПО» на период до 2030 года;
- более 200 технологических партнерств с производителями аппаратного и программного обеспечения, более 90 сертификатов совместимости с российским ПО;
- является лидером российского рынка систем резервного копирования;
- команда продукта (разработка, поддержка) более 500 специалистов.

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

Использование Кибер Бэкап позволяет предприятию иметь резервные копии больших массивов информации, хеджируя от рисков простоя ИТ-инфраструктуры – что ведет к уменьшению времени простоя предприятия. Стоимость часа простоя производственного процесса в зависимости от инцидента может колебаться от сотен тысяч до десятков миллионов рублей. В случае особо чувствительных данных (оборона, атомная энергетика) простой инфраструктуры может стоить жизни граждан, что в подавляющем большинстве случаев является недопустимым событием. Таким образом, решение Кибер Бэкап:

- способствует оптимизации затрат на обеспечение безопасности производственных информационных систем, в разы уменьшая вероятность простоев управленческих и бизнес-процессов;
- повышает надежность и ритмичность работы промышленных компаний;
- в разы сокращает вероятность аварийных ситуаций с критическими последствиями для граждан (например, потеря данных в системе обороны / энергетики);
- в разы сокращает вероятность техногенных катастроф (из-за потери данных в системах управления промышленными стратегическими предприятиями).

Решение Кибер Бэкап не только снижает затраты Заказчика, но в целом обеспечивает саму возможность ведения бизнеса – путём обеспечения непрерывности процессов информационного обмена, защиты данных от их потери и несанкционированной модификации.

Решение Кибер Бэкап – победитель и финалист национальных и отраслевых премий:

- Гран-при в номинации «Лидер импортозамещения» Национальной премии «Приоритет – 2024»
- 1 место в Национальном конкурсе ИТ-решений «ПРОФ.IT-Инновация» в номинации «Информационная безопасность» (2023 г.)
- 1 место во Всероссийском конкурсе «Кубок информационной безопасности регионов» в номинации «Сделано в России» (за высокие результаты в сфере импортозамещения) (2023 г.)
- Компания Киберпротект с продуктом Кибер Бэкап вошла в число «Национальных чемпионов» (российские инновационные компании со значительными темпами роста)
- Финалист Всероссийской премии «ЦИПР-2022».

2.2.6. Цифровая система для повышения операционной эффективности и сокращения сроков производственных процессов ПАК «РИТМ»

ПРОЕКТ

Разработчик	ООО «РИТМ-ПРО»
Тип проекта	инфраструктурный / действующие рынки
Стадия зрелости	промышленная эксплуатация
Платформа	цифровая платформа с интернетом вещей (IoT), программно-аппаратный комплекс

ПАК «РИТМ» — это цифровая платформа с интернетом вещей (IoT), объединяющая управление графиками, ресурсами и персоналом в единой системе. В решении применяется искусственный интеллект: модель автоматически формирует календарно-сетевой график ремонта на основе технической документации за несколько минут, определяет критический путь и в реальном времени отслеживает выполнение операций, используя собственную видеоаналитику и контроль работы персонала на ремонтной площадке.

Опытно-промышленная эксплуатация решения прошла на площадке Калининской АЭС и применяется для цифровой трансформации процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР).



Рис. 2.2.6.1. Визуализация работы основных модулей ПАК «РИТМ»

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- Сокращение длительности планово-предупредительных ремонтов.
- Повышение экономического эффекта и сокращение потерь.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

Система представляет собой комплексное решение для сквозной цифровизации процессов ТОиР и базируется на следующих принципах:

- интеграция — бесшовное взаимодействие с корпоративными системами (включая ТОРЭКС) для работы с актуальными производственными данными;
- масштабируемость — возможность развертывания на уровне энергоблока, станции или дивизиона с сохранением функциональности;
- сквозная автоматизация — охват полного цикла ТОиР: от планирования до исполнения и анализа результатов.

Архитектура системы «РИТМ» реализована по принципу сквозного цикла обработки данных: сбор > интеллектуальная обработка > аналитика > интеграция в системы управления. Сервис-ориентированная структура системы включает независимые функциональные модули с четко определенными интерфейсами взаимодействия, единую платформу управления данными и процессами, REST API для интеграции с существующими корпоративными системами и микросервисную архитектуру, обеспечивающую отказоустойчивость и гибкость масштабирования.

Технологический стек и инфраструктура системы включает современные СУБД для хранения структурированных и неструктурированных данных, системы видеомониторинга с аналитическими возможностями, RFID-инфраструктуру для отслеживания инструментов и материалов, веб-интерфейсы для работы различных категорий пользователей.

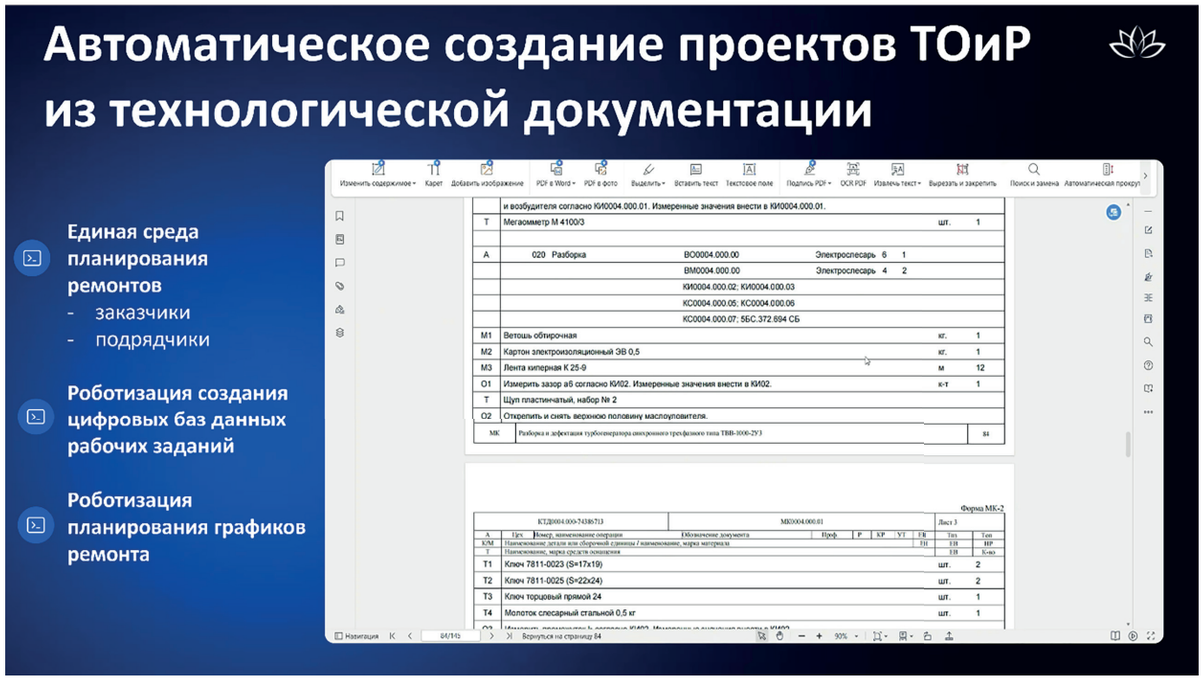


Рис. 2.2.6.2. Автоматическое создание проектов ТОиР из технологической документации

Модуль интеллектуального планирования и управления проектами ТОиР обеспечивает автоматизированное построение дерева рабочих заданий на основе загруженного комплекта технологической документации. Локальная нейросетевая модель «РИТМ» осуществляет парсинг документации и формирует иерархию работ от уровня укрупненных задач до отдельных операций. Для каждого задания автоматически назначаются необходимые ресурсы: инструмент, материалы, требования к квалификации и количеству персонала. Система в динамическом режиме рассчитывает и контролирует критический путь проекта, выполняя его автоматическую рекалькуляцию при регистрации отклонений фактических показателей от плановых.

Система позиционирования и видеотрекинга персонала предназначена для автоматизации учета рабочего времени и контроля исполнения задач. Нейросетевая модель сопоставляет данные о местоположении сотрудника с виртуальными геозонами и автоматически изменяет статус рабочего задания (например, с «План» на «В работе»). Это обеспечивает роботизированный контроль начала операций в строгом соответствии с графиком ремонта.

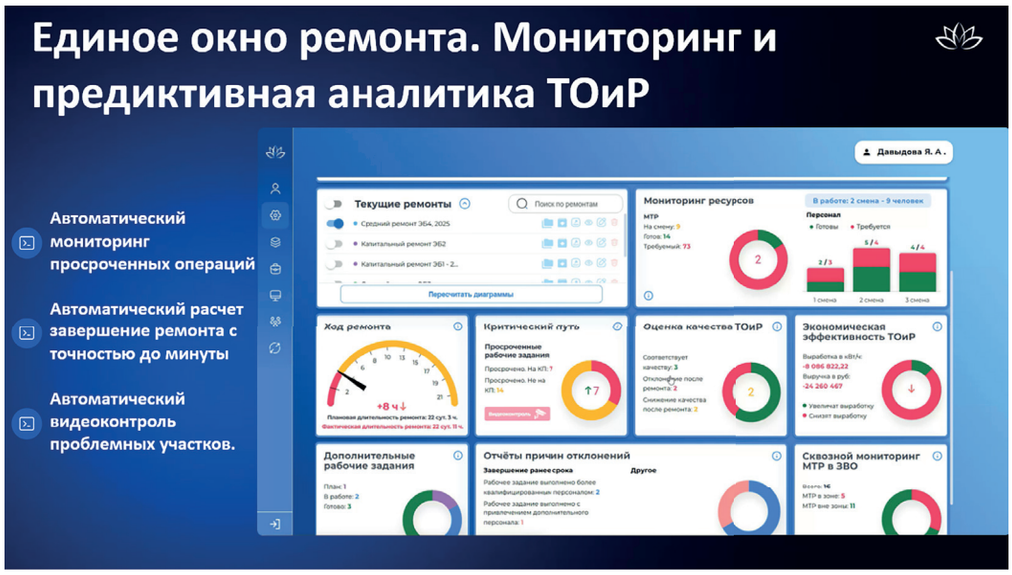


Рис. 2.2.6.3. Мониторинг и предиктивная аналитика ТОиР

Цифровой двойник процесса ТОиР агрегирует данные для оперативного контроля в интерфейсе «одного окна», *цифровой двойник персонала* представляет электронную карточку сотрудника с данными о квалификации, контактной информацией, историей выданного инструмента и назначенных рабочих заданий, *цифровой двойник МТР* обеспечивает сквозной учет материально-технических ресурсов.

Все единицы инструмента и оснастки оснащаются RFID-метками, что позволяет формировать *цифровой автоматизированный склад*. При выдаче инструмента производится считывание метки инструмента и персональной карточки сотрудника. Система фиксирует полный жизненный цикл МТР: кому выдан инструмент, в каких заданиях использовался, факт нахождения в зоне вскрытого оборудования и историю операций.

ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТА

В ходе опытно-промышленной эксплуатации ПАК «РИТМ» на Калининской АЭС установлен российский рекорд по срокам среднего ремонта энергоблока с реактором ВВЭР-1000: 27,5 суток в 2023 г., 24 суток в 2025 г. Экономический эффект от сокращения простоев составил более 66 млн рублей в 2023 году и 130 млн рублей в 2025 году. За счет автоматизации рутинных операций производительность труда специалистов увеличилась до 30%. Дорожная карта развития системы «РИТМ» предусматривает:

- углубление аналитики с применением алгоритмов машинного обучения и технологий Big Data для повышения точности прогнозов остаточного ресурса оборудования
- развитие цифровых двойников для реализации сценарного и прогнозного управления (what-if анализ)
- интеграцию ИИ-аналитики в корпоративные системы (включая ТОРЭКС) для поддержки управленческих решений

Полномасштабное внедрение системы в реакторных отделениях АЭС рассматривается в горизонте 2029–2030 годов с охватом критически важного оборудования: реактор, главные циркуляционные насосы, парогенераторы. Решение ориентировано на тиражирование на российских и зарубежных АЭС, а также на другие виды генерации (ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС).

2.3. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПО КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ И ЦЕНТРА ЭКСПЕРТИЗЫ ПО ВОПРОСАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГЕТИКЕ

В 2025 году продолжилась работа Экспертной группы по кибербезопасности и Центра экспертизы по вопросам информационной безопасности в электроэнергетике (Энерго ЦИБ). Основная деятельность была сосредоточена на организации расширенных заседаний с регуляторами отрасли для получения актуальной информации по вопросам информационной безопасности, организации обучения сотрудников и руководителей, а также работе с выпускниками вузов как потенциальными сотрудниками энергокомпаний.

В 2025 году проведены 6 *встреч экспертной группы для обмена опытом* и обсуждения статуса проводимых работ. Организованы два мероприятия по обмену опытом реализации корпоративных центров ГосСОПКА, SOC на производственной площадке Филиала ПАО «РусГидро» — Саяно-Шушенская ГЭС в октябре 2025 г. и на производственной площадке Группы «Интер РАО» — Пермская ГРЭС в ноябре 2025 г.

В рамках *взаимодействия с вузами* от компаний членов-ассоциации получены актуальные темы выпускных квалификационных работ, связанные с проблемами обеспечения информационной безопасности. В РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина обеспечено консультирование и сопровождение подготовки работ, в частности, например, посвященных защите от фишинговых атак. Разработанные рекомендации и учебно-методические материалы для сотрудников предприятий доведены до заинтересованных организаций отрасли.

Энерго ЦИБ обеспечено *методическое сопровождение разработки курса для руководителей компаний* «Управление обеспечением безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры электроэнергетики». Проведение апробации на предприятиях электроэнергетики запланировано на I квартал 2026 г. Также в рамках образовательной деятельности подписано соглашение о взаимодействии Ассоциации «Цифровая энергетика» с корпоративным университетом ПАО «Интер РАО».

Продолжен проект по разработке, апробации и внедрению *методики самотестирования программного обеспечения*[36]. Указанный проект связан с многочисленными обращениями от разработчиков ПО к предприятиям отрасли с предложениями по апробации и возможному использованию их продукции. Вместе с тем, одной из наиболее актуальных угроз для субъектов критической информационной инфраструктуры является обеспечение безопасности цепочки поставок используемого программного обеспечения, что подтверждается как сведениями, поступающими из НКЦКИ, так и практикой работы членов Ассоциации. В качестве защитной меры было предложено организовать входное тестирование ПО, определяющее уровень организации на стороне разработчика процессов безопасной разработки программного обеспечения (БРПО).

В целом процедура БРПО регламентируется целым рядом нормативных и методических документов, принятых в Российской

36 https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2025/12/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0.pdf

Федерации, и выполнение их требований в полном объеме является трудоемкой и затратной задачей. Как паллиативный вариант экспертами Энерго ЦИБ было предложено организовать разработчиками ПО выполнение базовых требований по безопасной разработке и самостоятельно оценить степень ее реализации. Для методического обеспечения предлагаемого варианта БРПО Энерго ЦИБ разработана методика, включающая чек-лист результатов самотестирования ПО и шаблон технического заключения по результатам тестирования. Основные позиции чек-листа результатов самотестирования:

- наличие решения руководства о реализации процесса БРПО;
- наличие человеческих ресурсов на реализацию процесса БРПО;
- наличие процесса обучения работников требованиям к процессу БРПО;
- наличие документальных свидетельств реализации процесса БРПО;
- наличие процесса использования систем хранения исходного кода, дистрибутива и сборки программного обеспечения;
- наличие процесса обеспечения безопасности сборочной среды программного обеспечения, системы хранения исходного кода и реализован процесс обеспечения целостности кода при разработке программного обеспечения и передаче дистрибутива пользователю;
- наличие процесса формирования и предъявления требований безопасности к ПО;
- наличие эксплуатационной документации и документации в части определения поверхности атаки;
- наличие процесса композитного анализа;
- проверка процесса разработки на предмет внедрения вредоносного кода через цепочки поставок;
- наличие процесса функционального тестирования;
- наличие процесса статического анализа исходного кода;
- наличие процесса управления уязвимостями;
- наличие процесса поддержки программного обеспечения;
- декларация обязательства через год обеспечить выполнение базового уровня соответствия требованиям по БРПО.

Методика размещена на сайте Ассоциации «Цифровая энергетика», проводится популяризация на публичных мероприятиях. Члены Ассоциации планируют использовать Методику для разработки (актуализации) собственных документов, регламентирующих вопросы проверки и тестирования программного обеспечения, предполагаемого к эксплуатации, а также для работы с внешними исполнителями в рамках внутренних регламентов использования цифровых решений.

Новая тематика в деятельности Энерго ЦИБ и экспертной группы связана с аспектами *использования элементов искусственного интеллекта для решения задач информационной безопасности*. В частности, изучен соответствующий опыт кафедры РЗА Московского энергетического института. На основании полученной информации с привлечением студентов РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина разработан компонент фильтрации веб-запросов. Проведено экспериментальное тестирование разработанной системы на реальных данных, включая сравнение с сигнатурными методами защиты. По данной тематике представителями Энерго ЦИБ сделаны доклады на заседании Клуба «Энергия развития» ПАО «Интер РАО» и стратегической сессии по вопросам применения ИИ в ТЭК на площадке АНО «Цифровая экономика».

В 2025 году представители Энерго ЦИБ и экспертной группы по кибербезопасности *выступили на крупнейших отраслевых мероприятиях* по информационной безопасности: ТБ Форум, Информационная безопасность АСУ ТП, Конгресс «Подмосковные вечера» 4CIO, BIS Summit 2025, Gisdays, RuSCADASec, Smart Oil&Gas. Доведены публично лучшие практики по взаимодействию с подрядчиками, представлены результаты апробирования методики самотестирования ПО, доложено об использования в компаниях энергетики технологий ИИ и доверенных ПАК. С це-

лью упорядочения вопросов организации международного взаимодействия при обеспечении кибербезопасности в электроэнергетических компаниях принято участие в заседании рабочей группы Электроэнергетического совета СНГ.

В 2026 году в рамках деятельности экспертной группы по кибербезопасности и Энерго ЦИБ планируется:

- организовать конкурс лучших инновационных проектов в информационной безопасности в электроэнергетической отрасли;
- обеспечить методологическое сопровождение общественных и ведомственных инициатив (включая поддержку Минэнерго) по разработке и внедрению унифицированных методик оценки эффективности мер ИБ и проверки показателей защищённости в энергетической отрасли;
- подготовить нормативно-методические материалы и разъяснения по категорированию объектов критической инфраструктуры и по изменениям в законодательстве, влияющем на безопасность (включая вопросы статуса платёжных агентов);
- развитие программ обучения по информационной безопасности.



2.4. ОБЗОР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТИ

Электромобильность становится одним из ключевых направлений трансформации энергетики, транспорта и городской среды. По данным агентства «Автостат» в 2025 году россияне приобрели 12,5 тыс. новых чисто аккумуляторных электромобилей (1% рынка, падение продаж порядка 30%) и 71,5 тыс. новых гибридных автомобилей (5,4% рынка, прирост порядка 24% год к году)[37]. В то же время поставлен рекорд по продажам подержанных электромобилей – 15,2 тыс. шт., что на 24% больше, чем в 2024 году. Для России трек развития электромобильности одновременно является технологическим вызовом и возможностью выстроить собственную модель развития зарядной инфраструктуры, регулирования и интеграции электромобилей в энергосистему. Центр электромобильности Ассоциации «Цифровая энергетика» в 2025 году стал отраслевой площадкой, объединяющей аналитику, экспертную дискуссию и практическую работу с регуляторами и рынком.

Настоящая статья обобщает результаты деятельности Центра электромобильности в 2025 году, ключевые выводы из анализа международного опыта и планы Центра на 2026 год.

2.4.1. Результаты деятельности Центра электромобильности в 2025 году: от аналитики к формированию отраслевой повестки

2025 год стал для Центра электромобильности Ассоциации «Цифровая энергетика» переходным этапом — от запуска и накопления экспертизы к формированию устойчивой отраслевой повестки и инструментов практического применения. Работа Центра была выстроена как системный контур, охватывающий аналитику, нормативное регулирование, стандартизацию, коммуникации и взаимодействие с ключевыми стейкхолдерами рынка.

Формирование единого аналитического контура электромобильности

В 2025 году Центр фактически сформировал верифицированный аналитический контур по электромобильности в Российской Федерации. Ключевым результатом стало устранение фрагментарности данных и экспертных оценок, характерных для раннего этапа развития рынка.

Основные достижения:

- разработана единая форма отчетности для участников рынка электромобильности (операторы ЭЗС, энергетические компании, производители оборудования);
- сформирована регулярно обновляемая база данных по парку электромобилей, количеству и типам ЭЗС;
- определены базовые метрики оценки отрасли (надежность зарядных сессий, плотность инфраструктуры, показатели загрузки);
- налажен регулярный аналитический мониторинг рынка.

Данный задел является критически важным для перехода к управляемому развитию электромобильности и принятия регуляторных решений на основе данных.

37 https://avtostat-info.com/News/12371

Международная аналитика как инструмент прикладной политики

Центр электромобильности в 2025 году целенаправленно рассматривал международный опыт не как справочный материал, а как источник прикладных решений. Были подготовлены развернутые аналитические обзоры по США, Беларуси, Германии, Японии и ряду других стран. Впервые для российской практики международный опыт был:

- декомпозирован по уровням управления (федеральный, региональный, муниципальный);
- сопоставлен с российской институциональной и сетевой моделью;
- трансформирован в набор применимых сценариев и ограничений.

Особое внимание уделялось вопросам интеграции электромобилей в энергосистему, управляемой зарядке и надежности зарядной инфраструктуры как ключевым факторам доверия потребителей.

Нормативное регулирование: снижение барьеров и формирование новых правил

Одним из ключевых практических результатов 2025 года стала активная работа Центра по совершенствованию нормативно-правовой базы. В течение года:

- проведено отраслевое обсуждение изменений в нормативные акты, регулирующие технологическое присоединение ЭЗС;
- подготовлены предложения к проекту федерального закона «Об электротранспорте»;
- проработана инициатива по введению отдельной категории надежности электроснабжения для электрозарядных станций;
- сформирован пакет предложений для Минэнерго России, Минпромторга России и Минтранса России.

Таким образом, Центр стал не только аналитической, но и регуляторной экспертной площадкой, аккумулирующей позицию рынка.

Стандартизация, сертификация и надежность инфраструктуры

В 2025 году был заложен фундамент для системной работы по стандартизации и сертификации зарядной инфраструктуры. Ключевые результаты:

- сформирован перечень стандартов и ГОСТов, требующих актуализации;
- подготовлена концепция Центра сертификации оборудования и программных компонентов ЭЗС;
- проработаны методические рекомендации по парковкам и размещению зарядной инфраструктуры;
- выполнен глубокий анализ международного опыта по надежности ЭЗС и пользовательскому опыту.

Данные направления напрямую формируют повестку 2026 года, ориентированную на качество и устойчивость инфраструктуры, а не только на количественный рост.

Экспертное сообщество и публичная повестка

В 2025 году Центр электромобильности стал устойчивой точкой сборки отраслевого экспертного сообщества. Результаты:

- регулярные аналитические публикации и обзоры;
- запуск серии подкастов с ключевыми игроками рынка;
- организация авторской сессии Центра на РМЭФ-2025;
- формирование экспертной группы для обсуждения нормативных и технологических инициатив.

2.4.2. Аналитика международного опыта развития электромобильности

В 2024–2025 ГОДАХ ЦЕНТРОМ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТИ БЫЛ ПОДГОТОВЛЕН РАЗВЕРНУТЫЙ МАССИВ АНАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ ОПЫТУ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА, ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ. АНАЛИЗ ОХВАТЫВАЕТ КАК СТРАНЫ-ЛИДЕРЫ (США, КИТАЙ, ГЕРМАНИЯ), ТАК И СОПОСТАВИМЫЕ ПО ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РЫНКИ (БЕЛАРУСЬ, ЯПОНИЯ). НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕН ОБОБЩЁННЫЙ, СТРУКТУРИРОВАННЫЙ И ЧАСТИЧНО СОКРАЩЁННЫЙ ОБЗОР КЛЮЧЕВЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ЭТИХ МАТЕРИАЛОВ.

2.4.2.1. Соединённые Штаты Америки: системная интеграция электромобилей в энергосистему

Опыт США представляет особую ценность для России в силу схожести масштабов энергосистемы, федеративного устройства и высокой роли регионального планирования.

Общая характеристика рынка. К концу 2024 года в США эксплуатировалось порядка 6,3 млн электромобилей (BEV и PHEV), при этом общее количество общественных зарядных станций превышало 190 тыс. единиц, включая около 53 тыс. быстрых зарядных устройств. Электромобили пока формируют относительно небольшую долю общего энергопотребления (около 0,3%), однако темпы роста спроса на электроэнергию со стороны EV являются одними из самых высоких.

Многоуровневое планирование зарядной инфраструктуры. Планирование сети ЭЗС в США осуществляется на трёх уровнях:

- *федеральном* — формирование стратегических целей, стандартов и объёмов финансирования через программы NEVI и CFI, направленные на ликвидацию «зарядных пустынь»;
- *региональном (штаты)* — распределение субсидий, интеграция с программами развития энергосистемы через коалиции «Clean Cities»;
- *муниципальном* — выбор конкретных локаций с использованием инструментов моделирования (EVI-X Suite) и взаимодействие с энергетическими компаниями.

Ключевым элементом является жёсткая привязка бюджетного финансирования к выполнению требований по мощности, стандартам разъёмов, доступности и времени бесперебойной работы ЭЗС (uptime не менее 97%).

Интеграция электромобилей в энергосистему (VGI). США являются мировым лидером в развитии технологий Vehicle-Grid Integration. Реализуемая государственная стратегия VGI включает:

- НИОКР и пилотные проекты V1G/V2G, особенно для школьных и муниципальных автопарков (Fermata Energy, Nuvve);
- разработку стандартов и протоколов взаимодействия;
- внедрение динамических тарифов и программ управления спросом;
- подготовку дорожной карты кибербезопасности.

Отдельное внимание уделяется нормативной базе (Приказ FERC No.2222), позволяющей распределённым энергоресурсам, включая электромобили, участвовать в оптовых рынках электроэнергии.

Ключевые выводы для РФ:

- Критическая роль координации между энергетиками, транспортными органами и региональными властями на всех уровнях.
- Необходимость нормативного закрепления управляемой зарядки (V1G) как первого шага к V2G.
- Приоритет пилотов V1G/V2G для коммерческих и муниципальных автопарков с предсказуемым графиком.
- Важность разработки цифровых инструментов для моделирования нагрузки на сеть и планирования инфраструктуры.

2.4.2.2. Республика Беларусь: централизованная модель развития электромобильности

Белорусский опыт демонстрирует пример быстрого роста рынка при активной роли государства.

Рынок электромобилей и ЭЗС. За период 2020–2024 гг. парк электромобилей вырос с ~1 тыс. до ~24 тыс. единиц, при этом доля электромобилей в продажах новых автомобилей увеличилась до 8%. Количество зарядных станций увеличилось почти в 5 раз — до ~1,2 тыс. ЭЗС, из которых 60% принадлежат государственному оператору «Белоруснефть» (сеть «Malanka»).

Институциональная модель. Ключевой особенностью является назначение государственного оператора, ответственного за формирование базовой сети ЭЗС. Развитие инфраструктуры реализуется поэтапно — от магистральных коридоров и крупных городов к районным центрам и сверхбыстрым ЭЗС.

Государственная поддержка. Беларусь реализует комплексный пакет мер:

- освобождение от НДС, таможенных пошлин и транспортного налога для потребителей;
- налоговые льготы и инвестиционные вычеты для операторов и производителей;
- субсидирование НИОКР и локального производства (включая электробусы и грузовики);
- упрощённые процедуры землеотвода и техприсоединения.

Отдельное внимание уделяется стандартизации — в стране разработан пакет из 48 государственных стандартов в области электромобильности.

Ключевые выводы для РФ:

- Эффективность модели «государственного якорного оператора» для быстрого развёртывания базовой сети на ранних стадиях рынка.
- Важность синхронизации развития инфраструктуры с программами по электрификации общественного транспорта.
- Значимость комплексных мер поддержки, сочетающих фискальные льготы для потребителей, упрощение административных процедур и стимулирование локализации.



2.4.2.3. Германия и США: надёжность зарядной инфраструктуры как фактор спроса

Международные исследования показывают, что надёжность ЭЗС становится ключевым ограничением роста рынка. Фактическая успешность зарядных сессий часто ниже декларируемой.

Проблематика надёжности. Исследования (Kempower, ChargeHelp) выявили, что:

- 60–80% сбоев связаны с пользовательским опытом (сложная аутентификация, ошибки подключения), а не с аппаратными неисправностями.
- Возраст оборудования критически влияет на отказоустойчивость: заметный рост отказов наблюдается после 4 лет эксплуатации.
- Некорректные данные о статусе ЭЗС («станции-призраки», «станции-зомби») подрывают доверие пользователей.

Ответные меры. В США и Германии внедряются:

- Нормативы минимального uptime (до 97% для ЭЗС с господдержкой в США).
- Сертификация зарядных станций, в т.ч. со стороны автопроизводителей (программа Tesla).
- Стандартизированные метрики качества и доступности (опыт Германии).
- Цифровые платформы мониторинга, предиктивного обслуживания и интеграции данных с электромобилей.

Ключевые выводы для РФ:

- Необходимость нормативного закрепления показателей надёжности (uptime, успешность сессий) и их верификации независимым тестированием.
- Интеграция данных от ЭЗС и электромобилей для получения объективной картины пользовательского опыта.
- Приоритет удобства пользовательского интерфейса, простоты оплаты и аутентификации наравне с техническими характеристиками оборудования.
- Важность планового обновления парка ЭЗС и инвестиций в предиктивное обслуживание.

2.4.2.4. Япония: технологическое лидерство при низком уровне внедрения EV

Япония демонстрирует парадоксальную модель: высокий уровень технологических компетенций при низкой доле электромобилей (~1% парка).

Структура рынка. Доля электромобилей в продажах составляет менее 3%, при доминировании незаряжаемых гибридов (HEV) — свыше 55%. Причины включают:

- Зрелость, надёжность и экономическую эффективность HEV.
- Ограниченность зарядной инфраструктуры (дефицит на 60% дорог) и высокая плотность застройки.
- Потребительский консерватизм и стратегический фокус национальных производителей на гибридных технологиях.

Государственная политика. Господдержка сосредоточена преимущественно на:

- Производстве аккумуляторов (крупные субсидии производителям).
- НИОКР в области водородных элементов и гибридных технологий.
- Экспорте технологий.

Поддержка развёртывания ЭЗС и потребительские субсидии носят ограниченный и фрагментарный характер (например, фокус на стандарт CHAdeMO), что сдерживает рост рынка.

Ключевые выводы для РФ:

- Риск технологического перекоса: инвестиции в НИОКР и производство без параллельного развития доступной зарядной инфраструктуры не приведут к массовому спросу.
- Необходимость сбалансированной политики, сочетающей стимулирование спроса (инфраструктура, льготы) с поддержкой промышленности.
- Важность учёта потребительских предпочтений и готовности рынка при выборе технологических приоритетов

Таблица 2.4.1. Сравнительный анализ международных подходов к развитию электромобильности

Страна	Ключевые цели	Приоритеты развития	Основные инструменты господдержки	Фокус технологий
США	Масштабирование EV, устойчивость сетей, интеграция ВИЭ	Транспортные коридоры, сельские районы, VGI	Федеральные гранты (NEVI, CFI), стандарты uptime, коалиции «Clean Cities»	Smart charging, V2G, цифровые платформы моделирования (EVI-X)
Беларусь	Быстрый рост рынка, импортозамещение	Базовая сеть ЭЗС, общественный электротранспорт	Госоператор, налоговые льготы, упрощенное подключение, пакет ГОСТов	Mode 3/4, Smart Grid
Германия	Доверие пользователей, качество сервиса	Надёжность и доступность ЭЗС, стандарты качества	Метрики надёжности, контроль операторов, цифровой мониторинг	Цифровой мониторинг, предиктивное обслуживание
Япония	Технологическое лидерство, экспорт	Аккумуляторы, производство, гибриды (HEV)	Субсидии НИОКР и производства, льготы для «эко-авто»	Аккумуляторные технологии, HEV, водородные элементы
Китай	Массовая электрификация транспорта	Городская инфраструктура, автопарки	Масштабная господдержка, стандарты, пилоты V2G	V2G/V2X, AI-управление, интеграция с ВИЭ

2.4.2.5. Анализ международного опыта: выводы для регионов Российской Федерации

Анализ международных практик показывает, что именно региональный уровень является ключевым для практической реализации электромобильности. Федеральная политика задает рамки, однако успех определяется качеством регионального планирования и координации.

Ключевые выводы:

1. Региональное планирование должно быть синхронизировано с энергосистемой. Опыт США и Германии подтверждает, что развитие ЭЗС без участия сетевых организаций приводит к росту затрат и снижению надёжности. Необходимо внедрять инструменты совместного моделирования (по аналогии с EVI-X Suite или OpenDSS) для оценки нагрузок и оптимизации размещения инфраструктуры.
2. Этапность развития инфраструктуры. На ранних стадиях, по примеру Беларуси, целесообразна опора на якорного оператора для создания базовой сети вдоль ключевых транспортных коридоров и в агломерациях, с последующим переходом к конкурентному рынку.
3. Приоритет надёжности над количеством. Опыт США и Германии доказывает, что пользовательский опыт и реальная доступность ЭЗС оказывают большее влияние на спрос, чем формальное количество станций. Регионам следует устанавливать и контролировать метрики качества (uptime, успешность сессий), перенимая подходы из программ NEVI или немецких стандартов.
4. Фокус на управляемой зарядке (V1G). Региональные тарифные эксперименты (по образцу дифференцированных тарифов PG&E или Con Edison в США) и пилоты V1G позволяют снизить нагрузку на сети без масштабных инвестиций в их модернизацию, создавая задел для будущего внедрения V2G.
5. Методические рекомендации как инструмент масштабирования. Унифицированные подходы к размещению ЭЗС, парковкам, стандартам подключения и требованиям к надёжности (на основе стандартизированного опыта Беларуси и Германии) снижают транзакционные издержки для инвесторов и ускоряют развёртывание инфраструктуры.

2.4.3. Планы Центра электромобильности на 2026 год

В 2026 году Центр электромобильности планирует перейти от преимущественно аналитической фазы к масштабированию практических инструментов для рынка и регионов.

2.4.3.1. Нормативное регулирование

- системное взаимодействие с федеральными органами власти по интеграции лучших международных практик в российское законодательство;
- подготовка предложений по корректировке нормативно-правовой базы, включая вопросы управляемой зарядки и стандартов надёжности;
- участие в межведомственных рабочих группах;
- формирование практических рекомендаций для регионов по развитию сети ЭЗС с учётом импликаций международного опыта.

2.4.3.2. Стандартизация и сертификация

Ключевой проект 2026 года — запуск Центра сертификации зарядной инфраструктуры:

- разработка и апробация методик оценки соответствия ЭЗС, включая критерии надёжности и пользовательского опыта;
- проведение тестовых испытаний оборудования;
- формирование регламента работы Центра;
- проработка юридического статуса и публичное позиционирование.

2.4.3.3. Международный опыт и аналитика

- актуализация отчетов по США, Китаю, Германии, Норвегии с фокусом на практические инструменты регулирования и планирования;
- перевод и обобщение ключевых международных докладов (в т.ч. Global EV Outlook, отчёты СИГРЭ);
- подготовка прикладных рекомендаций по внедрению лучших практик в РФ, адаптированных для регионального уровня.

2.4.3.4. Экспертное сообщество и коммуникации

- выпуск регулярных аналитических материалов по итогам мониторинга рынка и международному опыту;
- развитие подкастов и публичных дискуссий с фокусом на практические кейсы и проблемы отрасли;
- организацию отраслевых сессий на ключевых мероприятиях;
- расширение партнерств с профильными ассоциациями для продвижения повестки качества и надёжности инфраструктуры.

2.4.5. Выводы

Опыт 2025 года показал, что электромобильность в России требует комплексного подхода, объединяющего энергетику, транспорт, цифровые технологии и регулирование. Центр электромобильности Ассоциации «Цифровая энергетика» сформировал задел для перехода от анализа к практической реализации решений. В 2026 году фокус смещается на стандартизацию, региональные рекомендации и институционализацию лучших международных практик, что позволит ускорить развитие электромобильности и зарядной инфраструктуры в Российской Федерации. Ключевыми ориентирами станут обеспечение надёжности инфраструктуры, синхронизация с энергосистемой и создание понятных правил игры для всех участников рынка.

2.5. АКТУАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 ГОДА

СТРАТЕГИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 ГОДА (ДАЛЕЕ – СТРАТЕГИЯ) ПЕРВОНАЧАЛЬНО РАЗРАБОТАНА АССОЦИАЦИЕЙ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА» В 2020 ГОДУ ПРИ АКТИВНОМ УЧАСТИИ МИНЭНЕРГО РОССИИ И ВЕДУЩИХ КОМПАНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.

Хотя Стратегия не является обязывающим документом для компаний электроэнергетической отрасли, ее материалы достаточно активно использовались Минэнерго России, АНО «Цифровая экономика», компаниями отрасли, в том числе, при подготовке Стратегического направления цифровой трансформации ТЭК до 2030 года, стратегий цифровой трансформации государственных компаний в соответствии с методическими рекомендациями Минцифры России.

2.5.1. Предпосылки актуализации Стратегии

За прошедшие с момента разработки Стратегии пять лет существенно изменились внутренние и внешние условия ее реализации. К ключевым внешним изменениям можно отнести существенное санкционное давление, что привело к невозможности приобретения зарубежного оборудования и программного обеспечения, запчастей и компонентов, сложностям в поддержке и эксплуатации уже используемого оборудования. В свою очередь со стороны государства выдвинуты серьезные новые требования по импортозамещению и обеспечению информационной безопасности объектов энергетики. Таким образом, в совокупности с высоким уровнем инфляции и ключевой ставки, внешние условия диктуют энергетикам необходимость пересмотра инвестиционных планов, в том числе, касающихся цифровой трансформации. Обновилась система стратегического планирования как цифровизации, так и развития ЕЭС России. Внесены важные изменения в Федеральный закон от 26.03.2003 №35-ФЗ «Об электроэнергетике»: введены в гражданский оборот атрибуты генерации и сертификаты происхождения электрической энергии, создана правовая основа функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ), определены особенности правового регулирования системообразующих территориальных сетевых организаций, а также другие изменения. В 2024 году Президентом России определены национальные цели развития до 2030 года[38], в том числе, цифровая трансформация и достижение цифровой зрелости, а также обеспечение технологического лидерства. В 2025 году принята Энергетическая стратегия РФ до 2050 года, начата реализация национальных проектов «Новые атомные и энергетические технологии»[39],

38 Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309

39 http://government.ru/static/viewer/index.html#files/uOJSAQ53gNuXWLAtOD492eWZtYL75KWW.pdf

«Экономика данных», «Средства производства и автоматизации».

За прошедшие пять лет произошли существенные сдвиги в цифровых технологиях, в частности, в областях искусственного интеллекта, интернета вещей, в информационном моделировании (технология цифровых двойников). Характерным также является то, что экономический и социальный эффект больше не дает внедрение только какой-то одной технологии, а только их сочетание. Решающим фактором цифровизации стало наличие в компаниях экосистемы сбора, обработки и хранения данных, стандартизации подходов к информационному обмену.

Цифровизация электроэнергетики обострила проблему нехватки квалифицированного персонала – компаниям приходится конкурировать с ИТ-сектором. Причем требуются специалисты, обладающие одновременно высоким уровнем цифровых компетенций и специфическими отраслевыми знаниями. В среднесрочной перспективе ожидается увеличение доли рабочих мест, требующих высокой квалификации, а также расширение автоматизации процессов (сервисная робототехника, нейросети, системы удаленной работы и диагностики). При этом число низкоквалифицированных рабочих мест будет снижаться по мере того, как издержки на оплату труда будут превышать затраты на замещающие технологии и решения.

Все указанные выше предпосылки, а также потребность в ревизии результатов за прошедшие пять лет, определили необходимость актуализации Стратегии. Работа по ее актуализации велась Ассоциацией совместно с экспертным сообществом с 2024 года, основные параметры документа обсуждались и апробировались в рамках работы экспертных групп при правлении Ассоциации, а также в ходе мероприятий:

- Объединённая конференция ИТ-служб энергокомпаний (ОКИТ-2024), 17–19 июля 2024 г., г. Нижний-Новгород;
- Конференция, посвященная пятилетию Ассоциации «Цифровая энергетика», 24–25 октября 2024 г., г. Санкт-Петербург;
- Стратегическая сессия, посвящённая перспективам роботизации отечественного топливо-энергетического комплекса, 23–24 января 2025 г., Университет Иннополис;
- Российский международный энергетический форум-2025, 9–11 апреля 2025 г., г. Санкт-Петербург;
- Объединенная конференция ИТ-служб энергокомпаний (ОКИТ-2025), 16–18 июля 2025 г., г. Переславль-Залесский, Ярославская обл.;
- Публичное обсуждение актуализированной Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 г. в рамках демо-дня ИЦК «Электроэнергетика», 29.10.2025 г., г. Удомля, Тверская обл.

Далее приведены основные тезисы разделов актуализированной Стратегии.

2.5.2. Анализ глобальных трендов в мировой экономике и электроэнергетической отрасли

Определены существующие глобальные тренды в мировой экономике: демографические, геополитические, климатические и платформизация. Выделены основные риски и преимущества, которые несут эти тренды для цифровизации электроэнергетической отрасли (таблица 2.5.1). Проанализированы основные тренды в электроэнергетике. Проведен анализ опыта стран-лидеров цифровизации энергетики (КНР, США, Франция, Германия), стран БРИКС (Бразилия, Индия), нефтедобывающих стран Ближнего Востока (ОАЭ и Саудовская Аравия). Результаты международного бенчмаркинга приведены в таблице 2.5.2.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ

Демографические: Старение населения и миграция стимулируют спрос на автоматизацию процессов и программы переобучения для сохранения кадрового потенциала.

Климатические: Рост частоты экстремальных погодных явлений требует адаптации инфраструктуры и ускорения процессов декарбонизации.

Геополитические: Усиление многополярности, курс на технологический суверенитет и региональная реиндустриализация.

Геополитические: Усиление многополярности, курс на технологический суверенитет и региональная реиндустриализация.

ОТРАСЛЕВЫЕ ТРЕНДЫ

Рост электрификации: Повышенный спрос со стороны новых потребителей - ЦОД и майнинга, электротранспорта, сельск. хоз-ва.

Энергопереход: Ускоренный переход к ВИЭ и децентрализация генерации усложняет управление энергосистемой.

Цифровизация: Внедрение IoT, ИИ и «умных» сетей повышает эффективность, но одновременно увеличивает критические риски кибербезопасности, ускорение перехода от MVP к промышленному производству.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Лидеры (США, КНР, Германия): Полный спектр зрелых цифровых решений, активный экспорт технологий и интеграция децентрализованных источников



БРИКС (Бразилия, Индия, ЮАР): Приоритет на повышение энергоэффективности, обеспечение доступа к электроэнергии и снижение ее стоимости для населения



Ближний Восток (ОАЭ, СА): Стратегическая диверсификация экономики через масштабное развитие «зелёной» энергетики и комплексную цифровизацию.



Рис. 2.5.1. Глобальные тренды и международный бенчмаркинг

Таблица 2.5.1. Риски и возможности, которые несут глобальные тренды

Группа мегатрендов	Риски	Возможности
 **Демографические**	• Исчерпание возможностей для экстенсивного роста экономики в странах, где пройден пик популяции.	• Высокий спрос на инновации в сфере автоматизации труда; • Высокий спрос на программы переподготовки и развития компетенций, спрос на продолжение работы в пожилом возрасте; • Высокий спрос на новые энергетические услуги для городских жителей.
 **Геополитические**	• Сокращение рынков сбыта и кооперации; • Перераспределение расходов в пользу ВПК; • Затруднение доступа к высоким технологиям.	• Увеличение субсидирования разработок критических технологий и новых материалов; • Конверсия разработок в гражданский сектор; • Повышение занятости в реальном секторе экономики; • Кооперация энергетики с крупными майнерами.
 **Развитие платформенной экономики**	• Вклад сырья (энергии) в себестоимость продукции снижается; • Сетевой эффект, монополизация рынка, зависимость от платформ.	• Развитая инфраструктура – условие работы платформы; • Увеличение числа рабочих мест, более гибкие формы занятости; • Более персонализированные товары и услуги за счет снижения time to market.
 **Климатические**	• Повышение аварийности (перегрев, повреждения опор); • Снижение эффективности оборудования.	• Спрос на комфортную среду проживания (чистый воздух и вода); • Спрос на водные ресурсы, развитие гидроэнергетики; • Спрос на «экологический туризм».

К основным *рискам отраслевых трендов электроэнергетики* можно отнести следующее:

- отсутствие синхронизации между сроками строительства инфраструктуры и темпами роста потребления;
- при избытке ВИЭ в энергобалансе и отсутствии резервирования традиционными типами генерации растет вероятность блэкаутов;
- увеличение затрат на поддержание стабильности работы сильно децентрализованных энергетических систем;
- увеличение числа устройств промышленного интернета вещей ведет к повышению уязвимости энергосистем к кибератакам;
- замедление темпов внедрения облачных и пограничных вычислений и технологий по причинам недоверия к ИТ-инфраструктуре вне периметра энергокомпании.

Основные *возможности, которые несут отраслевые тренды*, включают:

- рост тарифной и нетарифной выручки из-за новых типов потребителей;
- развитие инновационной экономики вследствие выполнения мероприятий по диверсификации источников энергии;
- повышение лояльности клиентов за счет перехода на «зеленую» энергетику и возможностей участия в розничных рынках (просьюмеры);

- повышение выручки энергокомпаний за счет выхода на рынки децентрализованной энергетики с «коробочными решениями»;
- системы накопления энергии (СНЭ) могут выступать альтернативой строительству новой генерации для покрытия дефицитов и пиков потребления;
- продукты дочерних ИТ-компаний электроэнергетических компаний по управлению ресурсами и прогнозной аналитике могут быть конкурентоспособными на смежных рынках (промышленность, строительство, транспорт), что может повысить нетарифную выручку.

Основные направления цифровой трансформации стран в рамках сравнительного анализа приведены в таблице 2.5.2.

Таблица 2.5.2. Основные результаты анализа международного опыта цифровой трансформации

	Лидеры (США, КНР, Германия, Франция)	БРИКС (Индия, Бразилия)	Ближний Восток (ОАЭ, Саудовская Аравия)
Основные цели цифровой трансформации электроэнергетики	Снижение зависимости от ресурсов и компонентов из других стран, расширение присутствия на экспортных рынках	Снижение стоимости электроэнергии, повышение энергоэффективности, увеличение доступности электроэнергии	Развитие инновационных технологий, диверсификация экономики за счет чистой энергетики
Основные направления цифровой трансформации электроэнергетики	Технологии и сети 5G интеллектуальные сети, ВИЭ, накопители энергии, инфраструктура электромобильности	Технологии повышения энергоэффективности, малая распределенная энергетика, интеллектуальные сети, системы мониторинга	ВИЭ, технологии интеграции в сеть распределенной энергетики, накопители энергии

Принципы минимизации ущерба от выявленных рисков и максимального использования показанных возможностей положены в целеполагание Стратегии.



5.3. Текущая ситуация и вызовы электроэнергетического сектора России

В ходе актуализации Стратегии проведен внутренний бенчмаркинг цифровизации электроэнергетики России на основе статуса КПЭ, заложенных в Стратегии в 2020 г. (опережение в реализации новых цифровых проектов и услуг, отставание в наращивании компетенций кадров, медленное внедрение ИСУ).

СИСТЕМНЫЕ ВЫЗОВЫ



Моральный износ фондов: Более 60% генерирующих мощностей введены до 1990 года, что требует масштабной модернизации и снижает общую эффективность



Санкции и кибербезопасность: Усиление рисков кибератак на критическую инфраструктуру и необходимость срочного импортозамещения оборудования и ПО



Дефицит компетенций: Острый недостаток квалифицированных кадров, способных работать с новыми цифровыми технологиями и ИИ



Низкие темпы перехода на ИСУ: Медленное внедрение интеллектуальных систем учета (ИСУ) препятствует созданию по-настоящему «умных» сетей

КПЭ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ-2020

Показатель	Цель к 2030 г.	Значение в 2024 г.
Доля услуг, предоставление которых возможно в цифровом формате	100%	> 50%
Количество точек учета конечных потребителей, включенных в интеллектуальные системы учета к общему количеству точек поставки	75%	> 15%
Доля выручки от новых услуг	> 5%	> 5%
Объем мощности, участвующей в программе управления спросом	4 ГВт	~1,15 ГВт
Доля работников, прошедших переподготовку в области цифровых компетенций	> 70%	> 30%
Среднее число проектов по внедрению цифровых решений, доведенных до MVP, в компании	> 50 ед.	> 70 ед.
LTIFR (число случаев с потерей трудоспособности/со смертельным исходом) * 1 млн часов к общему числу отработанных часов.	0,1/0	0,07/0

Рис. 2.5.2. Результаты внутреннего бенчмаркинга

Выполнен анализ стратегических документов планирования, регламентирующих цели и задачи цифровой трансформации отрасли (таблица 2.5.3).

Таблица 2.5.3. Цели и область действий документов планирования цифровой трансформации электроэнергетики

Документ планирования	Цель	Область действия
Указ Президента России от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»	Высший уровень целей устойчивого развития для всего государства	Максимально широкое поле деятельности государства, обеспечение роста экономики
Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 г. (утверждена Распоряжением Правительства России от 12.04.2025 г. № 908-р)	Конкретизация национальных целей применительно к ТЭК как основе экономики и безопасности страны	Обеспечение энергобезопасности, технологического суверенитета и конкурентоспособности ТЭК. Вклад отрасли в ВВП и безопасность
Стратегическое направление цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса (утверждено Распоряжением Правительства России от 12.03.2024 г. № 581-р)	«Переводчик» целей Энергетической стратегии на язык цифровой трансформации для компаний ТЭК	Общие рамки: стандарты, требования, пул технологий, кибербезопасность

На основе анализа мегатрендов, мировых отраслевых трендов, текущих тенденций в электроэнергетике России, в том числе, выявленных в стратегических документах планирования, сформулированы основные группы вызовов развития отрасли на кратко- и среднесрочную перспективу (см. таблицу 2.5.4). Стратегические и оперативные решения в области цифровой трансформации электроэнергетической отрасли должны приниматься с учетом этих групп вызовов.

Таблица 2.5.4. Группы вызовов электроэнергетической отрасли России

Группа вызовов	Основные причины (предпосылки)
1. Не отвечающий современным требованиям уровень технического состояния и надежности объектов электроэнергетики и теплоснабжения, объектов производства электроэнергии. Риски невыполнения планов по модернизации и обеспечению надежности энергетической инфраструктуры	• односторонние ограничительные меры и технологические санкции; • отсутствие долгосрочного доступного заемного финансирования; • недостаточность существующих программ модернизации мощностей тепловых электростанций; • разрыв производственных цепочек, снижение уровня технологической оснащенности; • тарифное регулирование, перекрестное субсидирование; • сложности с кадрами, влияющие на выполнение планов модернизации.

Группа вызовов	Основные причины (предпосылки)
2. Необходимость адаптации энергетической инфраструктуры к появлению новых типов потребителей и клиентов электроэнергии и услуг энергетической инфраструктуры	• увеличение доли электро- и гибридного транспорта; • рост потребления ЦОД, в том числе, для майнинга, развитие технологий ИИ; • высокие темпы урбанизации, развитие комфортных общественных городских пространств (рост потребления на освещение, обогрев и кондиционирование, ЖК-панели); • усложнение размещения энергетического оборудования и инфраструктуры в условиях плотной городской застройки; • увеличение доли операторов связи, использующих существующие опоры для подвески оборудования; • разрозненность применяемых стандартов в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ); • низкие темпы замены приборов учета на интеллектуальные.
3. Риски внедрения новых технологий, проведения НИОКР для развития технологий новой энергетики	• скорость появления и развития новых технологий; • реактивное, а не проактивное изменение нормативной базы; • сокращение инвестиций и доступа к международному рынку капитала; • несоответствие разработок потребностям ТЭК; • отсутствие единых стандартов обмена и обработки данных; • отсутствие или снижение выручки от новых услуг; • законодательные барьеры внедрения ИИ и майнинга; • проблемы с источниками финансирования новых технологий и отсутствие права на ошибку.
4. Дефицит квалифицированных и мотивированных кадров	• сокращение и старение населения; • несоответствие образовательных программ потребностям отрасли; • конкуренция с другими отраслями, неразвитость обеспечения гибких условий труда и потребность самореализации личности; • непопулярность инженерных и рабочих специальностей в энергетике;
5. Риск обеспечения кибербезопасности (информационной и технологической) энергетической инфраструктуры	• рост зависимости устойчивого функционирования энергетической инфраструктуры от защищенности КИИ; • увеличение поверхности атак из-за роста автоматизации и количества точек входа в систему; • увеличение значимости негативных последствий от реализации успешных компьютерных атак; • наличие различного рода стимулов для ведения хакерской деятельности.
6. Адаптированность к климатическим изменениям	• низкий уровень проработки и регулярный пересмотр подзаконных актов в области климатического регулирования, отсутствие четких «правил игры»; • высокие штрафы за нарушения климатического законодательства, трансформация риск-ориентированного подхода в сторону карательной функции системы защиты окружающей среды; • сокращение инвестиций, тарифное регулирование.

2.5.4. Цели, задачи и приоритетные меры Стратегии

Приведенный выше анализ показывает, что в мировой электроэнергетике происходят существенные изменения, обусловленные демографическими, экономическими, климатическими факторами, а также общим высоким темпом развития технологий. Тенденции развития российской электроэнергетической отрасли в целом согласуются с мировыми, хотя и обладают рядом особенностей. В части цифрового развития текущий этап характеризуется переходом к новому технологическому укладу, где ключевыми факторами становятся искусственный интеллект, интернет вещей, большие данные, высокоточная робототехника и распределённая энергетика.

Вероятнее всего, что в ближайшем будущем искусственный интеллект, робототехника и сопутствующие технологии будут распространены повсеместно и перестанут быть основой конкурентоспособности компаний. Ключевым источником конкурентного преимущества, производительности и устойчивого развития для компаний станут человеческие ресурсы. Под человеческими ресурсами понимается совокупность работников, клиентов и заинтересованных лица компании (акционеры, поставщики товаров и услуг, регулирующие органы и др.).

Клиенты ожидают от электроэнергетической компании не просто поставки энергии, а комплексных услуг, комфортной и прозрачной среды взаимодействия и персонализированного подхода. Растет спрос на гибкие тарифы, бонусные программы, удобные цифровые сервисы. Появляется новая категория активных потребителей (просьюмеров), желающих участвовать в энергорынках для получения дохода. Не менее важно, что у клиентов растет запрос на экологически комфортные условия проживания (чистый воздух и вода) – это приводит к повышению лояльности к компаниям, развивающим «зеленую» энергетику.

Работники компаний ожидают, что технологии освободят их человеческий потенциал. В частности: гибких условий труда за счет использования цифровых платформ, сокращения доли рутинных и опасных операций, возможностей для обучения и повышения компетенций с целью увеличения продолжительности активной трудовой жизни. Развитие технологий порождает новые профессии, например специалистов по ИИ-этике, дизайнеров энергетических сервисов.

Стейкхолдеры компаний электроэнергетики заинтересованы в обеспечении надежного и доступного энергоснабжения, повышении экономической эффективности деятельности, соблюдении климатического законодательства. Эти цели невозможно решить без трансформации парадигмы развития и использования человеческого капитала. Происходит фундаментальный сдвиг от устаревшей модели директивного управления к модели стратегического партнерства, основанного на взаимной выгоде всех участников производственного процесса. При этом цифровые решения нового технологического уклада становятся «клеевым механизмом», удерживающим квалифицированных сотрудников и клиентов в орбите энергетических компаний, обеспечивая долгосрочные взаимовыгодные отношения (рис. 4.1).

Цифровые технологии формируют новую экосистему взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами в энергетике, которая характеризуется:

- трансформацией управления – технологическими инновациями – внедрением искусственного интеллекта, интернета вещей и блокчейна для создания интегрированных экосистем;
- формированием среды, где интеллектуальный капитал становится главным драйвером развития энергетического сектора.

Отсюда сформулирована основная **цель Стратегии:** осуществление перехода к человекоцентричной модели электроэнергетического бизнеса при помощи цифровых решений и технологий в условиях необходимости ответа на отраслевые вызовы (рис. 2.5.3).



Рис. 2.5.3. Цель и задачи Стратегии

Достижение цели Стратегии возможно путем решения следующих задач:

- развитие рамочных условий цифровой трансформации отрасли в форме изменения нормативно-регуляторной базы (включая отраслевые технические стандарты и нормативы), а также государственной поддержки и финансирования цифровизации;
- изменение культуры управления, подходов к взаимодействию с клиентами, работниками и стейкхолдерами на основе цифровых технологий и решений;
- развитие новых бизнес-моделей и перспективных направлений деятельности в электроэнергетике;
- приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений участниками отрасли.

Предложены основные *приоритетные меры* (см. таблицы 2.5.5 – 2.5.10) для решения задач в контексте ответов на отраслевые вызовы, в том числе касающиеся:

- стандартизации и создания условий для ускоренного внедрения серийных технологий;
- сбора хранения и использования промышленных данных;
- новых механизмов финансирования проектов
- адаптации энергоинфраструктуры к развитию ЦОД, майнинга и электротранспорта;
- подготовки и удержания кадров;
- обеспечения кибербезопасности на отраслевом уровне;
- регулирования технологий искусственного интеллекта;
- сокращения углеродного следа.

Таблица 2.5.5. Приоритетные меры по ответу на вызов «Не отвечающий современным требованиям уровень технического состояния и надежности объектов электроэнергетики и теплоснабжения, объектов производства электроэнергии; риски невыполнения планов по модернизации и обеспечению надежности энергетической инфраструктуры»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
• Создание **пула стандартных решений (серийных технологий) а также условий для их ускоренного внедрения**, нормативных механизмов для их использования компаниями отрасли; • Разработка и развитие нормативного и технического регулирования **сбора, хранения и использования (в том числе, совместного) промышленных данных** в электроэнергетике; • Совершенствование регуляторной среды и использование существующих финансовых инструментов (СПИК, региональные инвестсоглашения), а также разработка и развитие **новых механизмов финансирования строительства объектов электроэнергетики** (легализация майнинга и стимулирование оборота ЦФА, в том числе за счет краудфандинга);	• Внедрение цифровых технологий **информационного моделирования и концепции единого источника данных** для сокращения длительности циклов разработки и производства (строительства); • Внедрение систем непрерывного мониторинга технического состояния агрегатов и систем для **перехода к риск-ориентированному ТОиР**; • Внедрение и развитие практик **ресурсо- и энергосбережения**, повышения энергоэффективности;	• Системы прогнозирования (технического состояния, производства электроэнергии и тепла, нагрузки и др.) на основе технологий машинного обучения; • Цифровой двойник; • Цифровые платформы; • Системы прогнозирования (технического состояния, производства электроэнергии и тепла, нагрузки и др.) на основе технологий машинного обучения;

• Создание отраслевых **центров компетенций по внедрению технологий искусственного интеллекта**, робототехники и др. сквозных технологий; • Разработка механизмов стимулирования участия в **программах управления спросом;** • Разработка эффективных механизмов **государственно-частного партнерства**; • Развитие **механизмов управления потреблением** (IV категория надежности, «аварийные» программы управления спросом.).	• Развитие новых направлений: **системы накопления электроэнергии**, услуги по **повышению энергоэффективности**, конвергенция ИТ-решений по **управлению ресурсами, прогнозированию технического состояния** в другие отрасли (строительство, машиностроение, транспорт); • **Выявление и закрытие «белых пятен» ИТ-ландшафта;** • Создание **референтной ИТ-модели и базы типовых бизнес-процессов** для упрощения автоматизации; • **Подготовка персонала** для работы в новой/планируемой к реализации бизнес-модели.	• Цифровой двойник; • Цифровые платформы; • Системы компьютерного моделирования и управления жизненным циклом оборудования; • Системы накопления энергии; • Средства персональной автоматизации, low-code программирования в том числе, с применением искусственного интеллекта.

Таблица 2.5.6. Приоритетные меры по ответу на вызов «Необходимость адаптации энергетической инфраструктуры к появлению новых типов потребителей и клиентов электроэнергии и услуг энергетической инфраструктуры»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
Центры обработки данных: • Формирование отраслевой **аналитики по энергопотреблению;** • Разработка **метрик энергоэффективности**, **метрик качества энергоснабжения** для ЦОД, создание методик и стандартов повышения энергоэффективности; • Разработка **механизмов упрощенного ТП, проработка специальных тарифов;** • Стимулирование развития **магистральных сетей связи;** • Создание **«единого оператора» ЦОД для работы на энергетических рынках;** • Развитие **механизмов управления спросом** для ЦОД;	• **Предоставление услуг** по повышению энергоэффективности, энергоаудиту, аренде/обмену систем накопления электроэнергии и проч.; • **Стимулирование спроса** на электротранспорт; • **Развитие электрозарядной инфраструктуры**, формирование аналитики по использованию зарядных станций для оптимизации предложения (стоимость, мощность, доступность и проч.); • Участие в проектах по **строительству ЦОД и майнинговых ферм**; • Проектирование новых объектов с учетом появления **новых потребителей**.	• Интеллектуальные системы учета электроэнергии (мощности); • Системы прогнозирования выработки и нагрузки; • Цифровые ассистенты; • Интеллектуальные системы взаимодействия с клиентами;

Майнинг:

- Создание **«единого оператора» майнинга для работы на энергетических рынках (ОРЭМ и РРЭ);**
- **Использование разработанного реестра оборудования майнинга для контроля за оборотом оборудования, на котором можно осуществлять майнинг** цифровых валют;
- Разработка механизмов **выявления и пресечения нелегального майнинга;**

Электротранспорт:

- **Упрощение ТП** для отдельных категорий потребителей;
- **Создание публичных карт доступных мощностей** для размещения ЭЗС;
- Создание механизмов **ограничения и стимулирования зарядки для сглаживания пиков** потребления;
- Создание **центра сертификации для зарядной инфраструктуры;**
- **Изменение требований к резервированию мощности**, упрощенное ТП для потребителей до 150 кВт;
- Устранение барьеров для **ускоренного внедрения ИСУ**;
- **Развитие регулирования микрогенерации** и распределенной генерации;
- Проработка вопроса **снятия ограничений на совмещение видов деятельности** (генерация, передача и распределение, сбыт).
- Программное обеспечение по выявлению лиц, осуществляющих майнинговую деятельность, в том числе посредством анализа интернет-трафика и режима потребления электрической энергии;
- Цифровые технологии для ускорения строительства объектов;
- Цифровая инфраструктура для зарядной сети и межплатформенного взаимодействия в smart-grid



Таблица 2.5.7. Приоритетные меры по ответу на вызов «Риски внедрения новых технологий, проведения НИОКР для развития технологий новой энергетики»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
• Развитие нормативного и технического **регулирования внедрения технологий ИИ**, в том числе, сертификации отраслевых решений, определения допустимых уровней ошибок, внедрение механизмов минимизации рисков; • Разработка **отраслевого кодекса этики использования ИИ**. • Создание механизмов **стимулирования венчурного финансирования отраслевых разработок** (посевные гранты); • Создание **репозиториев промышленных (технологических) обезличенных данных** для отработки цифровых решений и обучения ИИ; • Создание **отраслевых моделей данных**, **стандартов обмена и обработки данных для предиктивных моделей**; • Формирование технических условий для **накопления данных, получаемых из систем промышленной автоматизации и корпоративных систем**; • **Внедрение концепции «права на ошибку»** для поощрения развития новых технологий.	• Создание **полигонов для отработки цифровых решений**, в том числе на базе искусственного интеллекта; • Ежегодное формирование заказа, обновление технической политики для **синхронизации спроса и предложения продукции и услуг**; • Инвестирование в обучение персонала использованию технологий, **повышающих производительность труда;** • Повышение эффективности операционной деятельности за счет **увеличения доли обработки накапливаемых данных**; • Развитие механизмов венчурного финансирования для **поддержки развития стартапов**; • **Дообучение базовых моделей ИИ** на специализированную отрасль электроэнергетики, в том числе, в сотрудничестве с технологическими лидерами в области ИИ; • Перевод отраслевых библиотек НТИ в цифровой вид. • Внедрение **машиночитаемых форматов** для всех процессов.	• Технологии больших данных и искусственного интеллекта; • Системы компьютерного моделирования и управления жизненным циклом; • Системы поддержки принятия решений; • Цифровые двойники, отраслевые электронные базы знаний.



Таблица 2.5.8. Приоритетные меры по ответу на вызов «Дефицит квалифицированных и мотивированных кадров»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
• *Заключение на отраслевом уровне социального партнерства **соглашений, обеспечивающих повышение гибкости регулирования социально-трудовых и связанных с ними экономических отношений в отраслях ТЭК** с целью расширения участия компаний ТЭК в таких соглашениях; • *Внесение изменений в нормативные акты, регламентирующие ценообразование в сфере электро- и теплоснабжения в части обеспечения учета в тарифах и прогнозе социально-экономического развития России **необходимый рост заработной платы квалифицированных кадров предприятий электро- и теплоэнергетики**; • Расширение **обязательных мер мотивации** сотрудников, с целью удержания в отрасли опытных специалистов; • Внедрение механизма, позволяющего **консолидировано собирать и направлять потребность в обучении специалистов** в соответствующие ФОИВ, с целью создания достаточного количества мест в вузах по дефицитным специальностям; • Стимулирование компаний и вузов к **расширению программ целевого обучения** с условием последующей обязательной отработки для обучающихся (в том числе за счет мер поддержки – налоговые льготы и т.д.); • **Расширение программ обучения в вузах цифровыми навыками** и компетенциями, которые заявлены отраслью как необходимые к обучению. • Активизация **профессиональной общественной аккредитации или экспертизы программ обучения** отраслевыми центрами компетенций; • **Интенсификация работы с молодежными активами** в высших и средних учебных заведениях с целью привлечения молодых специалистов в отрасль; • **Расширение программ прохождения практики на предприятиях** (по продолжительности и перечню специальностей) с целью повышения вовлеченности молодежи в деятельность компаний; • **Обеспечение бесплатного доступа к онлайн-обучению**, стимулирование интереса к новым знаниям, популяризация профессии энергетика; • Введение **программы «энергоипотеки»** по аналогии с IT-ипотекой	• *Реализация **корпоративных программ взаимодействия** с образовательными организациями • Обеспечение **бесплатным для сотрудников онлайн-доступом к обучающим курсам**, с возможностью обучения вне рабочего времени и пространства; • Создания открытой **площадки обмена обучающими курсами между компаниями** и привлечения к наставничеству ветеранов-энергетиков; • **Обучение цифровым компетенциям** и тиражирование лучших цифровых практик в компании; • **Проведение мероприятий, стимулирующих интерес к изучению и применению новых знаний** (конкурсы, соревнования, конференции и др.); • **Расширение использования различных форм занятости**, обеспечение гибких условий труда.	• Средства автоматизации и роботизации рабочих мест; • Цифровые решения, направленные на повышение производительности труда (ИИ, IoT и т.д.); • Цифровые ассистенты для персонала (системы поддержки принятия решений, чат боты, доступ к нейросетям и т.д.); • Внедрение цифровых решений для повышения безопасности и охраны труда (в т.ч. машинное зрение); • Внедрение инструментов «геймификации» для повышения вовлеченности и решения производственных задач; • Цифровая платформа карьерного развития как инструмент удержания молодых специалистов.

Примечание: * – меры, синхронизированные с решением задачи «Привлечение и удержание квалифицированных кадров, обеспечение профессионального развития персонала» в рамках Плана реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года.

Таблица 2.5.9. Приоритетные меры по ответу на вызов «Риск обеспечения кибербезопасности (информационной и технологической) энергетической инфраструктуры»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
• *Заключение с организациями ТЭК **соглашений о взаимодействии по вопросам обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак** и угроз информационной безопасности; • **Формирования единой методики оценки уровня безопасности КИИ**, координации действий при инцидентах, для снижения рисков обеспечения информационной безопасности в соответствии с требованиями регуляторов; • Разработка с учетом отраслевой специфики показателя, характеризующего текущее **состояние защиты информации от базового уровня угроз безопасности информации**; • Разработка с учетом отраслевой специфики показателя, который определяет **достаточность и эффективность проведения мероприятий по защите информации**; • Создание централизованного **реестра рекомендованных СЗИ** для использования в ТЭК; • Внедрение механизма **страхования киберрисков**, где страховой тариф зависит от уровня защищенности компании; • **Внедрение классификации систем по критичности** и применение к ним разных требований по безопасности; • Проработка введения защищенной статьи в тарифе на **финансирование ИБ**; • Разработка **механизма защиты инвестиций для создания комплексной системы ИБ** для тарифно-регулируемых компаний, являющихся субъектами КИИ.	• **Комплектование квалифицированными кадрами и обеспечение техническими средствами подразделений**, обеспечивающих качественную защиту КИИ; • Оптимизация организационной системы управления информационной безопасностью; • Формирование и поддержка актуального **перечня сертифицированных средств**, рекомендованных к применению на объектах ТЭК; • Формирование **единых учебных курсов и требований к обучению специалистов** субъектов ТЭК в части обеспечения безопасности КИИ; • Создание **доверенной среды по обмену знаниями** и опытом отражения атак и противодействия агрессии; • **Внедрение культуры по безопасности** среди персонала.	• Технические системы управления информационной безопасностью; • Доверенные программно-аппаратные комплексы; • Цифровые решения, поддерживающие высокий уровень квалификации в области ИБ.

Примечание: * – меры, синхронизированные с решением задачи «Обеспечение безопасности и антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса» в рамках Плана реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года.

Таблица 2.5.10. Приоритетные меры по ответу на вызов «Адаптированность к климатическим изменениям»

Развитие рамочных условий цифровой трансформации: регуляторные и финансовые меры	Изменения культуры управления и взаимодействия, развитие новых бизнес-моделей	Приоритизация и поддержка внедрения цифровых решений
• *Разработка **сценарных прогнозов выбросов парниковых газов** в электроэнергетической отрасли России до 2050 года; • *Разработка предложений по **гармонизации подходов по учету, оценке и регулированию обращения углеродных единиц** в соответствии с требованиями стран межгосударственного объединения БРИКС и иных стран; • Создание **регуляторных механизмов поощрения мероприятий, позволяющих сократить углеродный след**: налоговые льготы, преференции на рынке и проч.; • **Развитие рынка торговли «зелеными» сертификатами**, в том числе, с использованием технологий распределенного реестра. • **Создание систем риск-ориентированного подхода**, стимулирующих инвестиции в механизмы адаптации к изменению климата.	• Внедрение технологий улавливания и утилизации выбросов парниковых газов (CCUS); • Внедрение цифровых решений для повышения ресурсосбережения и энергоэффективности; • Внедрение цифровых решений для сокращения выбросов ПГ и загрязняющих веществ, в том числе, имплементация во внедряемые цифровые двойники оборудования; • Использование систем прогнозирования и сценарирования для **определения вероятности и последствий изменения климата на инфраструктуру и ее надежность**, а также сценариев реагирования.	• Цифровые системы мониторинга экологических показателей; • Виртуальные электростанции; • Решения по управлению режимом работы энергосистем, обеспечивающие эффективное балансирование ВИЭ-генерации; • Интеллектуальные системы прогнозирования, в том числе для ВИЭ и диагностики оборудования.

Примечание: * – меры, синхронизированные с решением задачи «Снижение эмиссии парниковых газов наименее затратным способом путем проведения мероприятий, проводимых организациями топливно-энергетического комплекса, и адаптация к изменениям климата, обеспечивающая повышение устойчивости функционирования объектов топливно-энергетического комплекса, при условии достижения экономической эффективности указанных мероприятий в целях сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации» в рамках Плана реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года.

Положения актуализированной Стратегии синхронизированы с основными стратегическими документами планирования (рис. 2.5.4).

Эффекты реализации Стратегии для различных групп стейкхолдеров компании электроэнергетики (работники и руководство, акционеры и инвесторы, клиенты (потребители), отраслевой регулятор и другие государственные органы) приведены в таблице 2.5.11.



Рис. 2.5.4. Место Стратегии среди документов планирования



Таблица 2.5.11. Эффекты реализации Стратегии для групп стейкхолдеров

Группа стейкхолдеров	Эффекты
Работники и руководство	• Повышение квалификации и развитие компетенций • Внедрение цифровых решений (ИИ, IoT, робототехника) потребует переобучения персонала, но также откроет возможности для освоения новых профессий (специалист по ИИ-этике, дизайнер энергетических сервисов и др.). • Улучшение условий труда • Автоматизация рутинных и опасных операций, внедрение гибких форм занятости, цифровых ассистентов и систем поддержки принятия решений снизят нагрузку на персонал. • Рост мотивации и удержание кадров • Внедрение программ карьерного развития, «энергоипотеки», геймификации, а также доступ к онлайн-обучению повысят привлекательность работы в отрасли. • Улучшение корпоративных практик управления • Переход от иерархических структур к гибким моделям взаимодействия, внедрение стратегического партнерства и цифровых платформ улучшат климат в организациях.
Акционеры и инвесторы	• Повышение экономической эффективности • Внедрение цифровых решений (цифровые двойники, предиктивная аналитика) снизит операционные затраты, уменьшит риски простоев и аварий. • Новые возможности для роста бизнеса • Развитие новых бизнес-моделей (услуги по энергоэффективности, системы накопления энергии, микрогенерация, майнинг, ЦОД) откроет дополнительные источники дохода. • Снижение регуляторных и климатических рисков • Внедрение мер по адаптации к изменению климата, кибербезопасности и соблюдению экологических требований повысит устойчивость компаний. • Поддержка со стороны государства • Финансовые механизмы (СПИК, венчурное финансирование, налоговые льготы) и регуляторные послабления (упрощение ТП, легализация майнинга) создадут благоприятную среду для инвестиций.

Клиенты (потребители)	• Повышение качества и надежности услуг • Внедрение интеллектуальных систем учёта, прогнозирования и управления спросом улучшит стабильность энергоснабжения. • Расширение спектра услуг и персонализация • Появятся новые сервисы: гибкие тарифы, бонусные программы, услуги по энергоаудиту, аренде систем накопления энергии, возможность участия в энергорынках (просьюмеры). • Повышение экологической ответственности • Развитие «зелёной» энергетики, внедрение ВИЭ, торговля «зелёными» сертификатами и снижение углеродного следа повысят привлекательность компаний для экологически ориентированных потребителей. • Улучшение взаимодействия • Цифровые платформы, интеллектуальные ассистенты и единые источники данных сделают взаимодействие с компаниями более прозрачным и комфортным.
Отраслевой регулятор (государство)	• Повышение устойчивости энергосистемы • Внедрение риск-ориентированного подхода, систем мониторинга и кибербезопасности снизит риски аварий и внешних угроз. • Стимулирование инноваций и цифровизации • Создание центров компетенций, полигонов для тестирования решений, репозиториев данных и механизмов венчурного финансирования ускорит технологическое развитие отрасли. • Выполнение климатических обязательств • Развитие регуляторной базы для учёта углеродного следа, поддержка ВИЭ и CCUS поможет достичь национальных и международных экологических целей. • Социально-экономический эффект • Поддержка программ обучения, целевой подготовки кадров, социального партнёрства и «энергоипотеки» повысит качество человеческого капитала и социальную стабильность в регионах.



2.5.5. Мониторинг реализации Стратегии

Для отслеживания отраслевой динамики цифровой трансформации электроэнергетики предлагается набор количественных критериев эффективности реализации Стратегии (рис. 2.5.5). Они позволяют отследить эффекты повышения цифровой зрелости, уровня цифровизации взаимодействия с потребителями и работниками, расширения использования цифровых инструментов в производственной деятельности, развития цифровых компетенций, использования искусственного интеллекта и др. Свод показателей по отрасли может проводиться путем вычисления средневзвешенного значения по выручке за отчетный год или по среднегодовому числу работников за отчетный год.

СТРАТЕГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

Цифровая зрелость и импортозамещение: Оценка готовности организации к изменениям и способность эффективно использовать отечественные технологии и решения для достижения бизнес-целей.

Технологии искусственного интеллекта: Внедрение ИИ и машинного обучения для автоматизации процессов, принятия решений и повышения качества услуг.

Роботизация: Использование RPA и физических роботов для оптимизации рутинных и опасных операций.

Скорость появления и внедрения решений: Средний срок перехода от MVP к промышленным образцам

ИНФРАСТРУКТУРА И ДАННЫЕ

Кибербезопасность: Обеспечение защиты информационных систем, данных и критической инфраструктуры от киберугроз.

Управление данными: Создание архитектуры, процессов и политик для сбора, хранения, обработки и анализа больших объемов данных.

Использование цифровых инструментов: Широкое внедрение современных программных решений для повышения производительности труда сотрудников.

КУЛЬТУРА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Цифровизация взаимодействия: Оптимизация коммуникаций и совместной работы с клиентами, партнерами и внутри компании.

Цифровые компетенции: Развитие навыков и знаний сотрудников, необходимых для работы в цифровой среде и освоения новых технологий.

Снижение травматизма: Применение цифровых решений (например, IoT, VR) для мониторинга условий труда и предотвращения инцидентов.

Удовлетворенность ИТ-решениями: Измерение эффективности использования внедренных информационных систем конечными пользователями.

Рис. 2.5.5. Критерии эффективности реализации Стратегии

Для оценки цифровой зрелости отдельной компании предлагается методика оценки цифровой зрелости (рис. 2.5.6). Методика разработана с учетом опыта РАНХиГС, ФНС, Банка России и др. организаций.



Рис. 2.5.7. Структура методики оценки цифровой зрелости компании электроэнергетики

Она может применяться при принятии управленческих решений, а также для оценки деятельности по цифровизации отдельных функциональных направлений (процессов) и в целом по группе компаний. Методика позволяет провести оценку цифровой зрелости по следующим направлениям:

- Управление и организационная структура
- Цифровизация процессов
- Технологии
- Управление данными
- Архитектура и инфраструктура
- Цифровые продукты и сервисы
- Кадры и культура

Критерии эффективности реализации Стратегии синхронизированы с методикой оценки цифровой зрелости.

Также проект Стратегии включает отраслевую карту бизнес-процессов и предложения по деятельности Ассоциации «Цифровая энергетика» как отраслевого центра компетенций в области цифровой трансформации.



2.6. ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»: ОТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ К АРХИТЕКТУРНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ИТ-ЛАНДШАФТОМ

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПОЛИТИКУ КОМПЛЕКСНОЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ РЕАЛИЗУЮТ ОРГАНЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ И КРУПНЕЙШИЕ ОТРАСЛЕВЫЕ КОМПАНИИ.

Ключевыми драйверами преобразований являются необходимость обеспечения технологического суверенитета, рост требований к надёжности и прозрачности процессов, а также динамика взаимодействия участников рынка. Индустриальный центр компетенций «Электроэнергетика» (ИЦК) стал центральной площадкой для консолидации усилий государства, энергетических компаний и разработчиков ПО. В статье представлен целостный обзор эволюции деятельности ИЦК: от формирования портфеля проектов и проведения демо-дней до системной работы по созданию отраслевого ИТ-ландшафта как архитектурного каркаса цифровой энергетики.

2.6.1. Вызовы и контекст цифровой трансформации

Российский ИТ-рынок электроэнергетики переживает переломный момент. Уход зарубежных вендоров открыл уникальное окно возможностей для отечественных разработчиков. Однако отсутствие скоординированных действий и единых архитектурных принципов создаёт риск формирования «лоскутной» цифровой среды, где множество разрозненных решений развиваются автономно и плохо интегрируются между собой.

Кроме архитектурных и интеграционных вызовов, важной задачей ИЦК является преодоление скептического отношения к отечественному ПО со стороны потенциальных заказчиков. Многие компании до сих пор рассматривают российские решения как временную меру, что связано с недостатком референсов, слабой интеграционной готовностью и проблемами технической поддержки. Формирование единого ИТ-ландшафта и проведение демо-дней с выездом на реальные объекты позволяют наглядно демонстрировать зрелость и надёжность отечественных разработок.

Для базовой инфраструктурной отрасли эти риски критичны. Цифровые решения напрямую влияют на надёжность энергоснабжения, безопасность объектов, устойчивость рынков и экономическую эффективность. В этих условиях индустриальные центры компетенций становятся не просто проектными механизмами, а точками сборки отраслевой цифровой повестки.

2.6.2. ИЦК «Электроэнергетика»: миссия и портфель проектов

Индустриальный центр компетенций «Электроэнергетика» создан как отраслевой механизм координации цифровой трансформации электроэнергетического комплекса Российской Федерации. Его ключевая задача — обеспечить переход от точечного импортозамещения отдельных ИТ-решений к формированию устойчивой, совместимой и тиражируемой цифровой экосистемы отрасли.

По состоянию на конец 2025 года портфель ИЦК включает **10 особо значимых проектов (ОЗП)** первой и второй очереди общей стоимостью более **12 млрд рублей**, реализуемых за счёт собственных средств участников. Шесть проектов находятся в стадии реализации, четыре — завершены. Ключевая особенность портфеля — его сквозной характер. Проекты охватывают всю цепочку создания стоимости: генерацию, сетевой комплекс, сбыт, системного оператора и рыночную инфраструктуру. Такой подход позволяет не только замещать иностранные решения, но и целенаправленно устранять фрагментацию отраслевого ИТ-ландшафта.

Таблица 2.6.1. Портфель особо значимых проектов ИЦК «Электроэнергетика»

Наименование проекта	Якорный заказчик	Направление	Срок реализации	Статус
Платформа технологического управления РС-20	ПАО «Россети»	Интеграция, CIM-модель	2026	В реализации
Электроэнергетика. СУПА / ТОиР	ПАО «Интер РАО»	Управление активами	2027	В реализации
Электроэнергетика. Биллинг	ПАО «Интер РАО»	Расчеты, балансы	2027	В реализации
Цифровой двойник	ПАО «Т Плюс»	Моделирование	2030	В реализации
Система предиктивной аналитики	АО «Концерн Росэнергоатом»	Аналитика	2027	В реализации
Интеллектуальный мониторинг трубопроводов	АО «ЦБОП»	Предиктивная аналитика	2025	Завершён
Система управления фондами и активами	ПАО «РусГидро»	СУПА	2026	В реализации
Электроэнергетика. Мобильный обходчик	ПАО «Интер РАО»	ТОиР	2024	Завершён
Электроэнергетика. ИВК ИСУ	ПАО «Интер РАО»	Учет электро-энергии	2024	Завершён
Система контроля состояния ГТС	ПАО «РусГидро»	Диагностика	2025	Завершён

Расширенное описание ключевых проектов

Электроэнергетика. Биллинг

Якорный заказчик: ПАО «Интер РАО».

Разработчик: АО «СИГМА».

Проект направлен на импортозамещение и унификацию биллинговых систем для расчётов на розничном рынке. Реализованы функции расчёта потребления, договорной работы и расчётов с потребителями. Находится в стадии поэтапного тиражирования в группе «Интер РАО» и рассматривается для масштабирования в ПАО «Россети». Ключевые эффекты — снижение совокупной стоимости владения, унификация моделей и повышение устойчивости расчётных процессов.

Интеллектуальная система учёта (ИВК ИСУ)

Якорный заказчик: ПАО «Интер РАО».

Разработчик: АО «СИГМА».

Обеспечивает автоматизированный сбор, хранение и обработку данных с приборов учёта. Интегрирована с биллинговыми и сервисными системами. Внедрена в 13 сбытовых активах группы «Интер РАО». Потенциал масштабирования — более 15 млн интеллектуальных приборов учёта к 2030 году.

Система управления производственными активами (СУПА / ТОиР)

Якорный заказчик: ПАО «Интер РАО».

Разработчик: АО «СИГМА».

Охватывает полный жизненный цикл активов: паспортизацию, оценку технического состояния, планирование ТОиР, управление дефектами и запасами. Внедряется на более чем 40 энергообъектах и формирует единый отраслевой подход к управлению активами в генерации.

Система управления фондами и активами (ИС УФАП)

Якорный заказчик: ПАО «РусГидро».

Разработчик: отечественные разработчики.

Проект направлен на создание импортозамещённой системы управления техническим обслуживанием, ремонтами и надежностью активов для гидро- и теплоэнергетики. Решение охватывает единый контур управления активами, включая модули ТОиР, электронной технической документации (ЭТД), контрольно-надзорной деятельности (КНД), промышленной безопасности (ПБ), охраны окружающей среды (ООС) и оценки технического состояния (ОТС).





Ключевые модули уже переведены в промышленную эксплуатацию, ведется тиражирование на филиалы и дочерние общества. Эффекты включают оптимизацию процессов ТОиР, снижение аварийности и эксплуатационных затрат.

Мобильный обходчик

Якорный заказчик: ПАО «Интер РАО».

Разработчик: АО «СИГМА».

Мобильное решение для цифровизации обходов и осмотров оборудования. Поддерживает маршрутизацию, сбор данных, фотофиксацию и интеграцию с системами ТОиР. Завершён и используется на 22 электростанциях (более 1,5 тыс. маршрутов). Готов к тиражированию.

Информационно-диагностическая система контроля состояния ГТС

Якорный заказчик: ПАО «РусГидро».

Разработчик: отечественные разработчики.

Система для автоматизированного мониторинга гидротехнических сооружений. Повышает уровень безопасности эксплуатации. Рассматривается для тиражирования на объектах гидрогенерации и иной инфраструктуры. Проект завершен, демонстрирует потенциал для применения на других предприятиях ТЭК и за рубежом.

НОВОЛЁТ-ФОРТ (интеллектуальный мониторинг трубопроводных сетей)

Якорный заказчик и разработчик:
АО «ЦБОП».

Реализует мониторинг на основе корреляционного анализа шумов и вибраций для выявления утечек и дефектов. В ходе эксплуатации достигнуто снижение ложных срабатываний более чем в 50 раз. Потенциал применения — энергетические и коммунальные сети.

Платформа технологического управления РС-20

Якорный заказчик: ПАО «Россети».

Разработчик: АО «Россети АСТУ».

Интеграционная платформа, реализующая единую CIM-модель электроэнергетического комплекса. Обеспечивает интеграцию ИТ-систем, однократный ввод данных и связанность информации. Прошла опытно-промышленную эксплуатацию и рассматривается как ключевой элемент унификации ИТ-ландшафта сетевого комплекса.

Цифровая станция (цифровой двойник генерации)

Якорный заказчик: ПАО «Т Плюс».

Разработчик: ООО «ИТ Плюс».

Направлен на создание цифрового двойника ТЭС, включающего моделирование, прогнозирование состояния, оптимизацию режимов и обучение персонала. Находится в промышленной эксплуатации. В 2025–2026 гг. оценивается экономическая эффективность.

Система предиктивной аналитики состояния оборудования АЭС

Якорный заказчик: АО «Концерн Росэнергоатом».

Разработчик: АО «ВНИИАЭС».

Система для раннего выявления отклонений в работе оборудования энергоблоков АЭС. В ходе опытной эксплуатации выявлено 10 аномалий, потенциально свидетельствующих о дефектах. Демонстрирует значительный эффект в повышении безопасности и надёжности.

2.6.3. Демо-дни ИЦК как инструмент управления отраслевыми приоритетами

За несколько лет своего проведения демо-дни ИЦК «Электроэнергетика» эволюционировали от презентационной площадки в полноценный управленческий инструмент, влияющий на формирование отраслевых цифровых приоритетов. Их значение существенно шире, чем демонстрация результатов или обмен опытом.

В рамках демо-дней осуществляется:

- публичная фиксация статуса реализации особо значимых проектов;
- экспертное обсуждение выявленных проблем и ограничений цифровизации;
- сопоставление отраслевых потребностей с возможностями рынка отечественного ПО;
- формирование предложений по актуализации перечня ОЗП и «белых пятен» ИТ-ландшафта.

Особую роль демо-дни играют как площадка обратной связи между заказчиками, вендорами и регуляторами. Именно здесь выявляются избыточные или дублирующие функциональные требования, формируются запросы на унификацию и стандартизацию, а также определяется потенциал отраслевого и межотраслевого тиражирования решений.

Эволюция формата демо-дней:

- **2023 год, Москва:** презентация ОЗП проектов и проектов разработчиков ПО, формирование пула проектов и разработчиков ПО.
- **2024 год, Москва и Иннополис:** расширение за счёт кросс-отраслевых дискуссий и тематических панельных дискуссий.
- **2025 год** — новые форматы проведения демо-дней:

Объединённый демо-день ИЦК (апрель 2025 года)

Весной 2025 года был проведён **объединённый демо-день индустриальных центров компетенций «Электроэнергетика», «ЖКХ» и «Строительство»**. Это мероприятие стало важным этапом развития формата демо-дней и вывело обсуждение цифровых решений на межотраслевой уровень.

Ключевой акцент объединённого демо-дня был сделан на вопросах совместимости цифровых решений, возможности их тиражирования между инфраструктурными отраслями, а также на формировании единых подходов к архитектуре, данным и интеграции. Впервые ИЦК рассматривались не как изолированные отраслевые контуры, а как элементы единого цифрового пространства инфраструктурных отраслей.

По итогам объединённого демо-дня были зафиксированы направления для дальнейшей синхронизации отраслевых ИТ-ландшафтов, а также обозначена необходимость усиления архитектурной роли ИЦК.

Отраслевой демо-день ИЦК «Электроэнергетика» в Удомле (октябрь 2025 года)

Демо-день ИЦК «Электроэнергетика», прошедший осенью 2025 года в г. Удомля, стал принципиально новым этапом развития формата. **Впервые в программу мероприятия было включено посещение действующей производственной площадки — Калининской АЭС**.

Участники демо-дня получили возможность ознакомиться с практикой эксплуатации цифровых решений непосредственно на объекте критической инфраструктуры, увидеть реальные сценарии применения системы планирования, мониторинга и прогнозирования длительности ремонтов в условиях повышенных требований к надёжности и безопасности.

Связка «обсуждение проектов — выезд на промышленный объект» позволила перевести диалог из плоскости презентаций в плоскость прикладной экспертизы, а также наглядно продемонстрировать зрелость отечественных ИТ-решений и их готовность к промышленной эксплуатации.

Таким образом, демо-дни ИЦК в 2025 году зафиксировали переход от демонстрации отдельных решений к формированию управленческого и архитектурного инструмента развития отрасли. Именно в рамках демо-дней стало очевидно, что дальнейшее развитие ИЦК невозможно без общей архитектурной рамки.

2.6.4. Почему ИТ-ландшафт стал ключевой задачей ИЦК

Реализация первых ОЗП выявила системные ограничения: дублирование функционала, сложности интеграции решений, отсутствие сопоставимых архитектур и объективных механизмов оценки зрелости ПО. Дополнительным фактором стали **требования Минцифры России**, закрепившие необходимость актуализации ИТ-ландшафтов ИЦК как основы формирования приоритетов и отбора новых проектов. В июне 2025 года Минцифры направило официальный запрос в отраслевые ИЦК с требованием актуализировать ИТ-ландшафты, сформированные ИЦК в 2024 году, на основе методик РФРИТ.

Ключевой целью формирования отраслевого ИТ-ландшафта является переход от изолированной разработки схожих решений к кооперационной модели. Без единых архитектурных принципов и стандартов рынок рискует остаться фрагментированным, где десятки похожих систем не достигают необходимой глубины проработки и плохо интегрируются между собой. ИТ-ландшафт позволяет выявить дублирующий функционал, определить «белые пятна» и сфокусировать усилия на создании универсальных, тиражируемых решений.

Таким образом, ИТ-ландшафт стал не инициативой отдельных компаний, а обязательным инструментом отраслевого управления цифровым развитием. Как подчеркивает заместитель генерального директора ПАО «Россети», заместитель председателя ИЦК «Электроэнергетика» Константин Кравченко, ключевой результат ИЦК — **не количество проектов, а накопленный потенциал их переиспользования**. ИТ-ландшафт становится инструментом принятия решений, позволяющим перейти от реактивного импортозамещения к стратегическому управлению цифровым развитием отрасли.

Формирование отраслевого ИТ-ландшафта электроэнергетики: цели, задачи и результаты 2025 года

В рамках ИЦК «Электроэнергетика» разработан и актуализируется сквозной отраслевой ИТ-ландшафт, охватывающий генерацию, сети, сбыт, системного оператора и администратора торговой системы.

Цели проекта:

- формирование единого каталога отраслевых бизнес-процессов;
- выявление «белых пятен» автоматизации;
- мэппинг ОЗП на бизнес-процессы;
- создание репозитория отраслевых референтных моделей;
- разработка методологии оценки зрелости отечественного ПО.

Ключевые результаты, выполненные экспертами за 2025 год:

- сформирован порядок (методология) формирования сквозного ИТ-ландшафта ИЦК «Электроэнергетика»;
- сформированы анкета здоровья, опросные формы отраслевых ИС/ПО;
- обработана информация по всем участникам ИЦК «Электроэнергетика» для создания единого каталога бизнес-процессов;
- сформирована отраслевая карта ИС;
- найдены дополнительные сквозные бизнес-процессы, определены точки разрыва автоматизации процессов, а также процессы использования иностранного ПО;
- подготовлены предложения по классификации общеотраслевых систем, ПО, специализированных систем, специфичных для компании систем;
- опубликован отраслевой ИТ-ландшафт на сайте Ассоциации «Цифровая энергетика».

Планы развития на 2026 год

В 2026 году деятельность ИЦК «Электроэнергетика» будет сосредоточена на архитектурном и методологическом закреплении достигнутых результатов:

1. **Синхронизация:** Выравнивание ИТ-ландшафта со «Стратегией цифровой трансформации электроэнергетики РФ».
2. **Расширение охвата:** Включение в ландшафт направления «Торговля (трейдинг)».
3. **Актуализация:** Обновление перечней «белых пятен» и особо значимых проектов на основе данных ландшафта.
4. **Оценка зрелости:** Проведение оценки покрытия отраслевых потребностей российским ПО и анализ его зрелости.
5. **Работа с данными:** Формирование отраслевой карты данных как основы для внедрения аналитики и ИИ. Параллельно с развитием ИТ-ландшафта будет сформирована **отраслевая карта данных**, которая станет основой для внедрения систем предиктивной аналитики и искусственного интеллекта. Это включает:
   - разработку опросных форм для сбора метаданных,
   - свод информации от всех участников ИЦК,
   - подготовку предложений по стандартизации данных и их использованию в сквозных процессах.
6. **Система оценки:** Разработка и внедрение системы признания результатов независимого тестирования отечественных решений (ИС/ПО/Оборудования). Особое внимание будет уделено созданию **системы независимой оценки зрелости отечественного ПО**, аналогичной международным практикам (Gartner, Forrester), но адаптированной к российским отраслевым требованиям. Это позволит заказчикам объективно сравнивать решения, снизить затраты на внутреннее тестирование и ускорить внедрение. В рамках ИЦК планируется разработка критериев признания результатов тестирования ИС, ПО и оборудования.

2.6.5.ИТ-ландшафт как инфраструктура отрасли

Индустриальный центр компетенций «Электроэнергетика» прошёл путь от координации импортозамещения к формированию системы архитектурного управления. **Портфель ОЗП, демо-дни и отраслевой ИТ-ландшафт** образуют взаимосвязанную конструкцию, позволяющую переходить от разрозненных решений к целостной цифровой экосистеме.

ИТ-ландшафт — это **не ИТ-проект, а инфраструктура**, аналогичная сетям электроснабжения. Он формирует единое понятийное пространство, задает архитектурные рамки, снижает транзакционные издержки и создает основу для масштабирования решений. Этот фундамент обеспечивает условия для кооперации, повышения доверия к отечественному ПО, работы с данными, внедрения ИИ и, в конечном итоге, достижения технологического суверенитета цифровой энергетики России.

Результаты работы ИЦК «Электроэнергетика» подтверждают необходимость создания постоянно действующего **Отраслевого центра компетенций по архитектурному сопровождению и бизнес-процессам**. Такой центр мог бы стать оператором развития ИТ-ландшафта, координатором методологических работ и платформой для накопления экспертизы. Это не просто техническая задача, а стратегическая необходимость для построения целостной, безопасной и конкурентоспособной цифровой экосистемы российской энергетики.

2.7. ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ АССОЦИАЦИЕЙ В 2025 ГОДУ

Дата	Мероприятие
23–24 января	Стратегическая сессия Ассоциации «Цифровая энергетика» по формированию отраслевого заказа роботизации в ТЭК
7 февраля	Форум «Робототехника, интеллект машин и механизмов»
6–7 февраля	Конференция «CIM в России и мире»
11 февраля	Форум «Технологии и безопасность»
13 февраля	Форум цифровой трансформации (Неделя российского бизнеса)
4–5 марта	XIII конференция «Информационная безопасность АСУ ТП критически важных объектов»
5 марта	Конференция «АКПО Конф»
26 марта	Деловой завтрак «Россия на электротяге: контуры автомобильного будущего»
9–11 апреля	Российский международный энергетический форум
14 апреля	Конгресс «Подмосковные вечера. Весна»
16 апреля	Конференция Data Fusion
23–24 апреля	Московский международный энергетический форум «ТЭК России в XXI веке»
28 апреля	Объединённый демо-день индустриальных центров компетенций «Электроэнергетика», «ЖКХ» и «Строительство»
22 мая	Международный киберфестиваль Positive Hack Days
2–8 июня	Конференция «Цифровая индустрия промышленной России»
16–18 июля	Объединённая конференция ИТ-служб (ОКИТ)
13–15 октября	Мероприятие, посвящённое обмену опытом по тематике SOC между компаниями — членами Ассоциации «Цифровая энергетика»
15–17 октября	Форум «Российская энергетическая неделя»
29 октября	Публичное обсуждение актуализированной стратегии цифровой трансформации электроэнергетики до 2030 г.
30 октября	Демо-день индустриального центра компетенций «Электроэнергетика»
17 ноября	Курс повышения квалификации «Руководитель компании» Группы «Интер РАО»
9 декабря	Форум EnergySpace
16 декабря	XVI Российско-Индийский Деловой Диалог
19 декабря	Конференция IoT Harvest

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПО ОЦЕНКАМ S&P GLOBAL, СДЕЛАННЫМ В КОНЦЕ 2025 ГОДА, ОСНОВНЫМИ ФАКТОРАМИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ В МИРЕ СТАНУТ РОСТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, А ТАКЖЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЕСПЕЧИТЬ РАСТУЩЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ[40].

Удовлетворение спроса на электроэнергию становится «бутылочным горлышком» на пути перехода к экономике, движимой искусственным интеллектом. Согласно прогнозам S&P Global Energy, общемировой спрос на электроэнергию со стороны ЦОД будет расти на 14% ежегодно до 2030 года, достигнув потенциального уровня более 2,2 тыс. ТВт·ч, что примерно соответствует текущему общему энергопотреблению Индии. Рост потребления такими темпами окажет влияние на всю экономику, включая планирование инфраструктуры, инвестиционные потоки, национальную политику, антропогенное воздействие на окружающую среду. Экономическая эффективность и скорость вывода ЦОД на рынок останутся ключевыми факторами при выборе источников энергоснабжения для ЦОДов, и эти два главных приоритета не всегда будут совпадать с целями устойчивого развития. Хотя, как показывает аналитика, в мире достаточно активно используют ВИЭ и СНЭ для питания ЦОД именно по причинам ускорения строительства (в среднем в два раза быстрее, чем строительство тепловой генерации). Искусственный интеллект – существенный помощник в повышении эффективности. Востребованными являются функции искусственного интеллекта, в том числе, генеративного. Это объясняется повышением уровня решений на рынке, готовностью их к внедрению, дефицитом квалифицированного персонала, потребностью в снижении издержек. Перспективные решения – управление информацией – оцифровка бумажных документов (журналов, отчетов, руководств и проч.), аудиозаписей, фото и видео, дальнейший анализ, структурирование, поиск взаимосвязей, проверка на соответствие стандартам, законодательству и т.п. Полезно при проектировании, анализе происшествий, формировании корпоративной базы знаний и т.п. Далее – предиктивная аналитика для оценки технического состояния оборудования, предотвращения аварий. Основная цель – снижение издержек, увеличение ресурса оборудования. Здесь есть несколько лидеров рынка, во многом их лидерство обеспечено наличием экспертной поддержки – ИИ находит аномалии и делает предупреждения, но выводы и рекомендации делает эксперт отрасли. В этой области есть возможности для появления новых ИТ-продуктов, если в них чистые ИИ-решения будут комбинироваться с серьезным физическим моделированием процессов. Еще одно интересное направление – использование ИИ для генерации изображений для обучения систем машинного зрения. Это позволяет создавать тысячи изображений дефектов оборудования под разными ракурсами, с засветками и т.п. – повысить качество машинного зрения. Очень востребовано при обследовании протяженных ЛЭП, контроля оборудования подстанций, наличия СИЗ, контроля периметра, особых зон на АЭС и т.п. Если говорить еще про ИИ в энергетике – это также реализация возможностей low-code для автоматизации функций в бизнес-процессах, интерпретация запросов на естественном языке в SQL-запросы для поиска в базах данных и т.п.

В конце 2025 года поставлен рекорд в части ВИЭ: совокупная установленная мощность солнечной генерации превысила 500 ГВт. Этот рост был обусловлен главным образом Китаем, на долю которого приходит-

40 https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/special-reports/energy-transition/horizons-top-cleantech-trends-2026

ся более половины мирового ввода мощностей. По прогнозам, темпы роста в 2026 году впервые сократятся по причине перехода КНР к конкурентным торгам. Хотя это сигнализирует о конце непрерывного роста, это не означает стагнацию. В ближайшие пять лет совокупная мощность фотовольтаики все равно удвоится благодаря поддержке со стороны развивающихся рынков, диверсификации в направлении накопителей и инновациям в эксплуатации и обслуживании. Отрасль сталкивается с новой динамикой — рост без гарантии постоянно увеличивающихся годовых объемов — что вынуждает к консолидации и стратегическим сдвигам. Но низкие цены на модули и внутренняя масштабируемость солнечной энергетики продолжат открывать новые рынки.

Модернизация сетей становится ключевым ограничивающим фактором для энергобезопасности, энергоперехода и конкурентоспособности. На протяжении десятилетий инвестиции в сетевую инфраструктуру во многих странах отставали от инвестиций в декарбонизацию и инновации в энергетике. Это недоинвестирование теперь стало критическим узким местом. Например, в ЕС 40% сетей старше 40 лет и они требуют увеличения инвестиций. Европейская комиссия оценивает необходимые капитальные затраты в сетевую инфраструктуру в 584 млрд евро к 2030 году, возрастающие до 1,2 трлн евро к 2040 году. США сталкиваются с собственными сетевыми проблемами. Взрывной рост ЦОДов и потребности в мощности, обусловленные развитием ИИ и облачных вычислений, создают нагрузку на устаревшие сети. Предложения по исправлению ситуации включают налоговые льготы сетевым компаниям и упрощение требований для ускорения производства оборудования. Расширение энергетики, необходимое для удовлетворения роста спроса со стороны ИИ, будет осуществляться только с той скоростью, которую позволят сети.

Китай демонстрирует, что электромобили могут быть конкурентоспособны по цене с обычными автомобилями с ДВС. Мировые продажи электромобилей, по-видимому, продолжат расти в 2026 году. По итогам 2025 года Китай стал первым крупным рынком в мире, где электромобили составят большинство новых продаж: по итогам первых трех кварталов года на электромобили (BEV) и подключаемые гибриды (PHEV) пришлось около 50% продаж новых легковых автомобилей. Это связано с тем, что в Китае электромобили достигли ценового паритета с обычными автомобилями с ДВС, чему способствовала острая конкуренция среди автопроизводителей и поставщиков. В Европе после двух лет стагнации рынок электромобилей в 2025 году подает признаки оживления. Ключевая причина — ужесточение стандартов ЕС по выбросам CO_2. В США 2026 год станет первым за последнее время, когда федеральные налоговые льготы на электромобили не будут доступны американским потребителям.



Авторский коллектив

Екатерина Байбакова

Александр Горланов

Антон Зубков

Александр Капустин

Александр Наймушин

Софья Полубарьева

Дмитрий Правиков

Эльвира Романова

Дмитрий Сигиневич

Александр Сухов

Роман Тимофейчик

Александр Шавкун