ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

АЛЬМАНАХ АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2023

АЛЬМАНАХ АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 4

ЧАСТЬ I. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ 6

1. ВВЕДЕНИЕ 8

2. ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ И ЭЛЕКТРОЗАРЯДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА 16

2.1. Основные направления развития и технологии 19

2.2. Взаимодействие с потребителем 25

2.3. Наилучшие практики по интеграции электрозарядной инфраструктуры и электротранспорта в энергосистему, а также подходы к регулированию 31

2.4. Обзор стандартов по электрозарядной инфраструктуре 50

2.5. Выводы 55

3. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНЦИЙ КАДРОВ 59

3.1. Тренды развития технологий AR/VR 61

3.2. Технологии AR/VR за рубежом 64

3.3. Расширенная реальность и цифровые двойники 68

3.4. Составляющие систем AR/VR 70

3.5. Стандарты 73

3.6. Факторы применения AR/VR в энергетике 75

3.7. Направления применения расширенной реальности в энергетическом секторе 76

3.8. Выводы 80

4. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ 84

4.1. Рынок виртуальных электростанций 86

4.3. Системы накопления энергии 90

4.4. Выводы по разделу 98

ЧАСТЬ 2. РОССИСКИЙ ОПЫТ 102

5. ВВЕДЕНИЕ 104

6. СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ 112

6.1. АО «Атомэнергопромсбыт»: Коммерческо-диспетчерский центр ветроэлектрических электростанций 112

6.2. АО «Концерн Росэнергоатом»: Предиктивная аналитика оборудования АЭС в части анализа состояния основного электротехнического и тепломеханического оборудования 115

6.3. ПАО «Т Плюс»: Программное обеспечение «Прогностика» 119

6.4. ПАО «Россети Центр»: Система прогнозирования вероятности неучтённого потребления электроэнергии по точкам учёта — программный комплекс «Радар» 121

7. ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ И КОНТРАГЕНТАМИ 124

7.1. ПАО «Россети Московский регион»: Виртуальный диалоговый офис взаимодействия с клиентами 124

7.2. Компания «ГлоуБайт»: Оптимизация сбора дебиторской задолженности в энергосбытовых компаниях на базе решения CM.Ocean.Умная ДЗ с применением методов машинного обучения 127

8. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ 130

8.1. ООО «Геларм»: ПО Gelarm Infrastructure Management System (GIMS). Система контроля состояния объектов инфраструктуры 130

8.2. ООО «СИГМА»: Программно-аппаратный комплекс для управления электрозаправочными станциями 135

8.3. АО «Концерн Росэнергоатом»: Центр принятия решений. «Визитная карточка» Концерна 138

9. СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ 140

9.1. ПАО «Россети Московский регион»: Организация цифрового дистанционного управления оборудованием и устройствами РЗА электрических распределительных устройств подстанций распределительных электрических сетей 140

9.2. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Интеллектуальная система релейной защиты и автоматики энергосистем 143

9.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Развитие технологий РЗА в перспективе до 2050 года 146

10. СИСТЕМЫ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, УПРАВЛЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ 149

10.1. ООО «СИГМА»: Система сбора и хранения информации с измерительных устройств и комплексов, оснащённых цифровыми интерфейсами для обмена данными (СИГМА: ССПТИ) 149

10.2. ООО «Диджитал Спирит»: ПО Закрома Объектное Хранение. Электронный архив 152

11. СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕЙ, УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ПЕРСОНАЛА 155

11.1. ПАО «Т Плюс»: Мониторинг повреждения тепловых сетей 155

11.2. ООО «ИТ Плюс»: МИиМ — мобильные инспекции и мониторинг 157

11.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Система информационной поддержки оперативного персонала энергообъектов на базе применения технологий дополненной реальности ПТК «Умный вид 2.0» 160

12. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ, СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ 163

12.1. АО «Россети Управление имуществом»: ИЛЦС — интеллектуальная лаборатория цифровых сетей 163

12.2. ПАО «Россети Урал»: Система управления дополнительным профессиональным образованием «Россети.Знания» 166

12.3. АО «Россети Янтарь»: Применение технологий дополненной реальности и VR-тренажёров для обучения и повышения квалификации производственного персонала электросетевых компаний 169

12.4. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: ПАК РВ «Цифровой двойник энергосистемы» и облачная платформа предоставления цифровых сервисов на его основе 171

12.5. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: САПР «ng.Grace» на базе применения методов искусственного интеллекта для проектирования РЗА и АСУ ТП 174

12.6. АО «Концерн Росэнергоатом»: Создание полнофункционального тренажёра для обучения персонала АЭС с применением технологии виртуальной реальности 177

12.7. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Цифровая трансформация образования в электроэнергетике. Опыт подготовки кадров 180

13. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ 182

13.1. «Лаборатория Касперского»: Решения для выполнения требований регуляторов по защите объектов критической информационной инфраструктуры 182

13.2. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Роль и место международных стандартов в разработке технологий доверенных и технологически независимых программно-аппаратных комплексов объектов критической информационной инфраструктуры электроэнергетики 185

13.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Системы искусственного интеллекта в вопросах управления устойчивостью функционирования высокоавтоматизированных объектов электроэнергетики 189

14. ВНЕДРЕНИЕ ОБЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ СТАНДАРТОВ CIM В ЕЭС РОССИИ 191

14.1. АО «СО ЕЭС»: CIM в задачах планирования и перспективного развития электроэнергетических систем 191

14.2. АО «Концерн Росэнергоатом»: Опыт внедрения общей информационной модели 196

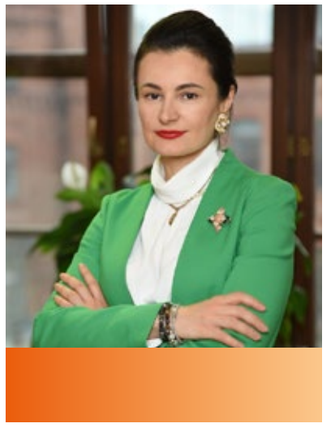
15. ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПО КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ 198

16. ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПРОВЕДЁННЫЕ АССОЦИАЦИЕЙ В 2023 ГОДУ 201

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 203

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

Т.А. Меребашвили



Окончание года — это всегда подходящее время для того, чтобы подвести итоги. В 2022 году часто звучал тезис, что России и её энергетической отрасли необходимо как можно быстрее приспособиться к тем кардинальным изменениям, через которые проходит мир, и выработать новую стратегию развития для новой парадигмы.

Сейчас мы видим, что среда, в которой мы существуем, действительно изменилась резко и бесповоротно. Но также стало ясно, что российской энергетике удалось верно определить основные вызовы и ключевые направления работы. Приоритетными задачами остались достижение технологического суверенитета и обеспечение информационной безопасности. Без их выполнения успешная цифровая трансформация российской электроэнергетики невозможна.

Альманах лучших цифровых практик Ассоциации «Цифровая энергетика» призван стать подспорьем в этом процессе для всех субъектов электроэнергетики РФ, участвующих в цифровой трансформации.

Консолидация отраслевых усилий — одна из главных целей деятельности Ассоциации — сейчас особенно актуальна. Тем более внимательно следует присматриваться к лучшим отечественным решениям, для популяризации которых и создан альманах. В издание вошли отобранные экспертами Ассоциации инновационные практики, пригодные для масштабирования в отрасли.

При этом стремление энергетики к технологической самодостаточности и даже уход с российского рынка многих иностранных производителей оборудования и программного обеспечения ни в коем случае не означают отказ от анализа зарубежных практик. Цифровизация — это глобальный тренд, и без тщательного изучения передового опыта нельзя достичь импортонезависимости, тем более — конкурентоспособности на мировом рынке. Международный опыт нашёл отражение в альманахе: в него вошли наиболее перспективные решения по таким направлениям, как развитие цифровых компетенций персонала, электромобильность, «умные» сети, виртуальные электростанции и так далее.

Это уже третье издание ежегодного альманаха. Первое вышло с осторожным заделом на добрую традицию, второе сумело подтвердить статус настольной книги участника цифровой трансформации. Мы надеемся, что третье издание также сможет быть полезным и не разочарует читателя.

Обращение директора
Ассоциации «Цифровая энергетика»
А.А. Хвалько

Новые экономические условия ставят серьёзные вызовы перед энергетической сферой России, и Ассоциация «Цифровая энергетика» меняется, развивается, трансформируется вместе с отраслью, отвечая на её наиболее острые запросы.

В этом году на базе Ассоциации был открыт Центр экспертизы по вопросам информационной безопасности в энергетике (Энерго ЦИБ). Центр создан под началом Минэнерго России для выработки мер по противодействию кибератакам на объекты критической информационной инфраструктуры. Предполагается, что он станет единой отраслевой площадкой для формирования стандартов ИБ, наработки необходимых навыков персонала и повышения осведомлённости компаний в вопросах информационной безопасности.

Важным событием стал запуск Центра содействия развитию электротранспорта. Электромобильность — это объективное будущее транспорта, его завтрашний день и новая норма. Задача Ассоциации — найти наилучший, выигрышный путь в этот завтрашний день и сформировать пространство отраслевого сотрудничества, в котором энергетические компании, научное сообщество, автопроизводители, бизнес и государственные регуляторы смогут эффективно взаимодействовать для развития российской электромобильности.

Продолжается работа во взаимодействии с индустриальными центрами компетенций, созданными по решению Правительства Российской Федерации для формирования импортозамещённого ИТ-ландшафта российской промышленности и укрепления технологического суверенитета нашей страны.

Сотрудничество и взаимодействие — важные слова для Ассоциации. В этом году мы разработали и запустили механизм Ассоциированного членства, который даёт возможность получать консультативную и методическую помощь в вопросах цифровизации, участвовать в жизни Ассоциации без присутствия в составе её органов управления.

Отклик отрасли показал, что такой формат партнёрства востребован, компании заинтересованы в том, чтобы координировать усилия по цифровой трансформации и активно обмениваться опытом в рамках единой площадки. Первым Ассоциированным членом стала крупная теплоэнергетическая компания «Т Плюс», сейчас прорабатывается вступление ещё нескольких кандидатов.

Свидетельством о проделанной работе является и сам альманах лучших цифровых практик. Его содержание — это плоды деятельности Ассоциации «Цифровая энергетика» за целый год, результаты многих заседаний экспертных групп, круглых столов на конференциях, кропотливой аналитической работы. В то же время, альманах — это не только сумма деятельности одной лишь Ассоциации, а показатель развития всей электроэнергетической отрасли России, срез прогресса и отчёт о достижениях в важнейшей сфере жизни нашей страны.

Как и сама Ассоциация, альманах год от года растёт экстенсивно и интенсивно, оставаясь актуальной поддержкой в реализации цифровой трансформации российской электроэнергетики.

ПРЕДИСЛОВИЕ

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ! ПЕРЕД ВАМИ УЖЕ ТРЕТИЙ ВЫПУСК ЕЖЕГОДНОГО АЛЬМАНАХА АССОЦИАЦИИ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА». ТРАДИЦИОННО АЛЬМАНАХ ВКЛЮЧАЕТ ДВА КРУПНЫХ РАЗДЕЛА, ОБОБЩАЮЩИХ МЕЖДУНАРОДНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ПО АКТУАЛЬНЫМ ТЕМАТИКАМ.

В первом выпуске альманаха, вышедшем в 2021 году, мы продолжили работу, начатую при подготовке Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года. В него вошли исследования, посвящённые общему ландшафту цифровизации электроэнергетики наиболее передовых в этом отношении стран мира: США, государств Азиатско-Тихоокеанского региона и Ближнего Востока. Также были затронуты актуальные для достижения ключевых показателей Стратегии вопросы повышения цифровых компетенций, оценки цифровой зрелости и изменений на рынках труда, происходящих под влиянием цифровой трансформации.

Во втором выпуске альманаха анализ международного опыта был сфокусирован на применении искусственного интеллекта в электроэнергетике: технологиях анализа больших данных и машинного обучения, цифровых двойниках, машинном зрении, решениях в области интернета вещей. В российскую часть альманаха традиционно вошли описания цифровых проектов электроэнергетических компаний, при этом был обновлён статус проектов, ключевых для отрасли. Кроме того, в альманахе появилась актуальная информация по отраслевым подходам к обеспечению информационной и кибербезопасности.

В настоящем выпуске мы хотели исследовать технологические тенденции, которые сформируют облик электроэнергетики в ближайшем будущем. По данным Международного энергетического агентства, мировой рост потребления электроэнергии в 2022 году составил 2%, чему способствовала дальнейшая электрификация транспорта и климатических установок[1]. Электромобильность развивается бурными темпами почти во всём мире, однако основным локомотивом является КНР, где на середину 2023 года было зарегистрировано 13,1 млн пассажирских электромобилей (порядка 4% от общего количества автомобилей). Для сравнения, в России на середину 2023 года зарегистрировано порядка 26 тыс. электромобилей, что составляет 0,06% от общего количества автомобилей. Однако по сравнению с предыдущим годом, в 2023 году в России было продано в 4,4 раза больше электромобилей, что подтверждает и поддерживает общемировой тренд на развитие электрической мобильности[2].

Появление в энергосистеме новой нагрузки в виде большого числа хаотически заряжающихся электромобилей порождает вызовы для компаний электроэнергетики: необходимо планировать развитие генерации и сетей с учётом этого фактора, балансировать спрос и предложение. В то же время, электрозарядная инфраструктура, а также энергетические сервисы в экосистеме электромобильности являются источниками новых бизнес-моделей и возможностями для роста выручки. Как показывает мировой опыт развития электрозарядной инфраструктуры, рассмотренный в настоящем альманахе, ключевую роль в данной области играют цифровые технологии и решения. При этом компании электроэнергетики не должны упустить возможность занять эту нишу, пока в неё не пришли компании ИТ, финтеха и ритейла.

1 IEA Electricity Market Report. 2023. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf.

2 А. Чупров. Рынок электромобилей в России может вырасти более чем в 4 раза в 2023 году. Аналитическое агентство Автостат. 2023. URL: https://www.autostat.ru/news/55754/.

Характерно, что в 2022 году почти половина роста мирового энергопотребления была удовлетворена за счёт низкоуглеродных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). По прогнозам МЭА, в ближайшие три года 90% мирового роста потребления электроэнергии будут удовлетворяться за счёт ВИЭ и атомной энергетики. Как известно, проблема интеграции ВИЭ состоит в трудности балансировки спроса и предложения из-за необходимости прогнозирования выработки с учётом погодных условий. В этих условиях необходимым компонентом генерации на основе ВИЭ является система накопления электроэнергии (СНЭ). Такие системы могут быть построены на различных принципах накопления энергии — химической, механической или тепловой. В мировой электроэнергетике наблюдается значительный рост ёмкости и мощности накопителей энергии, возникают новые модели использования накопителей с применением интеллектуальных систем. Данная тематика нашла своё отражение в настоящем выпуске альманаха.

В предыдущем выпуске альманаха приводилась информация о реализации в России пилотного проекта по созданию активных энергетических комплексов (АЭК) или микрогридов. АЭК представляет собой совокупность взаимосвязанных энергопринимающих устройств потребителей и распрёделенных энергетических ресурсов, имеющую фиксированные электрические границы (одну точку присоединения) и функционирующую как единый управляемый объект в режиме параллельной работы с энергосистемой, а также в островном режиме функционирования[3]. В настоящем выпуске альманаха мы обратились к тематике виртуальных электростанций — агрегаторов и групповых систем управления распределёнными энергетическими ресурсами, имеющими географически разнесённые точки присоединения к энергетической системе. Виртуальные электростанции, функционирующие на розничных рынках, позволяют владельцам распределённых энергоресурсов оптимальным образом продавать излишки электроэнергии. Мировой интерес к виртуальным электростанциям подкрепляется указанным выше ростом числа электромобилей и СНЭ.

Недавняя пандемия COVID-19 привела к качественному изменению ситуации на рынке систем видеоконференцсвязи, удалённого взаимодействия, а также виртуальной и дополненной реальности (VR/AR). Новые технологические решения стали активно внедряться в практику электроэнергетических компаний по всему миру: системы VR/AR позволяют эффективно проводить обучение персонала для выполнения сложных или опасных технологических операций. Обучающие системы, особенно совмещённые с цифровыми двойниками агрегатов и энергообъектов, позволяют моделировать широкий спектр ситуаций и качественно повысить эффективность процесса обучения. Мы полагаем, что данная тематика представляет интерес для компаний электроэнергетической отрасли как основных заказчиков обучающих VR/AR-систем. Возможно, что в рамках диверсификации бизнеса компании смогут масштабировать разработанные системы на другие отрасли.

Знакомясь со второй часть альманаха, читатель сможет убедиться, что развитие российских цифровых решений в электроэнергетике вполне соответствует указанным выше мировым тенденциям. Кроме прочего, мы постарались собрать проекты, связанные с развитием интеллектуальной электрозарядной инфраструктуры, системами VR/AR-обучения, а также интеграцией распределённых энергетических ресурсов в энергосистему. Приведён ряд статей с мнениями и взглядами на развитие в электроэнергетической отрасли России отдельных классов цифрового оборудования, стандартизации в области информационной безопасности и подготовки специалистов.

В заключении альманаха мы постарались на основе открытых источников отразить динамику ключевых показателей эффективности Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года с момента её разработки Ассоциацией «Цифровая энергетика» в 2020 году.

Полагаем, что актуальная информация, представленная в настоящем альманахе, будет полезна при подготовке проектов и разработке документов планирования в компаниях электроэнергетики, институтах развития и органах власти.

3 Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. М.: Издательство МЭИ, 2019. 300 с.

1

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

1. ВВЕДЕНИЕ

В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ ТЕМАТИКА ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ НАЧАЛА ПРОРАБАТЫВАТЬСЯ НА ГОСУДАРСТВЕННОМ УРОВНЕ ЕЩЁ В 2002 ГОДУ СО СТАРТОМ РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ «ЭЛЕКТРОННАЯ РОССИЯ».

В 2008 году Указом Президента РФ от 01.11.2008 №1576 был создан Совет при Президенте Российской Федерации по развитию информационного общества в Российской Федерации — головной и координирующий орган, решающий стратегическую задачу информатизации экономики и государственного управления. Цифровая трансформация как национальная цель развития Российской Федерации на период до 2030 года была утверждена Указом Президента РФ от 21.07.2020 №474. Для достижения этой цели разрабатываются и регулярно обновляются стратегические документы планирования как общей, так и узкоотраслевой направленности. Эти документы объединяет необходимость определения основных точек приложения усилий и направлений изменений.

Для решения этой задачи целесообразно обращаться к международному бенчмаркингу цифрового развития (зрелости). Например, такой сравнительный анализ проводился Ассоциацией «Цифровая энергетика» при разработке Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года, а также в первом выпуске альманаха (2020–2021 гг.). В настоящем выпуске мы продолжаем эту деятельность рассмотрением трёх рейтингов цифровой зрелости, подготовленных крупными зарубежными исследовательскими центрами. Это позволит оценить динамику изменений в последние годы и определить возможные точки роста для российской экономики и электроэнергетики в частности.

Индекс цифровой конкурентоспособности *(Digital Competitiveness Index, DCI)* ежегодно публикуется Центром исследования конкурентоспособности Международного института развития управления (IMD). Последний выпуск DCI за 2022 год охватывает 63 экономики, которые ранжированы на основании 54 критериев. Критерии объединяются в три крупные группы, связанные с подходами к образованию и управлению знаниями, технологиями и готовностью к будущему. В 2022 году Россия была исключена из исследования в связи с недостатком надёжных данных. В таблице 1.1 приведены данные DCI за последние три года [1.1].

Таблица 1.1. Данные DCI за 2020–2022 гг.

Страна	Место			Изменение за 2021–2022
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Дания	3	4	1	+ 3
США	1	1	2	- 1
Швеция	4	3	3	—
Сингапур	2	5	4	+ 1
Швейцария	6	6	5	+ 1
Нидерланды	7	7	6	+ 1
Финляндия	10	11	7	+ 4
Республика Корея	8	12	8	+ 4
Гонконг	5	2	9	- 7
Канада	12	13	10	+ 3
Тайвань	11	8	11	- 3
Норвегия	9	9	12	- 3
ОАЭ	14	10	13	- 3
Австралия	15	20	14	+ 6
Израиль	19	17	15	+ 2
Эстония	21	25	20	+ 5
Хорватия	52	55	43	+ 12
Россия	43	42	—	—

В индексе DCI лидером стала Дания, впервые за несколько лет сменив на этом месте США. Как показывает исследование [1.1], этому способствовали актуализация программ и наращивание выпуска специалистов в области информационно-коммуникационных технологий, а также создание благоприятных условий для ведения бизнеса (1-е место в Европе по данным рейтинга Doing Business Всемирного банка [1.2]). Кроме того, в последние годы в Дании повысилось качество сервисов электронного правительства и упростилось законодательство о государственно-частных партнёрствах. Негативную динамику в индексе DCI показал Гонконг, где снизились показатели обеспечения информационной безопасности, а также ухудшились условия по защите интеллектуальной собственности. Кроме того, снизилась доля расходов на исследования и разработки.

Из стран, которые показывают сильную положительную динамику, исследователи IMD выделяют Австралию, Эстонию и Хорватию. В Австралии образовательные учреждения смогли привлечь наибольшее число иностранных студентов, а власти добились снижения государственного долга и нарастили инвестиции в телекоммуникации. Кроме того, изменилось законодательство в части охраны прав на программное обеспечение. В Эстонии наблюдается улучшение в части цифровизации бизнес-процессов и государственного управления, отмечены успехи в сфере выстраивания государственной системы обеспечения информационной безопасности. Основные положительные изменения индекса Хорватии обеспечены увеличением отношения числа преподавателей к обучающимся, наращиванием мест в образовательных учреждениях по научным специальностям,

выдачей грантов на высокотехнологичные проекты и увеличением инвестиций в ИТ.

С 2002 года Всемирный экономический форум, а в настоящее время Институт Портуланс (независимая некоммерческая исследовательская организация в США), выпускает Индекс готовности стран к сетевому обществу *(Network Readiness Index, NRI)*. Индекс отражает уровень готовности стран к повсеместному использованию информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для целей социально-экономического развития. Методология предполагает оценку по четырём группам критериев:

- развитие технологий: доступность ИКТ, уровень и масштаб создания цифровых решений (программное обеспечение, число публикаций, расходы на разработку), уровень разработок перспективных технологий (например, в части искусственного интеллекта);
- использование ИКТ гражданами, бизнесом и органами власти, включая затраты на исследования и разработки, инвестиции государства в ИКТ;
- управление: создание равных и благоприятных рамочных условий для развития сетевой экономики и общества;
- эффективность: размеры рынков, связанных с ИКТ, социальные эффекты, а также вклад в достижение целей устойчивого развития.

В таблице 1.2 приведены данные NRI за последние три года [1.3].

Таблица 1.2. Данные NRI за 2020–2022 гг.

Страна	Место			Изменение за 2021–2022
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
США	8	4	1	+ 3
Сингапур	3	7	2	+ 5
Швеция	1	2	3	-1
Нидерланды	4	1	4	- 3
Швейцария	5	6	5	+ 1
Дания	2	3	6	- 3
Финляндия	6	5	7	- 2
Германия	9	8	8	—
Республика Корея	14	12	9	+ 3
Норвегия	7	9	10	- 1
Канада	13	11	11	—
Великобритания	10	10	12	- 2
Япония	15	16	13	+ 3
Австралия	12	13	14	- 1
Израиль	24	22	15	+ 7
КНР	40	29	23	+ 6
ОАЭ	30	34	28	+ 6
Россия	48	43	40	+ 3

Соединённые Штаты занимают первое место благодаря комплексному подходу к инвестированию в новые технологии, высокому уровню расходов на программное обеспечение, а также развитой цифровой инфраструктуре. В исследовании отмечается эффективная система защиты в сфере информационной безопасности. Низкие оценки США в индексе связаны с недостаточной эффективностью законодательства по обеспечению конфиденциальности и защиты персональных данных. Сингапур занимает второе место благодаря развитому рынку ИКТ, высокой доле инвестиций в цифровые технологии, исследования и разработки. Сильную положительную динамику в индексе NRI показывают КНР, ОАЭ и Израиль. В основном эта динамика обусловлена ростом инвестиций в ИКТ, масштабированием и регулярным обновлением инфраструктуры, а также привлечением талантов и увеличением расходов на образование. Россия получила высокие оценки за уровень цифровых компетенций и участие населения в сетевой экономике, высокое качество научных публикаций и активное использование открытых данных, а также высокий уровень образования работников. Низкие оценки России были даны за слабые успехи в достижении целей устойчивого развития: участие женщин в экономике (ЦУР 5), доступная и чистая энергия (ЦУР 7).

Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) с 2013 года публикует Глобальный инновационный индекс *(Global Innovation Index, GII)*. В рамках GII проводится анализ показателей инновационной деятельности порядка 132 экономик. Индекс, призванный дать как можно более полную картину в области инноваций, охватывает около 80 показателей, в том числе показатели, касающиеся политической ситуации, системы образования, инфраструктуры и создания знаний в каждой стране. Различные показатели, которые лежат в основе GII, помогают отслеживать инновационную эффективность и сопоставлять уровни развития стран одного региона или одной группы по уровню доходов. В таблице 1.3 приведены данные GII за последние три года [1.3].

Таблица 1.3. Данные GII за 2020–2022 гг.

Страна	Место			Изменение за 2022–2023
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	
Швейцария	1	1	1	—
Швеция	2	3	2	- 1
США	3	2	3	- 1
Великобритания	4	4	4	—
Сингапур	8	7	5	+ 2
Финляндия	7	9	6	+ 3
Нидерланды	6	5	7	- 2
Германия	10	8	8	—
Дания	9	10	9	+ 1
Республика Корея	5	6	10	- 4
Франция	11	12	11	+ 1
КНР	12	11	12	- 1
Япония	13	13	13	—
Израиль	15	16	14	+ 2
Канада	16	15	15	—
Эстония	21	18	16	+ 2
ОАЭ	33	31	32	- 1
Турция	41	37	39	- 2
Индия	46	40	40	—
Бразилия	57	54	49	+ 5
Россия	45	47	51	- 4

Первая десятка лидеров в индексе GII не меняется уже несколько лет. За последние годы наблюдается снижение положения Республики Корея, что обусловлено недостатками трудового законодательства, низкой энергоэффективностью экономики (ВВП/т.у.т.), низким уровнем затрат на ПО и прямых иностранных инвестиций в разработки и небольшой долей экспорта ИКТ. Из стран БРИКС за последние годы Бразилия повысила своё положение в GII (1-е место в Латинской Америке) за счёт высоких расходов на образование (6% ВВП), развития сервисов электронного правительства и государственных услуг, расширения рынка ИКТ, высокого уровня публикаций (H-index) и значительной доли импорта высокотехнологичной продукции. В то же время в Бразилии отмечаются неблагоприятные условия для ведения бизнеса, низкие затраты на инфраструктуру и низкая производительность труда. В России отмечается недостаточность экологической сертификации производств по стандарту ISO 14001 и сертификации систем качества по ISO 9001, а также низкий уровень венчурных инвестиций. В то же время Россия получила высокие баллы за уровень образования населения, доступность электроэнергии, большой объём внутреннего рынка и изобретательскую активность.

Таким образом, международный бенчмаркинг по трём указанным выше индексам цифровизации показывает, что в России необходимо нарастить инвестиции в R&D, расширить программы подготовки специалистов в сфере ИКТ, а также усовершенствовать систему сертификации по международным стандартам в сфере управления качеством и обеспечения экологических требований.

В 2023 году телекоммуникационный гигант Huawei выпустил обзор цифровых трендов в электроэнергетике Китая до 2030 года [1.4]. Основные тренды будут определяться планами Китая по прохождению пика выбросов парниковых газов в 2030 году и достижению углеродной нейтральности к 2060 году. Предполагается, что в выработке электроэнергии будут доминировать ВИЭ, причём географически их целесообразно располагать в западных и северных районах страны, в то время как большая часть населения живёт на побережье в восточных и южных регионах. Соответственно, потребуются эффективные технологии транспортировки и накопления электроэнергии. Кроме того, с удешевлением ветровых и солнечных электроустановок, а также аккумуляторов, предполагается рост децентрализованной генерации, в том числе частной. Поэтому потребуются цифровые решения для интеграции этой генерации в сеть, обеспечения торговли электроэнергией на розничном рынке. В таблице 1.4 показаны основные направления цифровой трансформации электроэнергетического сектора Китая и основные технологии и цифровые решения, которые необходимы для их реализации.

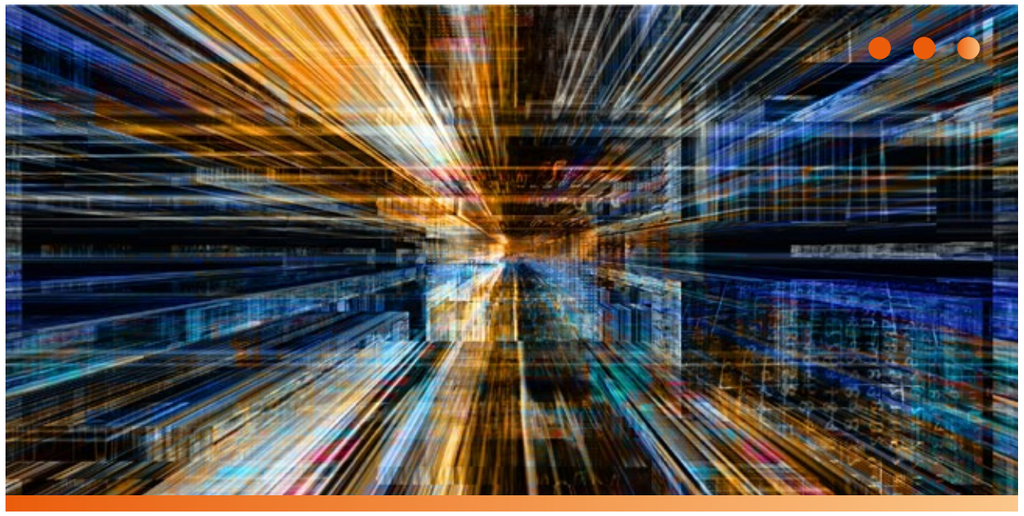


Таблица 1.4. Основные цифровые технологии и решения для цифровой трансформации электроэнергетики Китая [1.4]

Технология или решение	Цифровая «зелёная» электростанция		Цифровой мониторинг сети		РСРС	«Умные» здания	Интеграция РЭР		«Зелёные» атрибуты
	Цифровой двойник	Удалённое управление и контроль	Интеллект. мониторинг ЛЭП	ЦПС			Интеллект. диспетч.	Вирт. ЭС	
Оборудование и ПО для граничных вычислений	+	+	+	+	+	+	±	+	±
Проводная связь и наземная связь	+	+	+	+	+	+	+	+	±
Спутниковая связь	±	±	+	±	±	–	–	–	–
Облачные платформы	+	+	+	+	+	+	+	+	–
Распределённые вычисления	+	±	±	±	±	+	–	–	–
Блокчейн	–	–	–	–	–	±	–	±	+
ИИ	+	+	+	+	+	+	±	+	–
Анализ больших данных	±	±	±	+	±	±	±	±	–

Примечания:
РСРС — реконфигурируемые самовосстанавливающиеся распределительные сети;
Вирт. ЭС — виртуальная электростанция;
ИИ — искусственный интеллект;
ЦПС — цифровая подстанция.
«+» — ключевая технология, «±» — вспомогательная технология, «–» — не применяется.

В 2021 году Индией была поставлена цель достижения энергетической независимости к 2047 году. Вместе с тем в последние годы в стране наблюдается увеличение стоимости электроэнергии из-за роста цен на уголь, проблемы с интеграцией ВИЭ, отсутствие условий для обмена большими данными, а также потребность в реформах оптовых и розничных рынков электроэнергии. Решение этих проблем возможно за счёт опережающей трансформации отрасли. В отчете [1.5] предлагается ряд шагов по достижению целей цифровой трансформации электроэнергетики Индии.

В секторе генерации необходимо снятие нормативных барьеров на размещение частной ветровой и солнечной генерации, увеличение инвестиций в ВИЭ и атомную энергетику, развитие технологий накопления энергии на основе «зелёного» водорода, а также технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS).

Индия характеризуется высоким уровнем потерь в сетях (в среднем 3,6%). В ближайшие годы планируется строительство высоковольтных линий постоянного напряжения, повсеместное внедрение интеллектуальных систем учёта параллельно с развитием широкополосных сетей 2,4 ГГц, поддержка создания микрогридов. Предполагается развёртывание по всей стране многоуровневой системы безопасности данных с использованием таких концепций, как доверенная платформа и инфраструктура открытых ключей.

На рис. 1.1 показаны правительственные инициативы на ближайшие годы в части цифровой трансформации электроэнергетической отрасли Индии. Указанные программы объединяет необходимость установки приборов учёта, включённых в интеллектуальные системы. На конец 2022 года в Индии установлено более 5 млн интеллектуальных приборов учёта.

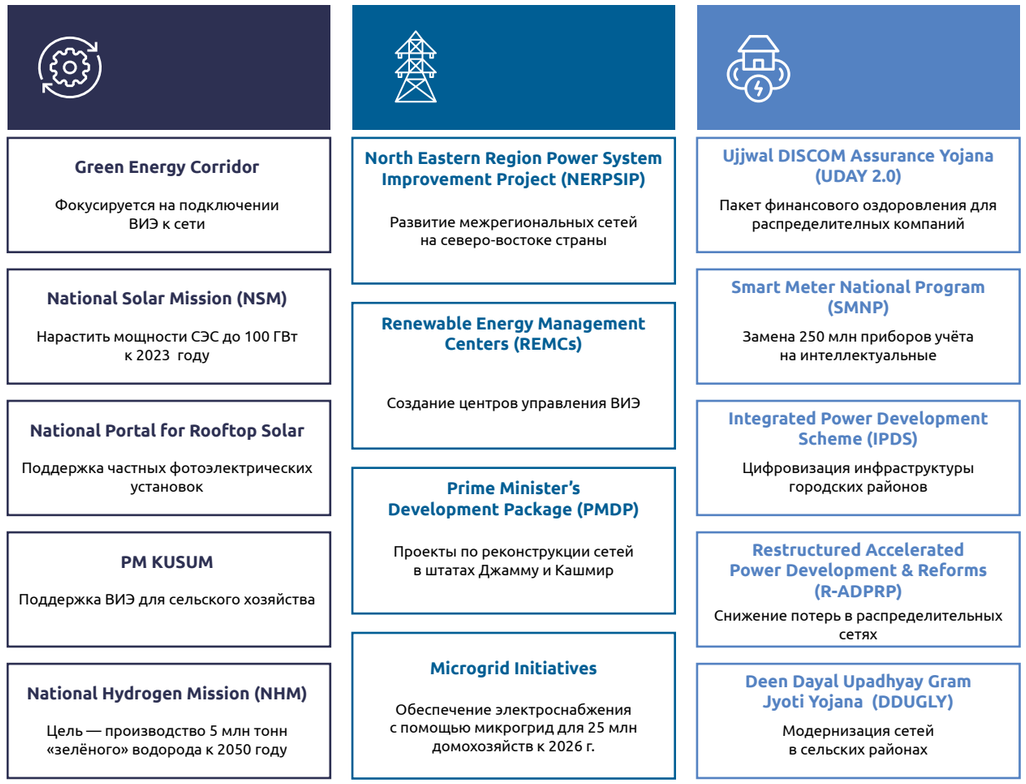


Рис. 1.1. Правительственные инициативы в электроэнергетике Индии [1.5]

Можно отметить, что планы по цифровой трансформации в Китае и Индии достаточно хорошо коррелируют с Энергетической стратегией Российской Федерации до 2035 года и со Стратегией цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 года. В этих документах также поставлены цели по повсеместному внедрению интеллектуальных приборов учета, цифровых подстанций и сетей, снижению выбросов парниковых газов и созданию рынков зелёных атрибутов (сертификатов).

Далее в настоящем разделе мы рассмотрим технологические тенденции, которые уже сейчас формируют электроэнергетические рынки нового типа: электромобили и электрозарядную инфраструктуру, виртуальные электростанции, а также цифровые решения на базе виртуальной и дополненной реальности.

Список использованных источников

1.1. World Digital Competitiveness Ranking. IMD World Competitiveness Center. URL: https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/.

1.2. Doing Business 2020. Comparing Business Regulation in 190 Economies. World Bank. URL: https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/75ea67f9-4bcb-5766-ada6-6963a992d64c/content.

1.3. Network Readiness Index 2022. Portulans Institute. URL: https://networkreadinessindex.org/.

1.4. Digitalization Trends in the Electric Power Industry 2030. Huawei. URL: https://e.huawei.com/en/material/industry/smartgrid/e905ee86178f4c0fa0404686e47eb104.

1.5. Powering India's Energy Vision. 2023. Arthur Little Report. URL: https://www.adlittle.com/cn-en/insights/report/powering-india%E2%80%99s-energy-vision-2030#:~:text=GOVERNMENT%20INITIATIVES,-India%20has%20formulated&text=Provide%2050%25%20of%20India's%20energy,net%20zero%20emissions%20by%202070.

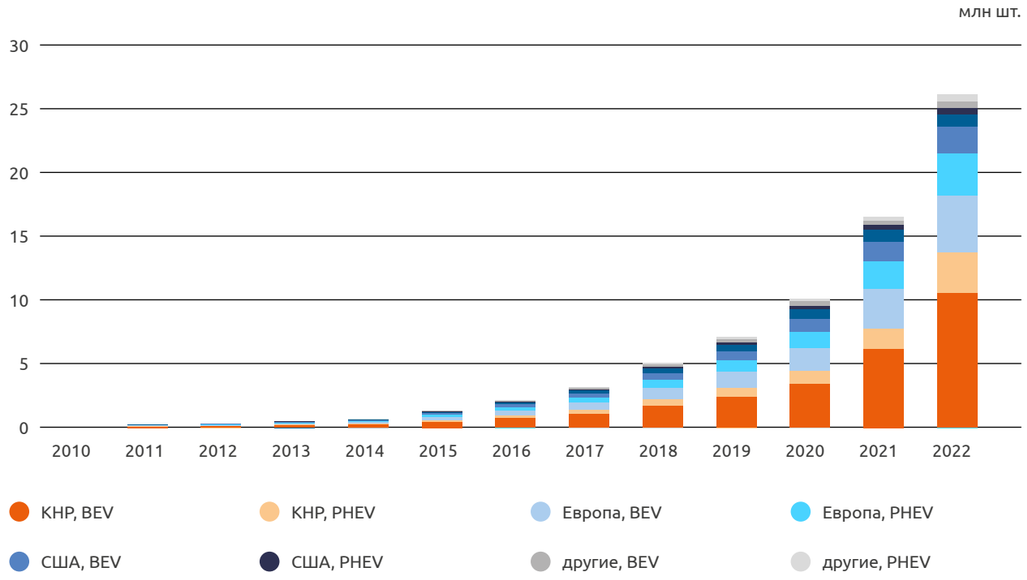
2. ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ И ЭЛЕКТРОЗАРЯДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

ОДНОЙ ИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ ОТРАСЛИ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ.

Это обусловлено множеством факторов: повышением доступности решений для накопления энергии и генерации из возобновляемых источников, усилением внимания общества к климатическим изменениям, цифровизацией экономики и проникновением технологий интернета вещей. В ключе данной тенденции изменяется и структура конкуренции в электроэнергетике: компании начинают развивать бизнес-модели, основанные главным образом на низкоуглеродных и энергоэффективных технологиях. Данные Международного энергетического агентства (МЭА) показывают, что такая стратегия оказалась довольно успешной: за последние 30 лет общемировой рост потребления электроэнергии по крайней мере в два раза превышает средний рост потребления других энергоресурсов (нефть, уголь, природный газ) [2.1].

Наиболее вероятно, что одним из ключевых катализаторов спроса на электроэнергию на горизонте ближайших десяти лет станет развитие автономного электротранспорта.

Непосредственно подключённый к электрической сети транспорт (электропоезд, трамвай, троллейбус, монорельс, фуникулёр) используется в мире уже более 130 лет, и в развитых странах доля такого транспорта в пассажирских перевозках превышает 50%. В последние годы бурное развитие переживает автономный (не привязанный к сети) электротранспорт. В настоящем разделе мы сосредоточимся именно на таком виде электротранспорта. По данным МЭА, в мире насчитывается более 25 млн электромобилей (см. рис. 2.1), что составляет 1,9% в глобальном парке легковых автомобилей на 2022 год. Прогнозируется, что к 2030 году доля электромобилей увеличится до 10%. Этому способствует бурный рост продаж электромобилей: если в 2020 году их доля в общем числе продаж составила менее 5%, то в 2022 году — уже более 14% [2.1].



BEV — электромобили с аккумуляторной батареей, PHEV — гибридные электромобили

Рис. 2.1. Число электромобилей в мире (в разбивке по регионам)

Чем же объясняется такой бум электромобилей? Фундаментальная причина состоит в том, что энергетическая эффективность цикла производства электрической энергии на электростанции и потребление этой энергии электромобилем выше эффективности сжигания топлива непосредственно в двигателе внутреннего сгорания (ДВС). До последних лет реализация этого принципа затруднялась неэффективностью и высокой стоимостью батарей. Как только появились высокоэффективные и надёжные батареи, а их стоимость существенно снизилась, началось активное развитие электромобилей.

Во-вторых, необходимость реализации глобальной цели по достижению углеродной нейтральности заставляет правительства в различных формах субсидировать продажи электромобилей (через налоговые льготы, программы софинансирования) и ограничивать продажи автомобилей с ДВС, которые являются одними из основных эмитентов парниковых газов. Например, в Евросоюзе продажа автомобилей с ДВС будет запрещена с 2035 года [2.2].

В-третьих, распространению электромобилей способствует урбанизация: по данным компании McKinsey, 60% поездок на автомобилях совершаются на расстояния не более 8 км [2.3]. Это значительно увеличивает актуальность электромобилей.

В-четвёртых, электрическая мобильность становится инструментом энергетической безопасности для многих стран, сильно зависящих от импорта нефти и газа. Электрификация транспорта помогает таким странам использовать внутренние возобновляемые источники: энергию воды, солнца и ветра. При этом, по оценкам МЭА, увеличение спроса за счёт электротранспорта будет составлять только 2–3% от общего производства электроэнергии [2.1].

Для надёжной и эффективной эксплуатации электромобилей властям и электроэнергетическим компаниям необходимо решить множество достаточно серьёзных вопросов.

При зарядке электромобилей возникает хаотичная и трудно прогнозируемая по времени нагрузка. Если их немного, то это незаметно для энергосистемы, однако, когда их число возрастает, могут возникать новые пики спроса, сглаживание которых потребует задействования дорогостоящего резерва мощности. Решаться эта проблема может разными методами, например,

через реализацию механизма управления спросом, когда зарядка автомобиля производится в часы минимального потребления, а в пиковые часы батарея автомобиля используется для выдачи электроэнергии в сеть (Vehicle-to-grid, V2G). Активно развиваются системы анализа больших данных для прогнозирования такой хаотической нагрузки и создания резерва мощности за счёт менее маневренных источников.

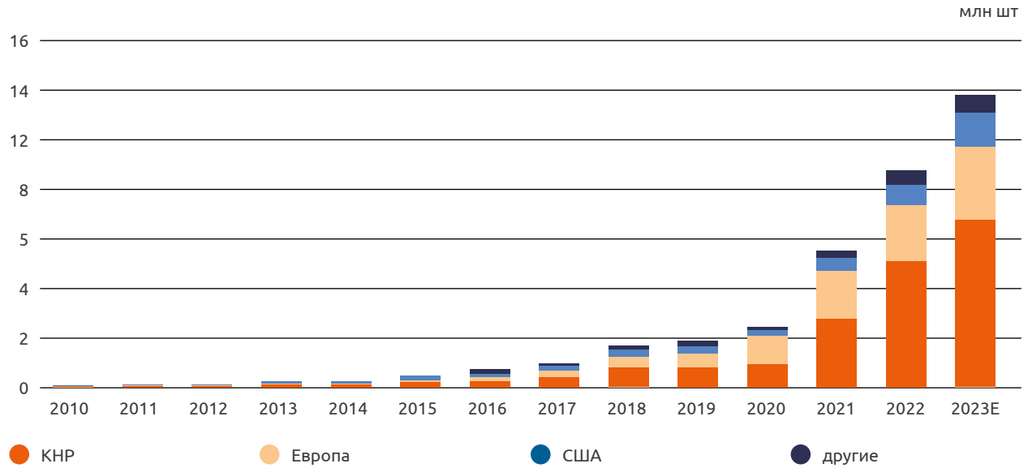
Другим затруднением является необходимость повышения пропускной способности сети из-за высоких уровней мощности, связанных с одновременной зарядкой большого числа электромобилей. По оценкам МЭА, это станет основной проблемой для электроэнергетических компаний в будущем. Например, ожидается, что уже к 2025 году в Нидерландах около 3000 районов с не менее чем 100 электромобилями превысят пропускную способность сети из-за более быстрого, чем ожидалось, роста потребления. Аналогично в местной распределительной системе Калифорнии к 2030 году потребуется модернизировать в пять раз больше фидеров, чем первоначально планировалось [2.1]. Оценка экономической эффективности такой реконструкции сети достаточно сложна: с одной стороны, требуются серьёзные капиталовложения, причём реконструкция должна быть выполнена в короткие сроки. С другой стороны, существующие прогнозы по бурному росту числа электромобилей в данном регионе могут не оправдаться по ряду причин, и электроэнергетические компании понесут значительные убытки.

Важно не упускать из внимания и то обстоятельство, что при зарядке электромобиль, в отличие от автомобиля с ДВС, длительное время занимает парковочное место. Поэтому развитие зарядной инфраструктуры и электромобильности в целом должно согласовываться с планами развития территорий и сценариями урбанизации.

Для компаний электроэнергетического сектора создание и развитие электрозарядной инфраструктуры открывает возможности выхода на новую широкую группу потребителей электроэнергии — как в B2B, так и в B2C-сегменте. Координация планирования и развёртывания инфраструктуры зарядки с планированием электросети и развитием территорий обеспечит своевременный переход к электрической мобильности.

2.1. Основные направления развития и технологии

ПО ТЕКУЩИМ ОЦЕНКАМ МЭА, В 2023 ГОДУ ВО ВСЁМ МИРЕ БУДЕТ ПРОДАНО ПОЧТИ 14 МЛН ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ (СМ. РИС. 2.2), ТО ЕСТЬ БУДЕТ ОБЕСПЕЧЕН РОСТ ПРОДАЖ 35% ГОД К ГОДУ, А В МИРОВЫХ ПРОДАЖАХ ВСЕХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В 2023 ГОДУ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ ЗАЙМУТ ПОРЯДКА 18% РЫНКА.



По 2023 году — прогнозное значение по данным о продажах за I–II кварталы

Рис. 2.2. Продажи электромобилей в мире (в разбивке по регионам) [2.1]

Как следует из рис. 2.2, в глобальных продажах в 2022 году доминировали три рынка — Китай, Евросоюз и США. На долю КНР приходится около 60% мировых продаж электромобилей. Прогнозируется, что к концу 2023 года продажи электромобилей в КНР достигнут значения 8 млн шт., а в Европе и США — порядка 3,5 и 1,5 млн шт. соответственно. За пределами основных рынков ожидаются годовые продажи порядка 0,9 млн шт., что в два раза выше показателей 2022 года.

Следует отметить основные факторы, влияющие на развитие электромобильности в мире. К негативным факторам относится то, что в КНР происходит поэтапный отказ от субсидирования электромобилей, так как были досрочно достигнуты показатели по их доле в общем автопарке, поставленные в соответствии с климатическими целями. Из позитивных факторов можно выделить высокие цены на нефть, стимулирующие спрос на электромобили, а также планируемые ужесточения норм выбросов парниковых газов для автомобилей в США и полный запрет на выпуск автомобилей с ДВС в Европе. При этом в 2022 году государственные расходы на субсидии и льготы для электромобилей в среднем по миру почти удвоились и достигли 30 млрд долл. США [2.1]. Также в 2022 году было доступно около 500 различных моделей электромобилей, что в пять раз превышает число доступных моделей в 2015 году. Всё это повышает привлекательность электромобильности для клиентов.

МЭА также отмечает сокращение ценового разрыва между электромобилями и автомобилями с ДВС. В последние несколько лет в КНР медианная цена электромобиля, взвешенная по продажам, была лишь на 10% выше, чем у автомобиля с ДВС (пятью годами ранее разница составляла порядка 45–60%). Кроме того, в КНР регистрируется 95% всех новых двух- и трёхколесных электрических транспорт-

ных средств и 90% автобусов и грузовиков. Скорость развёртывания зарядной инфраструктуры в Китае также выше, чем в большинстве стран мира.

Продажи электромобилей по-прежнему отстают в странах с формирующимся рынком и развивающихся странах. В Бразилии, Индии и Индонезии на электромобили приходится менее 0,5% от общего числа продаж. Однако при наличии государственной поддержки и создании условий для инвестиций можно предположить более высокие темпы освоения рынков.

Например, в Индии уже наращивается производство электромобилей и комплектующих в рамках государственной программы поддержки объёмом 3,2 млрд долл. США, а общий объём инвестиций, привлечённых на индийский рынок электромобильности, превышает 8 млрд долл. США [2.1]. В Индии продажи электромобилей достигли почти 50 тыс. В 2022 году, что в 4 раза больше, чем годом раньше. Более 85% продаж пришлось на долю ведущего индийского производителя Tata. При этом четверть покупок электромобилей в Индии приходится на операторов автопарка — например, такси.

В Индонезии за 2022 год продажи электромобилей выросли более чем в 14 раз, превысив 10 тыс. единиц, тогда как продажи гибридных электромобилей остались близкими к нулю. В марте 2023 года правительство Индонезии объявило о намерении субсидировать продажу 200 тыс. электрических двухколесных транспортных средств и 36 тыс. электромобилей для достижения доли продаж в 4 и 5% соответственно. Планируется, что новые субсидии помогут снизить цену электрического двухколесного транспорта на 25–50%, что обеспечит конкуренцию с аналогами с ДВС.

Анализ мировых планов по развёртыванию общественной зарядной инфраструктуры показывает, что её количество может оказаться недостаточным для удовлетворения потребностей целевого рынка электромобилей [2.1, 2.4]. Зарядка дома и возле рабочих мест, вероятно, покроет большую часть потребности, однако количество общественных зарядных устройств должно составлять не менее 15 млн единиц к 2030 году.

На конец 2022 года во всем мире насчитывалось 2,7 млн общественных зарядных станций, 0,9 млн из которых были установлены в 2022 году (см. рис. 2.3). Подавляющее число зарядных станций, установленных в 2022 году, относится к так называемым «медленным» — мощностью менее 22 кВт. В КНР находится почти миллион таких зарядных станций, в Европе — порядка 460 тыс. (преимущественно в Нидерландах, Франции и Германии), в США — порядка 120 тыс. Значительное число зарядных станций находится в Республике Корея — около 200 тыс.

Одним из трендов электромобильности является расширение сегмента электри-

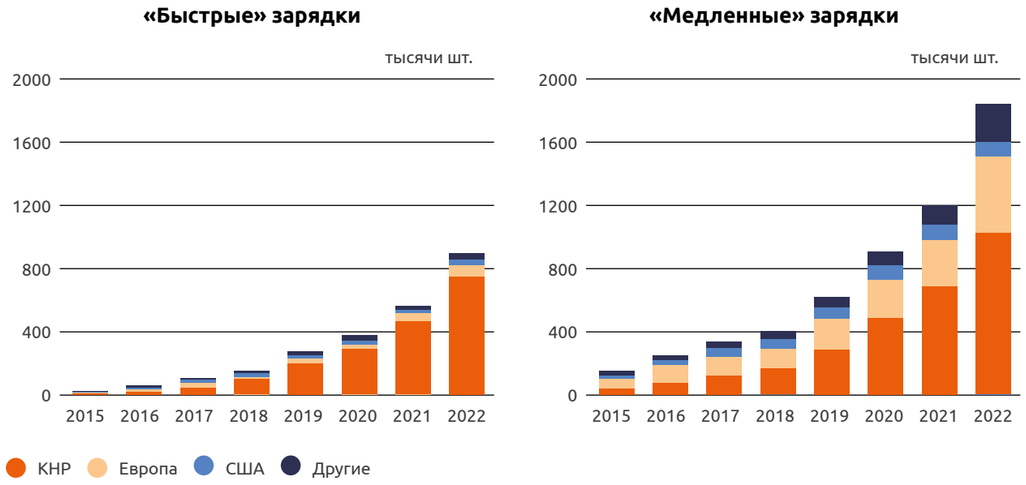


Рис. 2.3. Количество общественных зарядных станций (в разбивке по регионам) [2.1]

Устройства для быстрой зарядки (мощностью от 22 до 350 кВт), расположенные вдоль автомагистралей, позволяют совершать длительные поездки и способны решить проблему недостаточной дальности пробега, которая является препятствием для внедрения электромобилей.

На конец 2022 года в КНР размещено порядка 760 тыс. Устройств быстрой зарядки (90% от общемирового количества). Фокус на быстрых зарядных станциях призван компенсировать отсутствие доступа к домашним зарядным устройствам для жителей густонаселённых китайских городов с преимущественно многоэтажной жилой застройкой.

В Европе парк быстрых зарядных устройств насчитывает более 70 тыс. шт., в основном в Германии (более 12 тыс. шт.), Франции (порядка 10 тыс. шт.) и Норвегии (порядка 9 тыс. шт.). В ЕС предварительно заключено соглашение о разработке регламента об инфраструктуре альтернативных видов топлива (AFIR), который установит требования к зоне покрытия для станций электрической зарядки Трансъевропейской транспортной сети (TEN-T) [2.5]. По соглашению между Европейским инвестиционным банком и Еврокомиссией на эти цели выделяется порядка 1,5 млрд евро.

В США на конец 2022 года было установлено около 28 тыс. устройств быстрой зарядки, большей частью — модель Tesla Supercharger. Ожидается, что внедрение станций быстрой зарядки ускорится в ближайшие годы по мере развёртывания Национальной программы создания инфраструктуры электромобильности (NEVI). Для строительства зарядных устройств на 122 тыс. Км шоссе всем штатам уже выделено финансирование в размере порядка 885 млн долл. США [2.6]. Также для обеспечения единообразия и совместимости Федеральное управление шоссейных дорог США объявило о новых стандартах для зарядных устройств для электромобилей, установка которых финансируется из федерального бюджета. В связи с этим компания Tesla, владеющая подавляющим большинством станций быстрой зарядки, объявила, что откроет свои станции для автомобилей других марок.

Международный опыт показывает, что широкое внедрение электромобилей начинается тогда, когда скорость развёртывания общественной зарядной инфраструктуры опережает скорость роста числа электромобилей. Например, в Норвегии в 2011 году на одну общественную станцию зарядки приходилось только 1,3 электромобиля. Через 10 лет этот показатель достиг 25 машин, а доля электромобилей среди всего легкового автотранспорта в стране превысила 17%. Средний мировой показатель в 2022 году составлял около десяти электромобилей на одно общественное зарядное устройство (см. рис. 2.4).

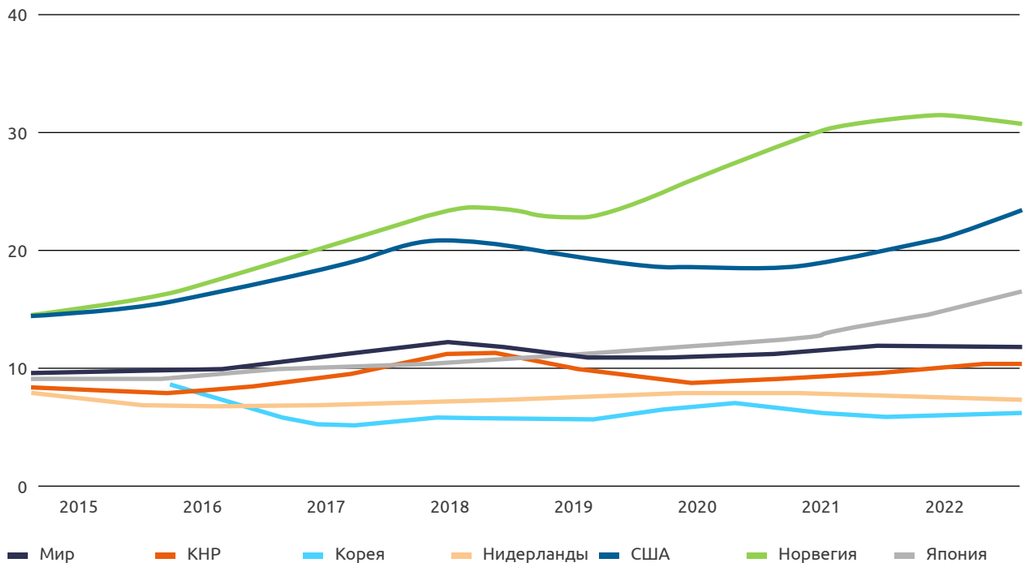


Рис. 2.4. Число электромобилей на одну общественную зарядную станцию [2.1]

В сильно урбанизированных странах (Китай, Корея, Нидерланды), где потребители больше полагаются на общественную зарядку, на протяжении последних лет на одно зарядное устройство приходилось менее десяти электромобилей, то есть, рост инфраструктуры соответствовал развитию электромобильности. На других рынках, где имеется высокая доля частных домов (США, Норвегия), соотношение между числом электромобилей и общественных зарядных станций может быть выше.

Важным показателем является также мощность общественной зарядки, приходящаяся на один электромобиль, так как более быстрые зарядные устройства могут в среднем обслуживать большее число электромобилей. В соглашении Европейского союза по AFIR (см. выше), например, указывается общая мощность, которая должна быть предоставлена, исходя из размера зарегистрированного парка электромобилей [2.5]. В среднем в мире мощность общественной зарядки на один электромобиль составляет около 2,4 кВт (см. рис. 2.5). В ЕС этот показатель ниже — около 1,2 кВт. Самый высокий показатель в Республике Корея — 7 кВт на электромобиль, несмотря на то, что большинство зарядных станций в этой стране являются медленными.

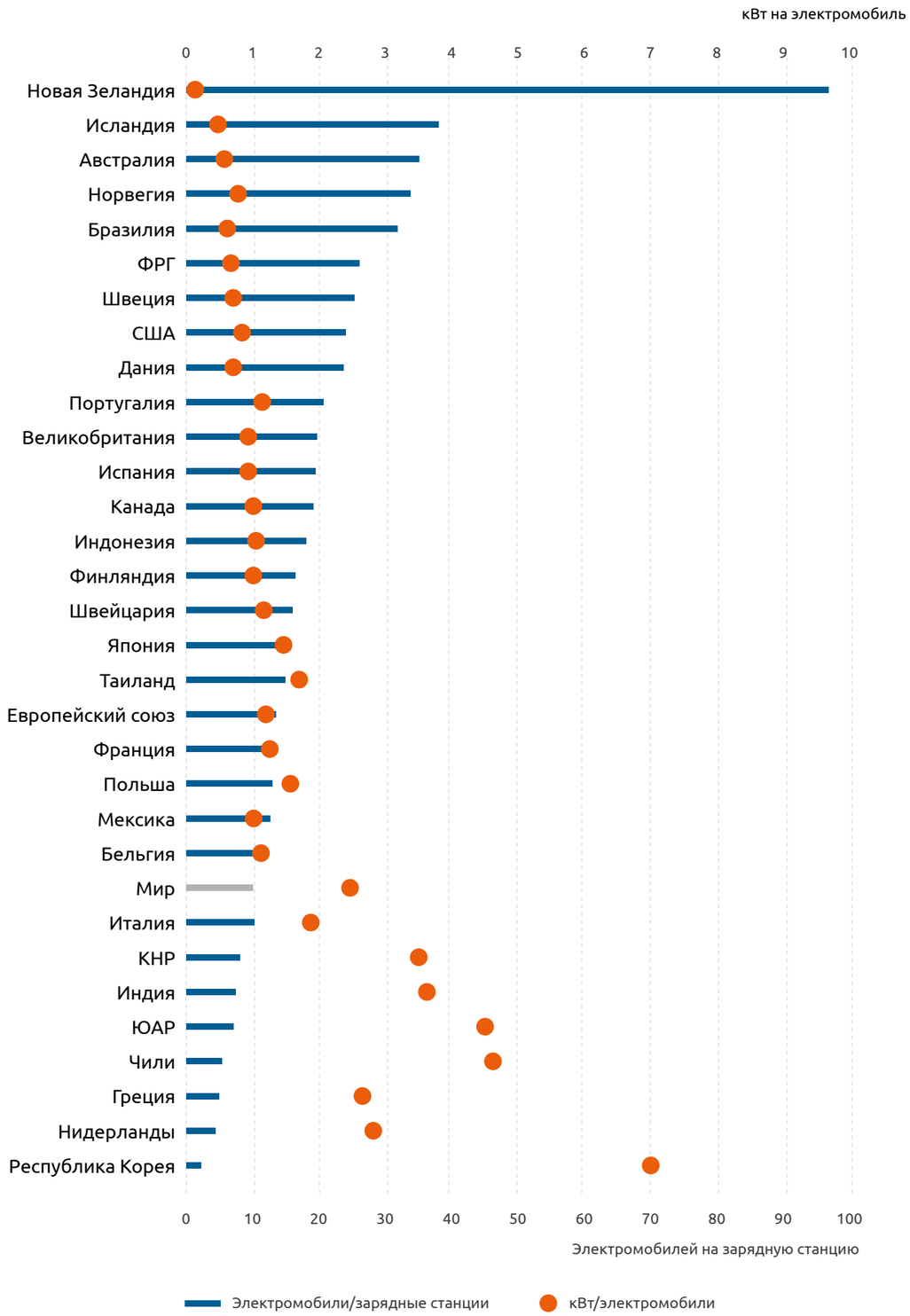


Рис. 2.5. Мощность на один электромобиль [2.1]

ческих грузовых автомобилей. До сих пор электрические грузовики широко использовались в основном только в КНР, где они получают мощную господдержку. Однако в 2021 году были анонсированы планы по поддержке электромобильности грузового транспорта и в ряде других стран. Основной сегмент, который можно электрифицировать быстрее всего — это малотоннажные грузовики, предназначенные для развоза грузов на короткие расстояния (класс LDT — light-duty truck). Им не требуется широкая сеть электрозарядок, например, вдоль магистралей, так как в основном зарядка происходит ночью в автопарке. Большегрузным транспортным средствам (таким, как седельные тягачи) необходима сеть мощных зарядных станций вдоль основных трасс и, следовательно, соответствующая пропускная способность электрической сети.

Другой проблемой для энергосистем является одновременная электрификация транспорта (хаотическая нагрузка) и развёртывание переменной по выработке децентрализованной генерации из возобновляемых источников. Моделирование, проведённое МЭА, показывает, что до 2030 года электромобильность не должна создавать серьезных проблем, так как доля электромобилей вряд ли превысит 20% от общей численности автопарка. Тем не менее, некоторые города, особенно в США, могут столкнуться с проблемами в период и до 2030 года. Предотвращение этих сложностей связано с развитием технологий цифровых сетей и систем интеллектуальной электрозарядки [2.1].

Производство электромобилей по-прежнему сильно сконцентрировано в КНР. В 2022 году 35% экспортируемых электромобилей было произведено в Китае. Крупнейшим рынком сбыта для этих электромобилей, а также компонентов и аккумуляторов является Европа — в 2022 году доля проданных китайских электромобилей в ЕС составляла 16%.

Предложенный Еврокомиссией в марте 2023 года закон о чистой нулевой промышленности направлен на то, чтобы 90% годового спроса на аккумуляторы удовлетворялось производителями ЕС (к 2030 году производственные мощности должны составить не менее 500 ГВт·ч). Аналогично в Индии вводятся «схемы поощрения, связанные с производством» (PLI), направленные на рост внутренней индустрии электромобилей и аккумуляторов для них. В США в рамках закона о снижении инфляции предложены налоговые льготы для экологически чистых транспортных средств, компоненты для которых произведены внутри страны. Как следствие, в период с августа 2022 г. по март 2023 г. крупные американские производители электромобилей и аккумуляторов объявили о совокупных инвестициях в размере не менее 52 млрд долл. США в цепочки поставок электромобилей. Из этой суммы 50% приходится на производство аккумуляторов, и около 20% — на производство электромобилей.

Увеличение спроса на электромобили стимулирует спрос на химические источники энергии и связанные с ними полезные ископаемые. Спрос на литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы в 2022 году по сравнению с предыдущим увеличился на 65% — до 550 ГВт·ч. Производство аккумуляторов для электромобилей в 2022 году обеспечивало около 60% мирового спроса на литий, 30% спроса на кобальт и 10% — на никель [2.1].

Сегодняшние цепочки поставок аккумуляторов сосредоточены вокруг КНР: там производится 75% всех литий-ионных аккумуляторов, размещено до 70% мощностей по производству катодов и 85% мощностей по производству анодов (ключевые компоненты аккумуляторов). На долю Республики Корея приходится 15% мощностей по производству катодных материалов, на Японию — 17% производства анодного материала. На долю Европы и США приходится только порядка 10% мощностей по производству аккумуляторов.

Цены на сырьё для производства аккумуляторов кардинально выросли по сравнению с 2021 годом — более чем в 7 раз. Ключевыми факторами являются беспрецедентный спрос на аккумуляторы и отсутствие структурных инвестиций в новые производственные мощности, а также ограничение поставок никеля из России. По оценкам МЭА, к 2030 году разрыв между спросом и предложением на литий достигнет порядка $5 \cdot 10^5$ т.

Поэтому для обеспечения устойчивости цепочек поставок электромобилей будут важны разработка новых видов аккумуляторов и сокращение потребности в указанных материалах. Например, появляются альтернативы в виде литий-железо-фосфатных (LFP) аккумуляторов. В Китае они активно используются в пассажирских электромобилях малого радиуса действия (порядка 95% произведённых аккумуляторов предназначены для рынка КНР). Также развиваются безлитиевые натрий-ионные аккумуляторы: в КНР объявлено о развёртывании производства более 100 ГВт·ч аккумуляторов такого типа. Помочь в удовлетворении спроса также может переработка использованных аккумуляторов.

2.2. Взаимодействие с потребителем

Центр инноваций в мобильности Бостонской консалтинговой группы провел исследование среди 1000 владельцев электромобилей из США, Европы и КНР для выяснения их потребностей и сценариев зарядки в общественных местах [2.7]. Большинство респондентов (64%) живут в городских районах, средний возраст — около 40 лет, три четверти используют электромобиль ежедневно (более пяти раз в неделю), чтобы добраться до работы и обратно. У 65% респондентов нет второго автомобиля с ДВС для дальних поездок.

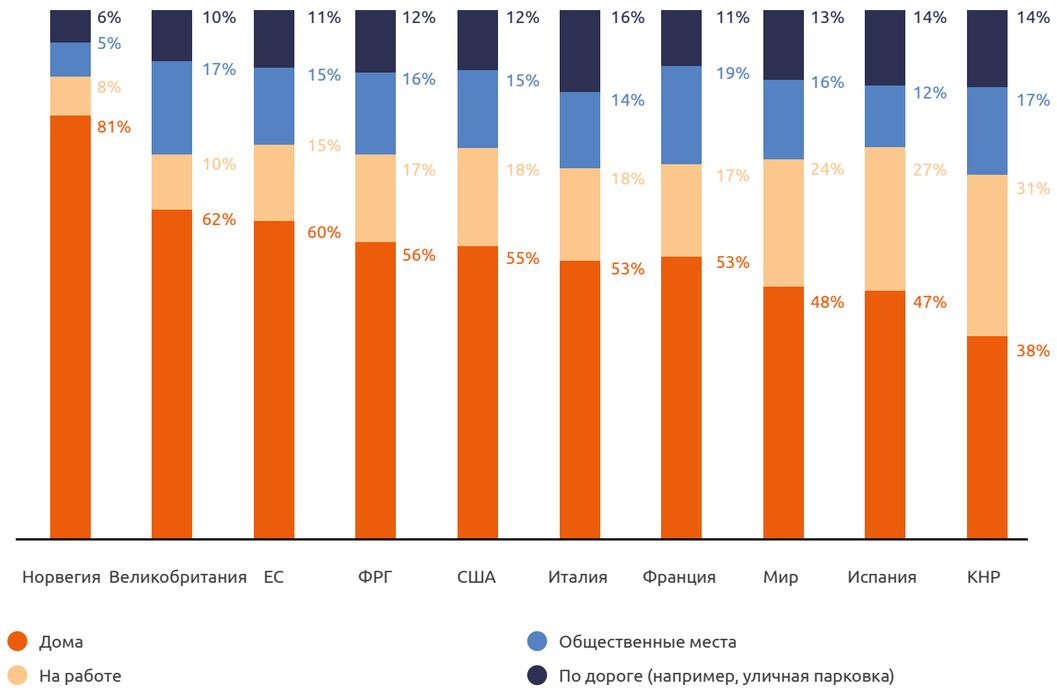


Рис. 2.6. Предпочитаемые локации для зарядки электромобилей (проценты от общего времени зарядки) [2.7]

Первичный анализ показал, что если у владельцев электромобилей появляется возможность заряжать их не дома, то они пользуются этой возможностью. Те, кто имеет возможность заряжать электромобиль на рабочем месте, тратят на это 25% времени зарядки, а 50% приходится на дом. Те владельцы, которые не имеют такой возможности, 85% зарядки осуществляют дома. Эти результаты сильно различаются в зависимости от страны (см. рис. 2.6). Норвегия лидирует с 81% часов зарядки дома, в то время как в Китае это число падает до 38%. В Германии почти 90% жителей сельских и пригородных районов имеют доступ к домашним зарядным устройствам, в то время как в городских районах этот показатель падает примерно до 77%. Во многих урбанизированных частях КНР вообще отсутствует домашняя зарядка.

В ежегодном исследовании Европейского центра мониторинга по альтернативному топливу приводится схожая статистика (см. рис. 2.7): при наличии возможности зарядки на работе владельцы электромобилей ей активно пользуются [2.8]. Всё это говорит о том, что планы по развитию электрозарядной инфраструктуры должны составляться на основе тщательного изучения социальных и демографических аспектов.

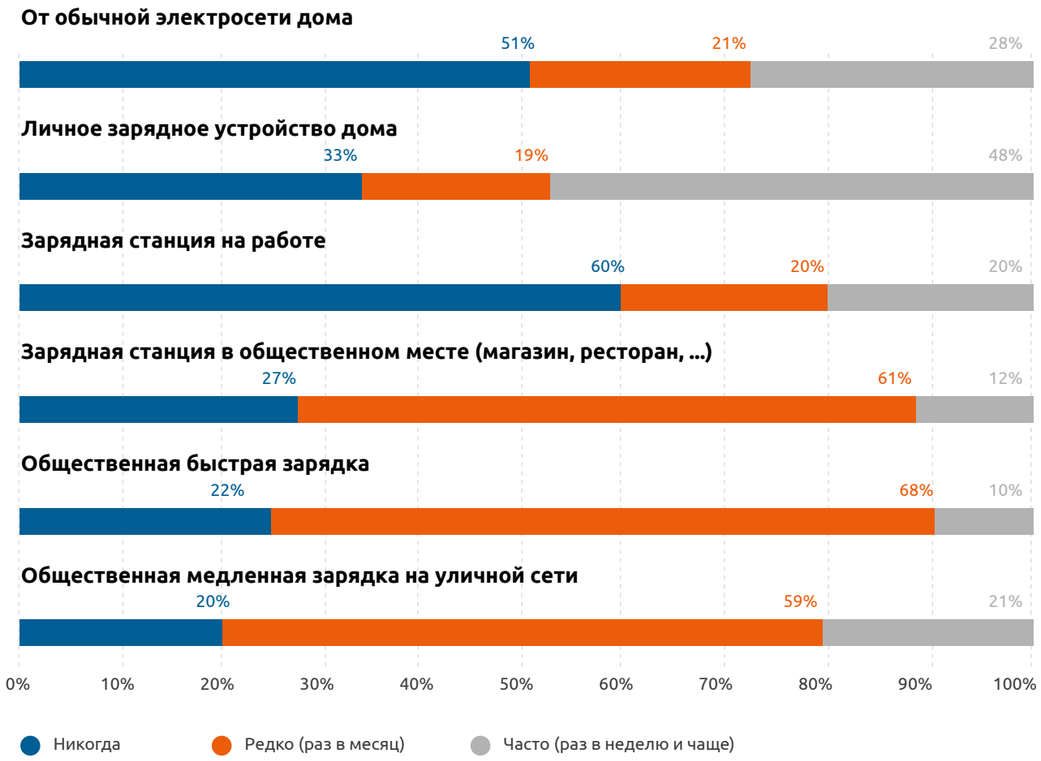
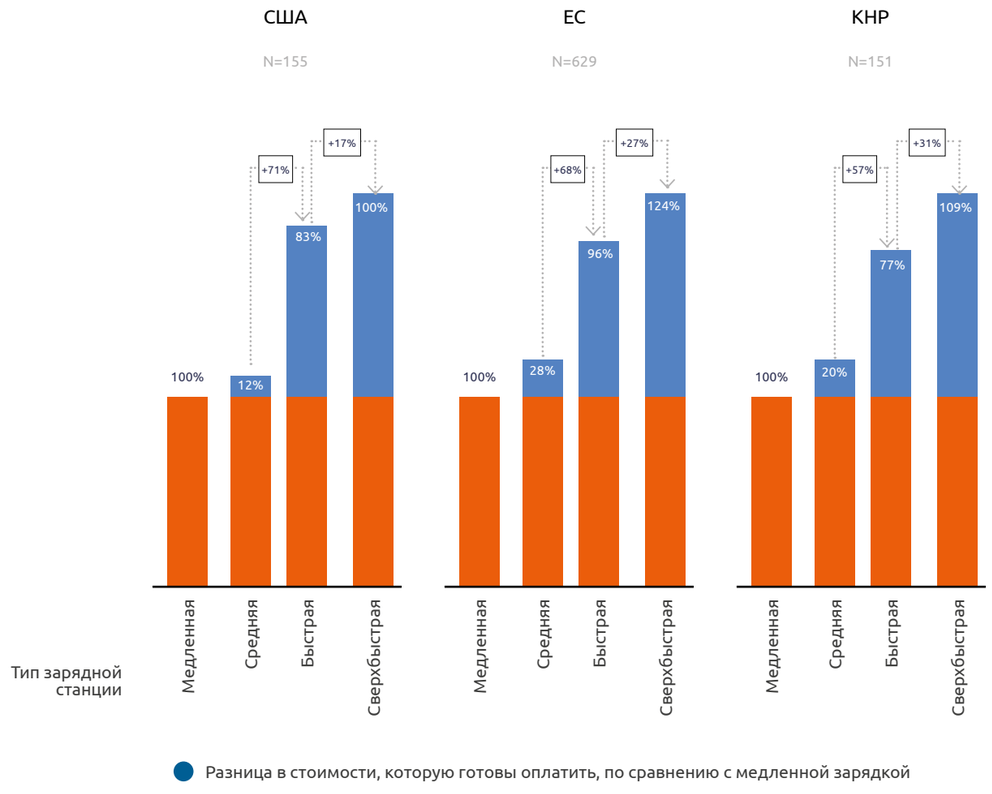


Рис. 2.7. Предпочитаемые места зарядки европейских владельцев электромобилей [2.8]

В настоящее время от 75 до 95% владельцев электромобилей заряжают их дома, используя медленные зарядки с ограниченной мощностью. Авторы исследования [2.7] полагают, что эта доля снизится в пользу общественной зарядки по мере того, как электромобили станут распространёнными в более широких экономических слоях, включая людей, живущих в квартирах без собственных парковочных мест с зарядкой. Также опрос показывает, что владельцы электромобилей готовы платить за быструю зарядку почти в два раза больше, чем за медленную (см. рис. 2.8).

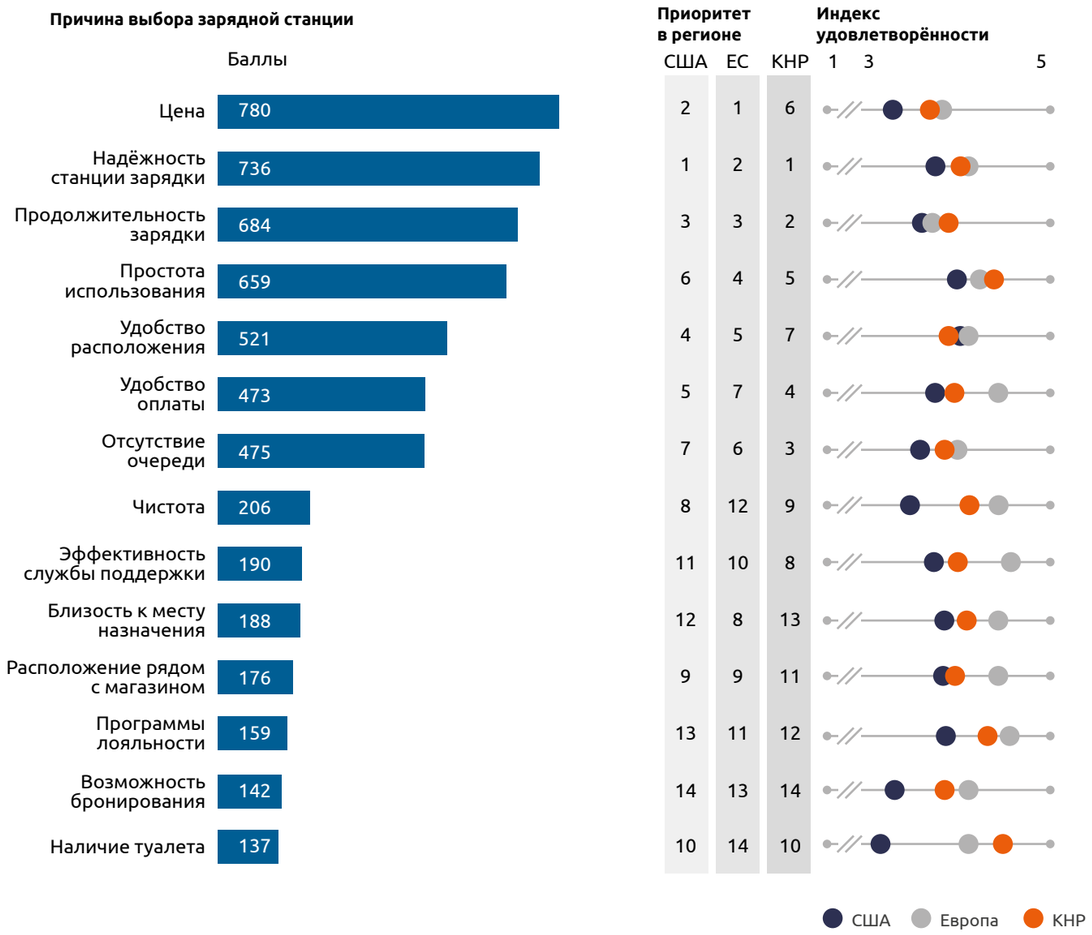


Медленная — менее 22 кВт, средняя — от 22 до 50 кВт, быстрая — от 50 до 150 кВт, сверхбыстрая — свыше 150 кВт

Рис. 2.8. Сравнение предпочтений в мощности зарядной станции (при наличии возможности и разнице в стоимости) [2.7]

Однако следует учитывать, что в настоящее время большинство владельцев электромобилей относятся к обеспеченным слоям, и для них удобство быстрой зарядки перевешивает затраты. По мере того, как цена электромобилей будет снижаться, менее состоятельные владельцы электромобилей будут склоняться к использованию медленных общественных зарядок. Станции быстрой зарядки будут пользоваться спросом, когда владельцам неудобно прерывать поездку (например, на автомагистралях), а также при наличии систем динамического ценообразования в зависимости от спроса и пиковой нагрузки. Авторы исследования [2.7] указывают, что операторам инфраструктуры следует находить разумный баланс: например, в торговом центре владельцы электромобилей имеют достаточно времени для медленной зарядки, а потому установка станции сверхбыстрой зарядки в этой локации может не окупиться.

В ходе опроса [2.7] также было выявлено различие в предпочтительных способах оплаты электрозарядки. В США, Норвегии, Великобритании и КНР водители в основном используют мобильные приложения, а в Германии и Франции — платёжные карты, привязанные к учётным записям отдельных поставщиков. Тем не менее, непосредственная оплата банковской картой распространена на всех рынках и поощряется регуляторами: в Великобритании все новые общественные станции быстрой зарядки должны быть оборудованы терминалами бесконтактной оплаты банковской картой [2.9].



Баллы: 3 балла за 1 место, 2 балла за 2 место, 1 балл за 3 место по важности,
Индекс удовлетворённости: от 1 (совсем не удовлетворён) до 5 (полностью удовлетворён)

Рис. 2.9. Основные критерии выбора общественной зарядной станции [2.7]

На рис. 2.9 приведены основные критерии выбора общественной зарядной станции, которыми руководствуются владельцы электромобилей. В США и ЕС главным критерием является стоимость, однако в КНР, где электроэнергия сравнительно дешева, это не является релевантным. В этих трёх регионах клиенты в основном ориентируются на надёжность зарядного устройства и время, необходимое для зарядки. Наличие дополнительных услуг (предварительное бронирование зарядки, программы лояльности и т.п.) не является определяющим в настоящий момент, однако в будущем это может измениться, когда надёжность и удобство зарядки станут стандартом «де-факто».

В исследовании [2.8] показано, что большинство владельцев электромобилей в ЕС знают, какой разъём совместим с их автомобилем, заранее знают, доступна ли точка подзарядки, и знают происхождение электроэнергии в общественной точке зарядки (см. рис. 2.10). С другой стороны, у них нет чёткого представления об общественных точках зарядки в окрестностях, и они не считают, что имеется существенный выбор между операторами электрозарядной инфраструктуры. Поэтому операторы электрозарядной инфраструктуры должны размещать больше информации о расположениии станций зарядки и преимуществах именно их сети.

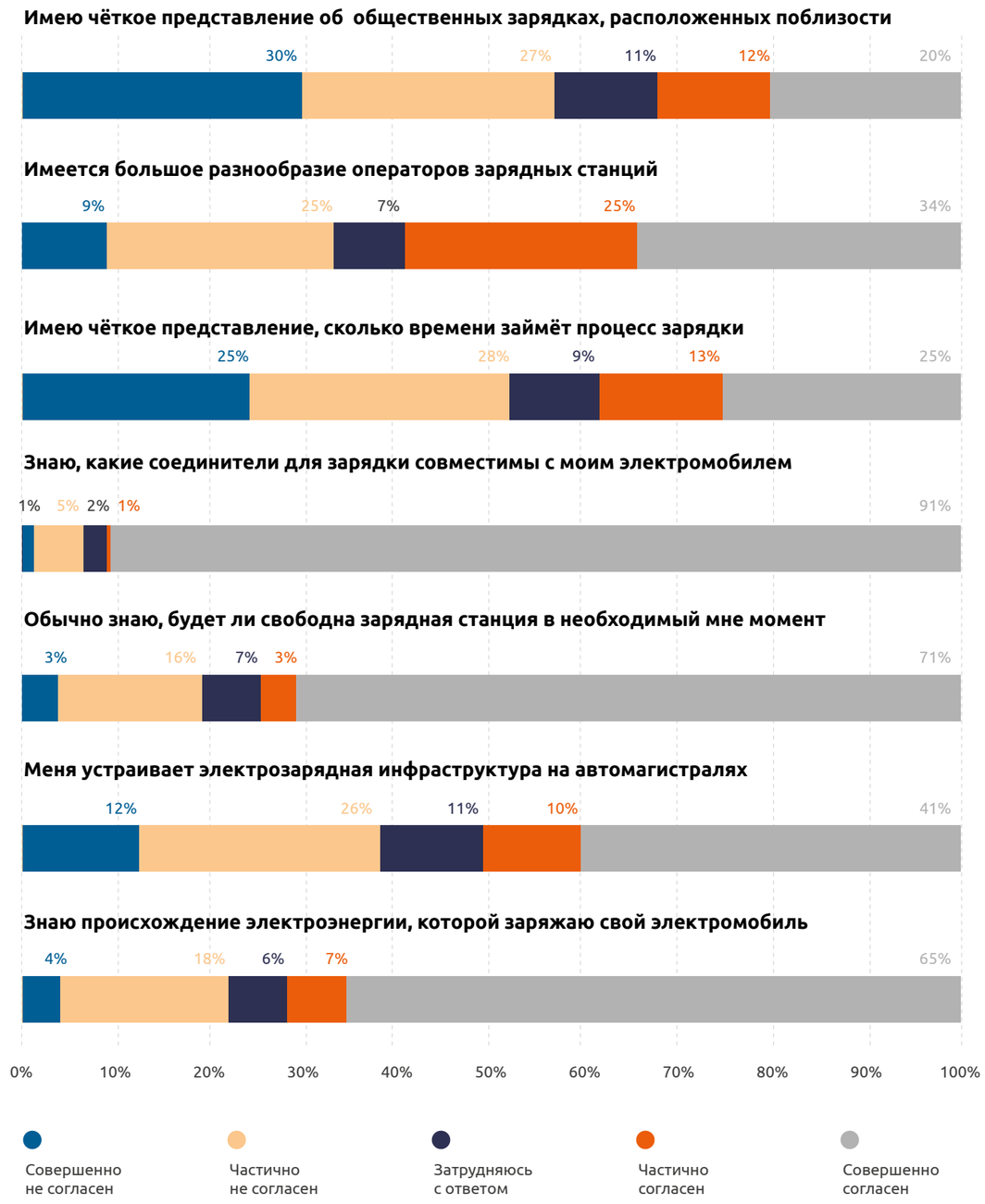


Рис. 2.10. Мнения в ЕС о характеристиках электрозарядной инфраструктуры [2.8]

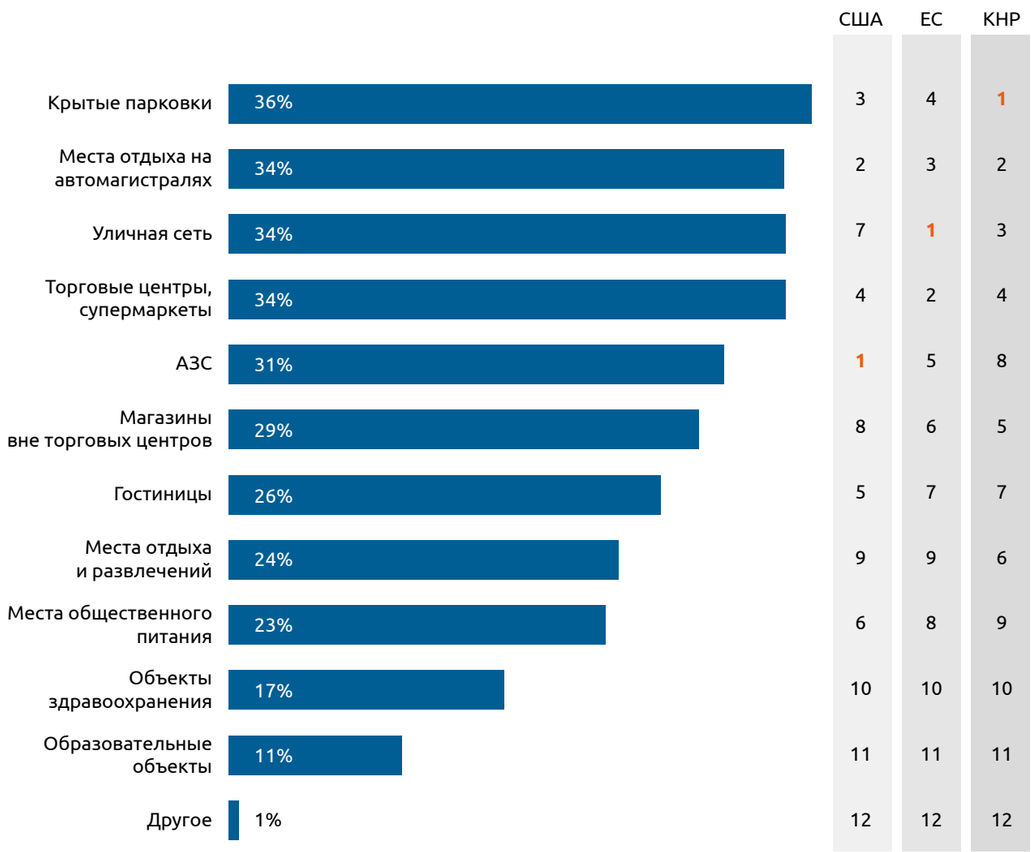


Рис. 2.11. Предпочитаемое место расположения зарядной станции [2.7]

Опрос [2.7] показал, что крайне важно разработать контуры и функции общественной зарядки, а также разместить её надлежащим образом для обслуживания наибольшего числа клиентов (см. рис. 2.11). В зависимости от региона различаются мнения водителей по вопросу о том, где они хотели бы видеть больше общественных зарядных станций. В США около 40% респондентов предпочитают видеть зарядки электромобилей на заправочных станциях и автомагистралях. Европейские водители считают, что требуется больше зарядок на улицах и в общественных местах, например, супермаркетах. Китайские владельцы электромобилей хотели бы видеть зарядную инфраструктуру на парковках многоквартирных домов. Для всех регионов другие, менее очевидные места зарядки, такие как рестораны, развлекательные заведения, медицинские учреждения или образовательные центры, не были приоритетными. Однако в будущем, когда электромобили станут массовым явлением, эти места могут стать более привлекательными, особенно по мере того, как владельцы электромобилей адаптируются к новым процедурам зарядки, которые отличаются от заправки.

К основному выводу исследования [2.7] можно отнести то, что неконтролируемый рост электрозарядной инфраструктуры не является ответом на запросы водителей. Если пункты зарядки расположены не там, где этого хотят водители, в результате получится «призрачная инфраструктура» — недостаточно используемая и быстро вандализируемая.

2.3. Наилучшие практики по интеграции электрозарядной инфраструктуры и электротранспорта в энергосистему, а также подходы к регулированию

МЕЖДУНАРОДНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ АГЕНТСТВОМ РАЗРАБОТАНО РУКОВОДСТВО [2.4] ПО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА, СОДЕРЖАЩЕЕ КОМПЛЕКС МЕР ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭТОГО ПЕРЕХОДА С ПРИМЕРАМИ ИЗ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКИ.

В целом предлагается решить четыре основные задачи:

а) создать институциональные условия перехода к электрической мобильности;

б) всесторонне оценить эффекты для энергосистемы;

в) разработать меры и технические решения по интеграции зарядной инфраструктуры в энергосистему;

г) создать систему проактивного планирования развития электрозарядной инфраструктуры.

2.3.1. Создание институциональных условий перехода к электрической мобильности

Экосистема электрической мобильности включает в себя широкий круг заинтересованных сторон — стейкхолдеров. Условно всех стейкхолдеров экосистемы электромобильности можно разделить на две части: те, кто непосредственно участвует в операциях зарядки, и те, кто занимается планированием и созданием условий для интеграции электрозарядной инфраструктуры. Обзор основных стимулов и опасений этих категорий стейкхолдеров приведён в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1. Стейкхолдеры, участвующие в операциях зарядки электромобилей

Стейкхолдеры	Характерные опасения и стимулы
Пользователи электромобилей (водители и управляющие парками коммерческих электромобилей)	Опасения: поиск свободной и эффективной зарядки, достаточный запас хода для следующей поездки, обеспечение конфиденциальности и безопасности. Стимулы: удовлетворённость процессом зарядки в целом и низкая стоимость зарядки. Приветствуют программы управления зарядкой электромобилей, но хотят быть уверены, что могут выйти из них в любой момент
Производители электромобилей и оборудования	Опасения: должны обеспечивать гарантию на ключевые компоненты (батарею), которые разработаны другими производителями, должны обеспечивать удовлетворённость процессом зарядки для клиентов. Стимулы: достижение целевой доли рынка и увеличение выручки. Могут увеличивать ёмкость батареи, а также устанавливать дополнительное оборудование в электромобиль для более точного определения запаса хода в зависимости от условий, могут участвовать в программах разработки зарядных станций
Операторы электрозарядных станций или станций замены батарей	Опасения: возможность технологического присоединения, возможность приобретения или аренды земельных участков или площадей в зданиях для установки зарядных станций, рост тарифов на электроэнергию. Стимулы: повышение экономической эффективности зарядной станции и увеличение выручки
Провайдер услуг электрической мобильности	Опасения: обеспечение интероперабельности зарядных станций для конечных пользователей. Стимулы: расширение клиентской базы, стремление к максимальному охвату пользователей электромобилей. Являются посредником между пользователем электромобиля и оператором электрозарядной инфраструктуры (например, создатели мобильных приложений, операторы регулярных подписок и проч.)
Операторы электрических сетей	Опасения: поддержание надёжности и безопасности работы сети. Стимулы: получение доходов от предоставления услуг в рамках нормативных ограничений
Энергосбытовые компании	Опасения: справедливое ценообразование на зарядку электромобилей, поддержание постоянного спроса, особенно при высокой доле ВИЭ
Агрегаторы	Стимулы: доступ к сторонним услугам, в которые они могут включить собственные сервисы. Выступают посредником между операторами зарядной инфраструктуры и операторами энергосистем

Таблица 2.2. Стейкхолдеры, участвующие в планировании инфраструктуры

Стейкхолдеры	Характерные опасения и стимулы
Национальные и региональные органы власти	Разрабатывают программы для поддержки перехода на электрическую мобильность. Совершенствуют регулирование строительной отрасли для создания благоприятных условий размещения зарядной инфраструктуры в общественных пространствах, на скоростных шоссе, в частном секторе. Могут выступать координаторами между операторами электрических сетей, органами городского и транспортного планирования, а также операторами зарядной инфраструктуры. Не всегда обладают должным уровнем экспертизы в области электрической мобильности
Регуляторы энергетической отрасли	Стимулы: удовлетворение населения за счёт установки справедливых тарифов и обеспечения надёжности предоставления услуг
Производители аккумуляторов	Опасения: доступность материалов, особенно для литий-ионных аккумуляторов. Стимулы: рост продаж аккумуляторов производителям электромобилей или операторам станций по замене батарей
Производители станций зарядки	Опасения: обеспечение совместимости силовых и коммуникационных интерфейсов, интеграция станций в системы операторов зарядной инфраструктуры и в электрическую сеть, обеспечение API для провайдеров услуг электрической мобильности
Органы городского планирования и развития транспортной инфраструктуры	Стимулы: создание эффективных решений для перемещения товаров и пассажиров на основе электрической мобильности. Обладают данными по основным маршрутам перемещения грузов и пассажиров, обладают экспертизой по оптимальному размещению станций зарядки с учётом перспективы развития городских территорий
Строительный сектор	Опасения: установка электрозарядных станций может потребовать увеличения пропускной способности сети или увеличить тариф на электроэнергию
Исследовательские организации	Ведут исследования по ключевым технологическим и бизнес-аспектам электрической мобильности. Могут проводить эксперименты и демонстрации для проверки предлагаемых подходов и бизнес-моделей. Обеспечивают экспертизу в моделировании электрической мобильности и влиянии её на другие системы

Как видно из таблиц 2.1 и 2.2, стейкхолдеры экосистемы электрической мобильности разнородны и имеют различные мотивации и опасения. Поэтому для достижения общей цели по развитию электрической мобильности необходимо создавать рабочие группы, объединяющие заинтересованные стороны. К примеру, рабочая группа может объединить региональные власти, регулирующие органы энергетического и строительного сектора, а также операторов электрозарядной инфраструктуры для решения вопроса о праве управляющих компаний многоквартирных домов взимать плату за установку зарядных станций. Также, например, рабочие группы могут решить вопрос о праве парковок запрашивать технологическое присоединение к сети для зарядных станций. Такие межведомственные рабочие группы позволяют координировать деятельность должностных лиц, обмениваться знаниями, вырабатывать новые сценарии развития электрической мобильности.

В руководстве [2.4] указывается, что стратегия развития электрозарядной инфраструктуры должна предусматривать синхронизацию планов:

а) развития генерации на основе возобновляемых источников энергии;

б) расширения пропускной способности электрической сети;

в) развития городских территорий и транспортных систем;

г) совершенствования системы налогообложения.

Рис. 2.12. Согласование запросов стейкхолдеров экосистемы электрической мобильности [2.4]

Примером согласованных действий по развитию электрической мобильности является создание в США Объединенного бюро по энергетике и транспорту (Joint Office on Energy and Transportation). Эта организация координирует действия Министерства транспорта и Министерства энергетики по развитию электрозарядной инфраструктуры. Бюро имеет годовой бюджет в размере 300 млн долл. США, который тратится на следующие цели:

- техническая помощь операторам электрозарядной инфраструктуры в её развертывании, эксплуатации и обслуживании, интеграции ВИЭ и V2G[4];
- организация обмена опытом и данными по установке, эксплуатации и утилизации зарядных станций для дальнейшего построения зарядной сети;
- исследование потребностей в зарядке на национальном и региональном уровнях;
- разработка программ обучения и сертификации;
- ведение пилотных проектов по созданию ЛЭП высокого и среднего напряжения в полосе отвода автомагистралей для организации сети быстрых зарядных станций;
- исследования по сокращению выбросов парниковых газов от транспорта.

2.3.2. Всесторонняя оценка эффектов для энергосистемы

Интеграция электрозарядной инфраструктуры в электрическую сеть может привести к следующим эксплуатационным проблемам:

- постоянная нагрузка, превышающая ограничения, приводит к преждевременному старению линии и трансформатора;
- мощная нагрузка в виде электрической зарядки может вызвать перекос фаз, что снизит качество электроэнергии;
- зарядка в пиковые периоды увеличивает спрос и требует ввода дополнительных генерирующих мощностей.

Для того, чтобы оценить степень проявления этих эффектов, необходимо:

а) классифицировать типы существующих электрических транспортных средств, характерных для данной территории в силу географических особенностей, покупательной способности, характера экономической деятельности и локальных предпочтений;

б) оценить модели использования транспортных средств в привязке к вероятным маршрутам и времени пребывания в месте назначения;

в) обобщить данные о сеансах зарядки: время подключения, тарификация, тип транспортного средства.

Исследование моделей использования транспортных средств служит основой для составления планов расположения зарядной инфраструктуры, а в дальнейшем — планов развития электрической сети. В таблице 2.3 дана классификация электрических транспортных средств в зависимости от моделей использования и соответствующие требования к зарядной инфраструктуре [2.4].

4 Vehicle-to-Grid (V2G) — концепция двухстороннего использования электромобилей, подразумевающая возможность выдачи электроэнергии от автомобиля обратно в электрическую сеть.

Таблица 2.3. Типовые характеристики зарядной инфраструктуры для различных сегментов электрических транспортных средств

Класс транспортного средства (ТС)	Сегмент использования	Модель использования	Решения для зарядки
Двухколёсные ТС	Частное использование	Стабильные маршруты дом — работа — дом и непостоянные туристические поездки	Домашняя зарядка (0,5–3,3 кВт), замена батарей
	Краткосрочная аренда (каршеринг)	Различные маршруты с большим суммарным дневным пробегом и зарядка вне расписания дома или в парке (депо)	Общественные зарядки (0,5–3,3 кВт), замена батарей
Трехколёсные ТС	Такси, срочная доставка	Различные маршруты с большим суммарным дневным пробегом и зарядка вне расписания дома или в парке (депо)	Зарядка в парке (депо), дома или в общественных местах (0,5–3,3 кВт)
Легковые автомобили	Частное использование	Стабильные маршруты дом — работа — дом и непостоянные поездки на большие расстояния	Домашняя зарядка (1,9–7,0 кВт), общественные зарядки (менее 22 кВт), быстрые зарядки на магистралях (50–350 кВт)
	Такси	Различные маршруты с большим суммарным дневным пробегом и зарядка вне расписания дома или в парке (депо)	Быстрые зарядки на маршруте (50–350 кВт), зарядки в парке (22–350 кВт)
	Краткосрочная аренда	Различные маршруты с большим суммарным дневным пробегом и зарядка вне расписания дома или в парке (депо)	Общественные зарядки (менее 22 кВт)
Малотоннажные грузовые автомобили	Срочная доставка	Различные маршруты с возвращением в парк (терминал)	Зарядка в парке (менее 22 кВт)
	Городские автобусы	Фиксированные маршруты по расписанию и короткие остановки в течение дня	Зарядки на остановочных пунктах (150 кВт и более) и в парке (22–50 кВт)
Автобусы	Школьные автобусы	Гибкие маршруты с парковкой в течение дня на конечных пунктах	Зарядки на конечных пунктах (19–50 кВт)
	Региональные и межрегиональные автобусы	Фиксированные маршруты большой протяжённости по автомагистралям с малым количеством остановок	Быстрые зарядки на маршруте и в парке (50–350 кВт)
Тяжёлые грузовики (седельные тягачи и др.)	Местная доставка	Различные маршруты с остановками в парке	Зарядка в парке (19–125 кВт)
	Региональные и межрегиональные грузоперевозки	Гибкие маршруты по автомагистралям с промежуточными остановками в местах погрузки и разгрузки	Зарядка в парке (менее 350 кВт) и на автомагистралях (1–3,75 МВт)

При разработке стратегий развития электрической мобильности следует учитывать существующий тренд на переход к общественному транспорту и средствам индивидуальной мобильности в районах с высокой плотностью населения. Например, в стратегию электромобильности г. Саанич (Канада) заложено снижение доли частных транспортных средств с 77% в 2017 году до 50% в 2050 году и, напротив, рост доли общественного транспорта с 10 до 20% за тот же период [2.10]. Аналогичным образом, транспортная и экологическая стратегии Лондона нацелены на увеличение доли пешеходного, велосипедного и общественного транспорта с 64% в 2018 году до 80% в 2041 году [2.11].

В г. Мехикали (Мексика) ключевым фактором для определения приоритетности электрификации транспорта является потенциал сокращения выбросов парниковых газов, снижения уровня шума и улучшения качества воздуха. Местные власти определили, что целесообразно будет сосредоточиться на электрификации легковых такси и региональных автобусов, а следовательно — развивать зарядные станции, ориентированные на данный класс транспортных средств [2.12].

Во многих странах Латинской Америки значительная часть ежедневных поездок совершается на автобусах, особенно в Колумбии и Чили, а потому переход к электрификации автобусов был достаточно быстрым. Электробусы сравнительно быстро достигли паритета по стоимости с автобусами на дизельном топливе из-за низких затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, а также лучшего доступа к финансированию. В то же время, стоимость владения электрифицированными двухколёсными транспортными средствами для личного пользования, перевозки пассажиров и срочной доставки ниже по сравнению с аналогичными транспортными средствами с ДВС. Поэтому страны со значительной долей двухколёсных транспортных средств ставят высокие цели по электрификации именно этого сегмента. Например, в Индонезии ориентируются на то, что к 2030 году в стране будет 13 млн электрических мотоциклов и 2 млн легковых автомобилей [2.13].

Чили является примером комплексного подхода к развитию электромобильности. Стратегия развития электрической мобильности в этой стране была разработана при участии широкого круга заинтересованных сторон и синхронизирована с долгосрочной энергетической стратегией до 2050 года [2.14]. Стратегия предусматривает меры по расширению зарядной инфраструктуры, проведению новых НИОКР, координации действий стейкхолдеров, международному сотрудничеству. Общая цель состоит в том, чтобы переход к электрической мобильности сократил выбросы парниковых газов на 20%. Для достижения этой цели к 2035 году все новые легковые и малотоннажные грузовые автомобили должны быть электрифици-

рованы, а к 2045 году также должны быть электрифицированы новые тяжёлые грузовики и автобусы. В части расширения зарядной инфраструктуры будет подготовлен национальный план типовых мест для размещения станций зарядки (критерии — транспортные потоки и доступность технологического присоединения), подготовлены руководства для органов власти, выявлены и устранены нормативные барьеры для развёртывания общественной зарядной инфраструктуры, создана информационная платформа для упрощения процесса подключения зарядных станций к сети. Для снижения нагрузки на энергосистему планируется разработать механизмы поощрения зарядки в непиковые часы, создать центр координации планирования зарядной инфраструктуры, общественного транспорта и сетевой инфраструктуры. Также зарядная инфраструктура должна включать цифровые решения, позволяющие реализовать новые энергетические сервисы, такие как V2G. В части нормативного регулирования будут разработаны стандарты зарядной инфраструктуры, требования к существующим и новым зданиям для обязательного размещения электрозарядок.

Сбор и анализ данных является неотъемлемой частью развития электрической мобильности. Важным источником данных могут быть опросы пользователей транспортных средств (как частных, так и общественных) о характере регулярных поездок, предпочтений при парковке и т.п. Это может дать информацию о требуемой ёмкости аккумуляторов, приоритетных местах размещения электрозарядок. Подобные опросы могут проводиться, например, при регистрации транспортных средств, что свяжет данные опросов с характеристиками автомобилей и электромобилей, моделями и проч.

Также при планировании необходимо использовать данные геопозиционирования. К примеру, в Европе было проведено исследование, показавшее, что доля частного автопарка, находящегося в движении одновременно, составляет не более 12% от всех автомобилей, а в некоторых районах вообще не превышает 5% [2.15]. Это открывает значительные возможности для интеграции электромобилей в сеть. В США Национальная лаборатория ВИЭ создала модели для прогнозирования потребности в медленных и быстрых зарядках на основе данных GPS и опросов водителей [2.16]. Региональные исследования данных GPS-трекеров, установленных в автобусах, грузовиках и такси, показали, что для данного транспорта характерны множественные краткосрочные остановки менее 3 часов и продолжительные остановки длительностью от 8 до 23 часов в логистических центрах.

Целесообразно обобщать данные о сеансах зарядки: время подключения, тарификация, тип транспортного средства. Для обеспечения конфиденциальности данные о сеансах зарядки могут собираться не на станциях зарядки, а при помощи телематических систем самого электромобиля, и затем в обезличенном виде передаваться для обработки. Стратегии развития электромобильности должны поддерживать создание открытых репозиториев обезличенных данных об электромобилях и электрозарядной инфраструктуре, так как это повысит эффективность планирования и новых разработок.

В результате, основываясь на информации о зарядке электромобилей, можно оценить их влияние на электрическую сеть (см. таблицу 2.4).

Таблица 2.4. Модели зарядки и влияние на сеть

Модель зарядки	Влияние на электрическую сеть	Возможности для сглаживания эффектов
Домашняя зарядка	Превышение допустимой нагрузки ожидается при увеличении доли электромобилей и, соответственно, их одновременной зарядке	Зарядка в непиковые часы и возможность сглаживания переменной выработки ВИЭ генерации за счёт регулирования времени зарядки
Зарядка на работе и в пунктах назначения	Меньшая вероятность перегрузки благодаря повышенной пропускной способности сети в коммерческих и промышленных зонах	Потенциал для увеличения выработки за счёт солнечной генерации, так как зарядка происходит в основном в дневное время. В офисных зданиях зарядка может принудительно регулироваться администратором, в пунктах назначения может быть введено ограничение времени пребывания
Зарядка в общественных местах (парковки)	Аналогично с зарядкой в домовладениях — с учётом повышенной мощности	Время парковки может быть ограничено при полной зарядке электромобиля
Зарядка на маршруте	Необходима высокая мощность. Вероятна необходимость в дополнительном трансформаторе или буферном накопителе энергии	Ограниченные возможности управления спросом из-за коротких и непрогнозируемых сеансов зарядки
Зарядка в автопарках	Необходима повышенная мощность из-за большой ёмкости аккумуляторов и размера автопарка. Возможно, потребуется отдельная подстанция, однако должна быть проведена оценка экономической эффективности. Модернизация сети может быть затруднена, особенно если автопарк расположен в зоне плотной застройки	Высокая прогнозируемость зарядки позволяет сдвинуть её в непиковые часы. Возможности для подключения электромобилей к сети (большая емкость аккумуляторов, размеры автопарка)
Замена аккумулятора	Могут потребоваться дополнительные фидеры — в зависимости от размеров станции замены аккумуляторов	Круглосуточное подключение к электросети для двусторонних перетоков и сглаживания переменной выработки ВИЭ

В жилых и коммерческих зонах дополнительная нагрузка от зарядки электромобилей может усугубить пиковые периоды в утреннее и вечернее время. Например, в Австралии проведены исследования, показавшие, что в городских районах 80-процентный рост числа электромобилей не приведёт к перегрузке сети, однако в сельской местности возможности сети уже исчерпаны: трансформаторы перегружены и нуждаются в модернизации [2.17].

Моделирование развития электромобильности может производиться на разных уровнях. Анализ на уровне распределительной сети позволяет определить конкретные проблемы с пропускной способностью и помогает сетевым организациям осуществлять планирование. Другим подходом является интегральный анализ на уровне энергосистемы. Это позволяет выявить влияние совокупной нагрузки, а также проблемы пикового спроса при дальнейшем планировании. Также такой анализ способен выявить результаты воздействия определённых классов транспортных средств. В работе [2.18] проведено стохастическое моделирование распространения электромобилей в Таиланде. Модель позволяет проследить эффекты для энергосистемы, варьируя число частных электромотоциклов и легковых автомобилей с различными значениями пиковой совокупной зарядной мощности.

Развитие электрической мобильности зависит от множества факторов. Так, увеличение ёмкости аккумуляторных батарей привело к тому, что доля чисто аккумуляторных автомобилей стала увеличиваться, а гибридных — сокращаться. Другой пример — изменение предпочтений пользователей в отношении зарядки: после того, как стала доступна соответствующая инфраструктура, операторы лёгких коммерческих автомобилей в Шеньчжене (КНР) перешли на быструю зарядку в середине смены вместо долгой ночной зарядки в автопарке [2.19].

Для учёта этих неопределенностей при планировании целесообразно применять сценарный подход. Разработка сценариев позволит создать связный набор факторов и целей, на соответствие которым будет тестироваться энергосистема. К примеру, в исследовании интеграции транспортных средств и электросетей во Франции сценарии учитывали различные доли частных электромобилей (количеством от 7 млн до 15,6 млн шт. к 2035 году), железнодорожного и электрифицированного общественного транспорта [2.20]. Важно сочетать эти сценарии с прогнозами внедрения, например, климатического оборудования (тепловые насосы, кондиционеры) или распределённых фотоэлектрических систем. В итоге сценарный подход позволяет получить представление о диапазоне гибкости энергосистемы при серьёзных различиях в потреблении.

2.3.3. Мероприятия по интеграции электрозарядной инфраструктуры и электромобилей в электрические сети

ПРОЦЕСС ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В АДАПТАЦИИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ К ВНЕДРЕНИЮ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАИБОЛЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ.

В этом процессе можно выделить три ключевых фактора, на которые должны ориентироваться сетевые организации:

а) наблюдаемость — наличие достоверной и полной информации о подключённом ресурсе, включающей местоположение, состояние зарядки, профиль нагрузки;

б) управляемость — возможность влиять на работу подключённого ресурса, в том числе посылать сигналы для запуска и прекращения зарядки, ограничения мощности;

в) поддержка — возможность давать обоснованные рекомендации о предпочтительных точках зарядки с учетом минимизации затрат на модернизацию сети и увеличение пропускной способности.

2.3.3.1. Увеличение доли управляемой зарядки

Быстрые зарядки большой мощности, устанавливаемые на автомагистралях или на конечных станциях автобусов, существенно увеличивают нагрузку в местной распределительной сети и снижают качество электроэнергии. Однако для ускорения перехода на электромобили быстрые зарядки чрезвычайно важны, так как их наличие уменьшает беспокойство водителей по поводу дальности поездки, а для автобусов и грузовиков — снижает требования к ёмкости и, как следствие, габаритам аккумулятора. По прогнозам, доля таких быстрых зарядок будет расти и к 2030 году достигнет порядка 10 млн. единиц во всём мире [2.21].

Как было сказано ранее, прямое наращивание резерва мощности и пропускной способности в энергосистеме экономически неэффективно, потому что на потребность в электрозарядке в данной местности влияет слишком большое количество разнородных факторов. Поэтому на среднесрочных и долгосрочных горизонтах планирования необходимо стремиться к максимальному увеличению доли управляемой зарядки, чтобы наиболее эффективно использовать потенциал гибкости энергосистемы.

В случаях, когда время доступа к сети превышает время зарядки полностью разряженной батареи (в домашних условиях ночью, в офисе в течение рабочего дня, в автобусных и грузовых парках) применимы следующие меры управляемой зарядки:

а) пассивные меры — отсутствует активный контроль над решениями потребителей о зарядке, но подаются сигналы для смещения времени пикового спроса. Это может осуществляться за счёт предложения выгодных тарифов во внепиковые часы, а также применения в зарядных станциях систем рандомизированной задержки, отложенного старта или ступенчатого ограничения мощности для выравнивания нагрузки[5];

б) активное однонаправленное управление зарядкой (V1G) — с согласия потребителя или при его участии зарядка может быть остановлена или запущена дистанционно, либо может быть ограничена мощность. Таким образом возможно сглаживание пиковой нагрузки, а также улучшение интеграции переменной генерации из ВИЭ. Кроме того, такой подход позволяет повысить качество электроэнергии и отсрочить модернизацию сети за счёт максимального использования пропускной способности;

в) активное двунаправленное управление зарядкой от здания (V2B) — способность электромобиля передавать электроэнергию другим потребителям, находящимся поблизости от него через точку подключения к зданию. Например, в пиковые часы энергия аккумулятора может расходоваться на кондиционирование или отопление, а в непиковые — пополняться от фотоэлектрических установок на крыше здания. Такие меры также позволяют снизить пиковые нагрузки и обеспечить резервное электроснабжение на случаи отключения;

г) активное управление с двунаправленной зарядкой от сети (V2G) — способность электромобиля передавать энергию в распределительную сеть через зарядную станцию. Данная мера преследует те же цели, что и пассивные меры, V1G и V2B, однако пользователь автомобиля может получать дополнительный доход, кроме того, этот подход применим для станций замены батарей.

В таблице 2.5 приведено обобщение преимуществ и недостатков указанных выше мер по повышению управляемости зарядки, а также даны практические примеры их реализации.

5 Произвольная задержка — рассинхронизация сеансов зарядки на зарядных станциях по времени для равномерного распределения нагрузки. Отложенный старт — смещение времени начала сеанса зарядки к концу рабочего дня или середине ночи для снижения нагрузки в пиковый период. Ступенчатое ограничение мощности — автоматическое ограничение мощности зарядки в пиковые и полупиковые часы и увеличение в непиковые.

Таблица 2.5. Подходы к управляемой зарядке

Подход (меры)	Преимущества	Недостатки	Примеры
Пассивные меры	Простота и лёгкость реализации	При большом числе электромобилей и отсутствии внешней рассинхронизации зарядки возможно образование второго пика потребления, смещённого относительно пиков в вечерние и утренние часы, как это наблюдалось в Сан-Диего (Калифорния, США) [2.22]	Исследования в Калифорнии (США) показали, что в зависимости от ценовых сигналов и стимулов 15–20% потребителей смещаются из любого часа и 20–30% потребителей смещаются в заданный час [2.23]
Активное однонаправленное управление зарядкой (V1G)	Не ускоряется деградация аккумуляторов. Нагрузка может быть перенесена на время, когда доступна генерация из ВИЭ. Существуют возможности использования электрозарядной инфраструктуры для регулирования частоты	Не в полной мере используются возможности ВИЭ	Моделирование в Калифорнии (США) показало, что за счёт снижения пиковых нагрузок и активного задействования генерации из ВИЭ можно сэкономить 210–660 млн долл. США ежегодно [2.24]. Расчёты RTE (Франция) показывают, что применение V1G в энергосистеме может высвободить от 6 до 13 ГВт мощности по сравнению с неконтролируемой зарядкой при пиковом спросе 65 ГВт в 2035 году [2.25]
Активное двунаправленное управление зарядкой от здания (V2B)	Увеличивается потребление от местной генерации из ВИЭ. Позволяет избежать резких изменений в потреблении. Способствует повышению устойчивости	V2B ограничена локальной энергосистемой здания	Исследования в США показали, что при наличии в здании фотоэлектрической установки и системы V2B возможно создание резервного источника электропитания на срок от 19 до 600 часов [2.26]
Активное управление с двунаправленной зарядкой от сети (V2G)	Может использоваться для регулирования частоты. Помогает увеличивать долю генерации из ВИЭ в энергосистеме	Возможна ускоренная деградация аккумулятора из-за увеличения циклов зарядки. Необходима оптимизация алгоритмов	Пилотный проект в Дании показал, что вознаграждение за участие в регулировании частоты и доходы от выдачи электроэнергии в сеть могут превышать ежегодные расходы на один электромобиль [2.27]
Активное управление двунаправленной зарядкой с помощью станций замены батарей (S2G/B2G)	Проще осуществлять агрегацию. Более длительный период для участия в программах обеспечения гибкости	Доступная гибкость определяется компромиссом между суммарной ёмкостью аккумуляторов и затратами на их хранение и обслуживание	В отдельных городах Китая проводятся пилотные проекты: станции замены аккумуляторов выдают энергию в сеть для регулирования частоты и заряжают аккумуляторы в часы минимального потребления. Средняя мощность станции составляет 100 кВт

Как показано в таблице 2.5, препятствием для активного коммерческого внедрения V2G является отсутствие консенсуса в том, влияет ли увеличение частоты и изменение характера циклов зарядки/разрядки на ускорение деградации аккумуляторных батарей. Многие производители отказываются от гарантийных обязательств в случае использования аккумулятора в системах V2G.

Однако в последние годы ситуация изменяется. Во-первых, в 2022 году были приняты Глобальные технические правила ООН № 22, касающиеся долговечности бортовых аккумуляторов для электромобилей [2.28]. Если в конструкцию транспортного средства заложена функция V2G (или V2B), то эквивалентный виртуальный пробег будет рассчитываться на основе энергии разряда в режиме V2G и сертифицированного потребления энергии электромобилем. Общий пробег будет представлять собой сумму виртуального и реального пробегов. Гарантийные обязательства будут распространяться на общий пробег. В перспективе системы V2G будут включать средства контроля параметров аккумулятора для подбора таких режимов и алгоритмов зарядки и разрядки, которые максимально снизят скорость его деградации.

2.3.3.2. Смягчение влияния электрических зарядных станций на электрическую сеть

Очевидно, что зарядные станции, пользующиеся высоким спросом и имеющие высокую мощность, должны размещаться в местах с достаточной пропускной способностью сети. Для этого сетевым компаниям целесообразно публиковать регулярно обновляющуюся карту доступной мощности (загрузки центров питания) и планов модернизации сети. Кроме того, стоит предусмотреть наложение слоёв с данными о парковках, транспортных коридорах, планируемой застройке. На рис. 2.13 показан пример интерактивной карты, разработанной сетевой компанией в штате Нью-Джерси, США [2.29].

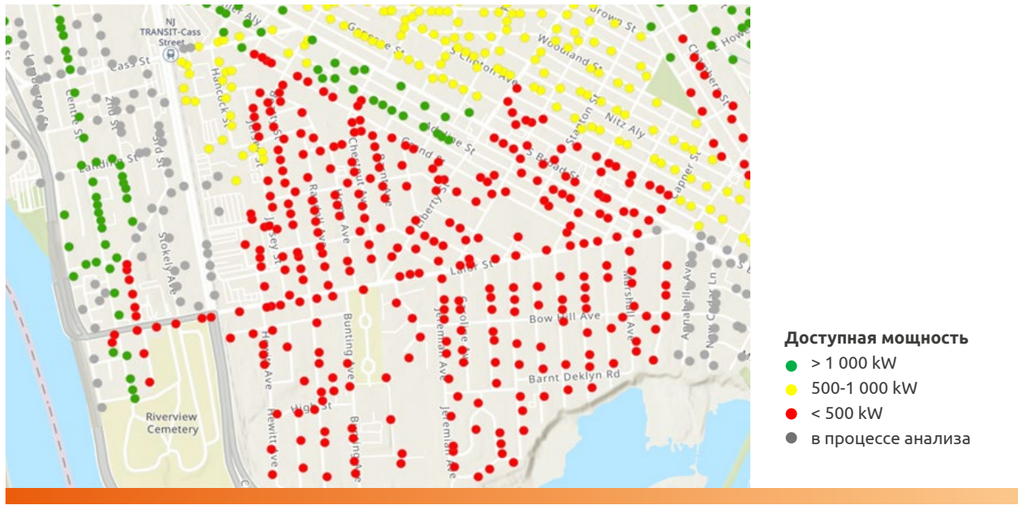


Рис. 2.13. Пример интерактивной карты доступной мощности в распределительной сети [2.4]

Ещё один механизм снижения нагрузки на сеть заключается в том, чтобы установить гибкие тарифы на технологическое присоединение в зависимости от доступной мощности. Соответственно, эта дополнительная плата будет перенесена в цену зарядки электромобиля, что, в свою очередь, повлияет на спрос. Это заставит операторов электрозарядной инфраструктуры более тщательно просчитывать свои планы, и пространственное распределение зарядных станций станет более равномерным.

Другой альтернативой является *внедрение зарядных станций с модулируемой мощностью*. В пиковые часы станция может быть ограничена в мощности либо вообще отключена. В отдельных локациях это поможет избежать дополнительных инвестиций в модернизацию сети и снизить затраты, перекладываемые на операторов электрозарядной инфраструктуры и далее на владельцев электромобилей. Например, такие решения разработаны SP Energy Networks — крупнейшим оператором сетей на севере Великобритании [2.30]. Недостаток этого варианта заключается в том, что он может вызвать недовольство пользователей, например, из-за непредсказуемо увеличившегося времени зарядки.

Для сглаживания пикового спроса операторы электрозарядной инфраструктуры могут устанавливать *буферные накопители энергии*. Буферный накопитель может устанавливаться в том месте, где нагрузка на сеть ниже, а также использоваться несколькими зарядными станциями сразу. Существуют примеры, когда в качестве буферного накопителя использовались восстановленные аккумуляторы [2.31].

В некоторых случаях целесообразно, чтобы электрозарядная инфраструктура *участвовала в программах управления спросом*, снижая потребление в пиковые периоды. Однако это требует от оператора дополнительных расходов для внедрения цифровых систем управления (в дальнейшем эти расходы будут переложены на потребителей), способных затормозить развёртывание инфраструктуры.

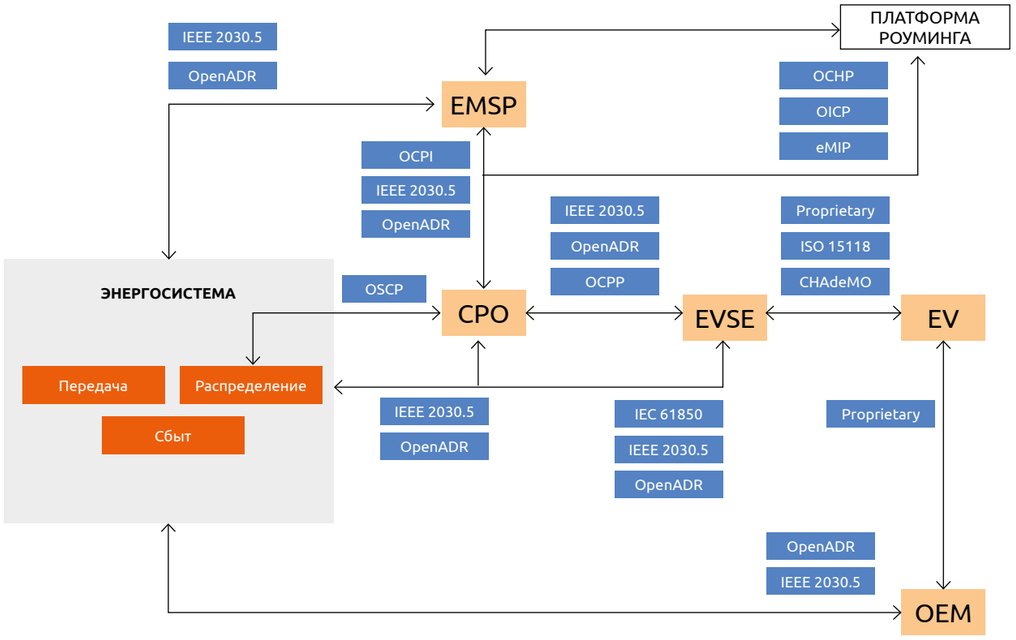
Кроме описанных выше методов снижения нагрузки на сеть, существует ряд подходов, применимых для особых условий:

- создание станций коллективной зарядки, подключаемых к сетям более высокого уровня напряжения: мощность подключения может быть снижена за счёт установки чётких графиков зарядки (например, в автобусных парках);
- создание зарядных узлов там, где доступна требуемая мощность: применимо для тех же автобусных парков, где автобусы могут по графику перегоняться к зарядному узлу;
- создание локальной генерации (в том числе из возобновляемых источников) для покрытия потребностей по мощности.

Как было показано ранее, пользователям известно, будет ли совместима зарядная станция с их электромобилем, однако дополнительные функции (управляемая зарядка, гибкая тарификация и пр.) зависят от коммуникационных протоколов, которые должны поддерживаться всеми производителями оборудования. Использование стандартизованных протоколов связи между электромобилем, электрозарядной инфраструктурой и энергосистемой позволяет обеспечить требуемый уровень гибкости. Ниже перечислены основные протоколы, необходимые для интеграции электрических транспортных средств в сеть:

- стандарт ISO/IEC 15118 устанавливает протокол обмена данными между электромобилем и электрозарядной инфраструктурой: передаются параметры зарядки, основанные на профиле пользователя, также поддерживаются протоколы для реализации V2G;
- CHAdeMO — протокол, первоначально разработанный в Японии, который позволяет осуществлять V2G в системах постоянного тока;
- IEC 61850 — обширная группа стандартов, определяющих коммуникационные протоколы для интеллектуальных устройств цифровых подстанций;
- протокол Open Charge Point Protocol (OCPP) предназначен для передачи данных о возможности интеллектуальной зарядки (доступная мощность, текущий тариф на электроэнергию, предпочтения пользователей и т.п.), в перспективе этот протокол станет частью международного стандарта IEC 63110;
- протокол Open Charge Point Interface (OCPI) предназначен для упрощения коммуникации между различными операторами электрозарядной инфраструктуры, включая платежи, интеллектуальную зарядку и т.п. (аналог роуминга для мобильной сети связи);
- протокол Open Automated Demand Response (OpenADR) предназначен для передачи информации о ценах и событиях между сбытовой организацией и подключёнными распределёнными энергоресурсами;
- стандарт IEEE 2030.5 широко используется в США для управления распределёнными энергоресурсами (реагирование на спрос, управление нагрузкой, гибкое ценообразование);
- протокол Open Smart Charging Protocol предназначен для передачи операторам электрозарядной инфраструктуры прогнозов доступной мощности, в том числе с учётом фотоэлектрических источников или накопителей энергии.

Пример экосистемы V2G и соответствующие протоколы между её частями показаны на рис. 2.14. Внедрение ключевых интеллектуальных функций в электрозарядной инфраструктуре может осуществляться директивно или с помощью мер экономического стимулирования. Например, в Бельгии операторы зарядных станций могут получить налоговые вычеты или субсидии до 1500 евро, если они подключат их к цифровым системам управления по стандартным протоколам [2.32]. В Люксембурге интеллектуальные зарядные станции, соответствующие стандарту OCPP, получают субсидию в размере 1200 евро [2.33]. В Нидерландах поддержка стандартов OCPP и OCPI обязательно входит в требования технического задания при организации тендеров на установку зарядных станций [2.34]. В Великобритании в соответствии с правилами [2.35] все зарядные станции в жилых домах и офисах должны быть оснащены интеллектуальными функциями с использованием стандартных протоколов. Это указание объясняется тем, что пользователи не должны ждать, пока рынок самостоятельно придёт к интероперабельности. Вместе с тем, нормативные документы в различных странах не обязывают пользователей участвовать в интеллектуальной зарядке, но обеспечивают готовность инфраструктуры и возможность выбора.



CPO — оператор зарядной инфраструктуры, EVSE — зарядная инфраструктура, EMSP — провайдер услуг, EV — электромобиль, OEM — производитель комплектующих

Рис. 2.14. Протоколы информационного обмена в экосистеме V2G [2.4]

Ещё одним важным обстоятельством является то, что пока большая часть зарядки осуществляется дома, операторы сетей и сбытовые компании не «видят» профили зарядки электромобилей. Поэтому целесообразным является создание интеграционных платформ по открытым протоколам для того, чтобы информация о зарядке могла поступать туда непосредственно от автомобиля, а не через зарядную станцию. Зная профили потребления, сбытовые и сетевые организации смогут предлагать более гибкие условия. Такие платформы на основе открытого протокола OpenADR созданы, например, в США [2.36].

В рамках реализации стратегии развития электрической мобильности необходимо проработать рыночные механизмы вознаграждения поставщиков услуг гибкости за счёт экономии. В таблице 2.6 приведены возможные рыночные механизмы вознаграждения поставщику услуг гибкости — пользователю электромобиля или оператору инфраструктуры.

Таблица 2.6. Рыночные механизмы вознаграждения за гибкость зарядки электромобилей

Сектор	Услуги гибкости	Рыночный механизм
Распределение	Нейтрализация дисбаланса фаз	Нет данных, обеспечивается соблюдением правил
	Участие в управлении регулированием напряжения	Пока нет зрелых рыночных механизмов
	Участие в управлении перегрузками	Тарифы, гибкие контракты, тендеры на гибкость, локальные рынки гибкости
	Участие в устранении дефектов	Двусторонние контракты, тендеры на гибкость
Передача	Участие в балансировании и поддержании резервов	Рынок вспомогательных услуг
	Покупка электроэнергии в непиковые часы	Оптовые энергетические рынки

Довольно сложной темой является динамическое тарифообразование на электроэнергию для электрозарядной инфраструктуры. В мире существуют различные примеры.

Тарифы могут изменяться несколько раз в течение суток, причём учёт должен вестись в том же временном интервале, что и тарифные настройки (например, каждый час). В Таиланде тарифы в непиковый период для потребителей с подключённой мощностью менее 12 кВт могут составлять 45% от стандартных, в Корее для владельцев электромобилей существуют специальные тарифы в зависимости от времени использования, дифференцированные по сезонам и уровню напряжения [2.37]. Тарифы могут регулироваться периодически, к примеру, с учётом цен на рынке на сутки вперед, однако это влечёт за собой потерю информации и эффективности; также целесообразно модифицировать тариф, чтобы избежать пиков отскока [2.38].

Тарифы могут изменяться в режиме реального времени, особенно это целесообразно в энергосистемах, где высока доля переменной генерации и баланс спроса и предложения меняется в течение дня. Установка таких тарифов требует наличия развитой измерительной и коммуникационной инфраструктуры и систем автоматизации. Исследование, проведённое в ЕС, показало,

что использование ценообразования в реальном времени позволяет сэкономить до 27% затрат на производство электроэнергии и сократить ограничение выработки ВИЭ на 14% [2.39].

Известны варианты, в которых тарифные ставки фиксированы, но при необходимости снижения нагрузки в определённое время суток или года могут быть установлены исключительно высокие цены на электроэнергию. Такая структура тарифа распространена в штатах Колорадо и Калифорния [2.40].

Преимущество динамических тарифов перед другими способами регулирования нагрузки заключается в том, что они технологически независимы. С другой стороны, такие тарифы распространяются на все бытовые нагрузки, а потому требуют длительного согласования. Поэтому в некоторых случаях целесообразно создавать отдельные тарифы для зарядки электромобилей, как это сделано в отдельных штатах Индии [2.41]. Это позволяет разграничить базовые потребности домохозяйств в электроэнергии и потребность в зарядке электромобиля.

Добавление в энергосистему нагрузки от электрозарядной инфраструктуры влечёт за собой потребность в генерации, которая удовлетворяется за счёт технологий, производящих больше выбросов. Таким образом, несмотря на то, что из-за высокой эффективности технологии преобразования энергии электромобили в целом считаются более чистыми, чем их аналоги с ДВС, их эксплуатационные выбросы всё же зависят от интенсивности выбросов генерации, используемой для зарядки. Следовательно, для обеспечения декарбонизации транспортного сектора необходима дальнейшая декарбонизация электроэнергетики, которая может быть осуществлена за счёт более широкого использования возобновляемых источников энергии. Согласование нагрузки от зарядки электромобилей с доступностью генерации из ВИЭ позволяет повысить стабильность работы энергосистемы (см. рис. 2.15), как показывает пример системы, реализованной в Республике Корея [2.42]. Скоординированный план развития ВИЭ и электрической мобильности поможет обеспечить эффективную декарбонизацию транспорта.

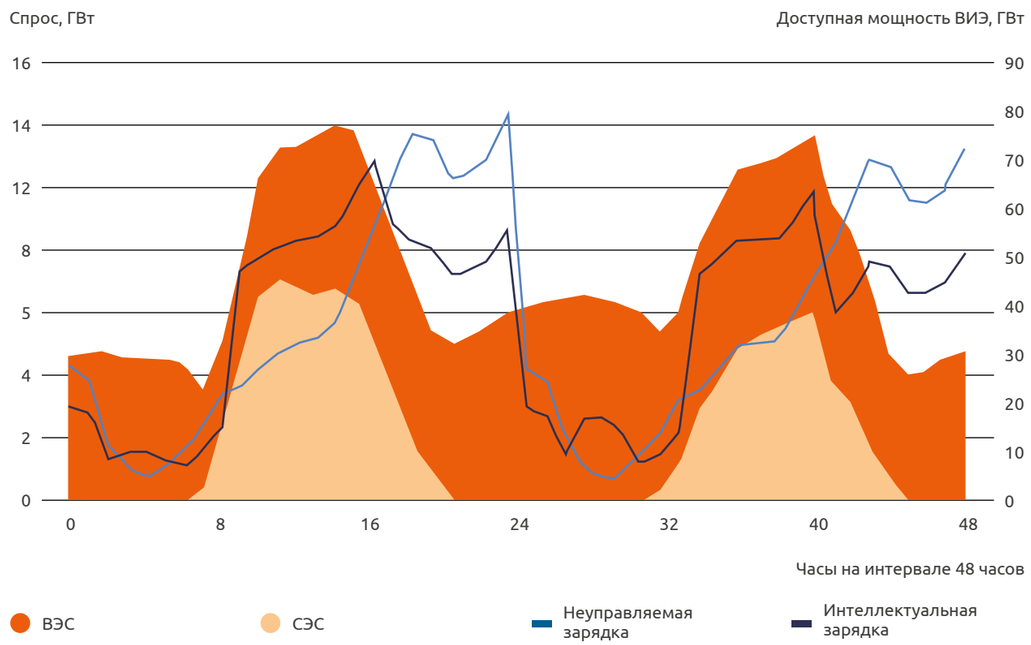


Рис. 2.15. Согласование режимов работы ВИЭ и электрозарядной инфраструктуры в Республике Корея [2.4]

В либерализованных энергосистемах реализуются соглашения о покупке электроэнергии из возобновляемых источников и «зелёные тарифы», что способствует инвестициям в ВИЭ [2.43]. Однако в указанных механизмах могут быть установлены достаточно высокие требования к минимальной подключённой мощности. В Индии, например, минимальный порог для механизма Green Open Access снижен с 1 МВт до 0,1 МВт, что увеличивает его доступность [2.44]. Стимулы для развёртывания зарядной инфраструктуры могут быть привязаны к необходимости генерации из ВИЭ. Так, в Бельгии для получения налоговых льгот на зарядку в жилых домах пользователь должен доказать, что зарядная точка снабжается возобновляемой электроэнергией либо через розничный контракт, либо через собственный возобновляемый источник энергии, либо через сочетание двух вариантов [2.45]. В Ганновере в период с 2018 по 2021 годы гранты в размере 500 евро были предоставлены тем, кто планировал построить зарядные устройства, работающие на ВИЭ. Ещё одна мера заключается в том, чтобы системные операторы определяли и публиковали места, где совместное размещение ВИЭ и электронных зарядных устройств обеспечит преимущества для энергосистемы.

В руководстве [2.4] предлагается схема, которая может быть использована руководящими органами при развёртывании экосистемы электрической мобильности.

Первая фаза. Нагрузка от зарядки электромобилей не оказывает заметного влияния на сеть, уровень проникновения электромобилей невелик, либо нагрузка мала по отношению к доступной мощности. На этом этапе необходимо расширять сеть зарядной инфраструктуры, обеспечивать обязательное внедрение стандартов совместимости. Следует создавать базы данных электромобилей и зарядных станций, проводить исследования данных о сценариях использования электромобилей и сценариях зарядки.

Вторая фаза. Нагрузка от электрозарядной инфраструктуры значительна и оказывает влияние на работу энергосистемы, однако потребность в гибкости минимальна. Возникают проблемы с пиковой нагрузкой в масштабах всей системы. Целесообразно внедрять динамическое ценообразование для сглаживания пиковой нагрузки с одновременным развитием инфраструктуры учёта. Для координации зарядки целесообразно развивать протоколы связи и платформы обмена данными. Также должно поощряться потребление из локальных источников генерации, в том числе ВИЭ.

Третья фаза. Вырастает спрос на гибкость в связи с ограничениями пропускной способности сети, мер пассивной тарификации недостаточно для скоординированного смещения пиков нагрузки. Целесообразно развёртывание активного управления спросом (V1G), в том числе усиление связи и управления, модернизация соответствующей сетевой инфраструктуры.

Четвертая фаза. Вырастает спрос на гибкость, особенно в энергосистемах с высокой долей генерации из ВИЭ. Следует активно развивать V2G-решения, в том числе протоколы связи, механизмы ценообразования и вознаграждения.

Существует ряд иных внедрённых мер регулирования, которые стимулируют развитие электрической мобильности:

а) установка жёстких временных рамок для технологического присоединения зарядной станции (например, в Нидерландах не более 18 недель при мощности не более 10 МВт [2.46]);

б) обязательная публикация карт доступной мощности;

в) стимулирование внедрения восходящих моделей сети с пространственной привязкой на основе сценариев использования электромобилей потребителями (так, в Нидерландах моделирование проводится на уровне микрорайона [2.47]);

г) установка целевых показателей и нормативных стимулов для достижения электрической мобильности.

2.3.4. Планирование развития электрозарядной инфраструктуры

При планировании часто не учитываются новые технологии и их возможности. Например, моделирование показало, что внедрение технологии интеллектуальной зарядки для парка размером около 30 млн электромобилей может снизить совокупные инвестиции в распределительные сети до 2050 года с 80 млрд до 54 млрд евро [2.48].

Инвестиции в меры повышения энергоэффективности и программы гибкого регулирования спроса могут быть экономически эффективными. Исследования в США показали, что среднее снижение нагрузки от 1 до 85 МВт за счёт сочетания энергоэффективных технологий, реагирования на спрос и применения систем накопления энергии может увеличить среднее отношение выручки к затратам до 1,4 [2.49].

Также целесообразен переход к вероятностному моделированию в планировании энергосистем, это поможет учесть неопределенности в генерации и нагрузке.

Кроме того, могут быть внедрены меры, поощряющие электроэнергетические компании внедрять инновации, в частности, системы интеллектуальной зарядки. К примеру, в Великобритании внедрена система Revenue Using Incentives to Deliver Innovation and Outputs, которая предусматривает вознаграждение компаний, инвестирующих в инновации [2.50].

2.4. Обзор стандартов по электрозарядной инфраструктуре

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ ОХВАТЫВАЕТ АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ И ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ, ПЛАТЁЖНЫЕ СЕРВИСЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ И ДРУГИЕ АСПЕКТЫ.

По типу зарядку можно разделить на кондуктивную и беспроводную. Параметры кондуктивной зарядки определяются стандартами IEC 61851 (характерно для Европы) и SAE J1772 (характерно для Северной Америки). Стандарт IEC 61851 предполагает три режима с номинальным переменным током 16 и 32 А для однофазных и трёхфазных сетей (в том числе для двунаправленной зарядки) и один режим для быстрой зарядки постоянным током (до 200 А при напряжении 400 В). Стандарт SAE J1772 устанавливает три уровня с номинальным переменным током от 12 до 160 А при напряжении от 120, 208–240 и 600 В (трёхфазная сеть) и два уровня для быстрой зарядки постоянным током (до 400 А при напряжении до 1000 В).

Также существуют следующие основные стандарты для устройств беспроводной зарядки [2.51]:

- стандарт SAE J2954 устанавливает параметры статической (без движения) беспроводной зарядки легковых автомобилей при трёх уровнях мощности — 3,7, 7,7 и 11 кВт; для повышения КПД используется явление резонанса в связанных индуктивных контурах; стандарт не поддерживает двунаправленную зарядку;
- серия стандартов IEC 61980 и ISO 19363 также устанавливает три уровня мощности — 7,5, 15 и 120 кВт при беспроводной индукционной зарядке электромобилей; кроме того, установлены требования к соосности катушек приемника и передатчика, безопасности и пр.

Исторически сложилось, что в различных регионах мира используются разные типы соединителей для электрозарядных станций и электромобилей, параметры которых регламентированы соответствующими стандартами (см. рис. 2.16).

Соединители по стандарту SAE J1772 тип 1 в основном используются в Северной Америке и Японии. Они имеют пять контактов и рассчитаны на мощность до 19,2 кВт по однофазной линии переменного тока. Этот же тип соединителя был добавлен в 2009 году в международный стандарт IEC 61296. Соединители Mennekes (также известные как тип 2) разработаны в 2013 году, имеют семь контактов и допустимый ток 70 А по однофазной линии и 63 А по трёхфазной линии при максимальном напряжении 500 В. В этих соединителях предусмотрен механизм автоматической блокировки и разблокировки. Параметры этих соединителей также охватываются стандартом IEC 61296. Соединители тип 1 и тип 2 имеют линию Control Pilot (по стандарту IEC 61851-1) для коммуникации между зарядной станцией и электромобилем. Путём широтно-импульсной модуляции сигнала Control Pilot во время сеанса зарядки задаются шесть состояний: режим ожидания, транспортное средство подключено, зарядка разрешена, вентиляция, отключение зарядной станции, ошибка [2.53].

В 2012 году семь крупных производителей автомобилей (Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche и Volkswagen) представили стандарт комбинированной системы зарядки CSS. Данный стандарт поддерживает зарядку переменным и постоянным током, балансировку нагрузки, аутентификацию и прочие функции (также включены в стандарт IEC 61851-1). Кроме широтно-импульсной модуляции по линии Control Pilot, предусмотрена передача высокочастотного сигнала для реализации более сложных функций управления. Соединитель CSS является фактическим расширением упомянутых выше соединителей тип 1 и тип 2 за счёт добавления контактов для зарядки постоянным током.

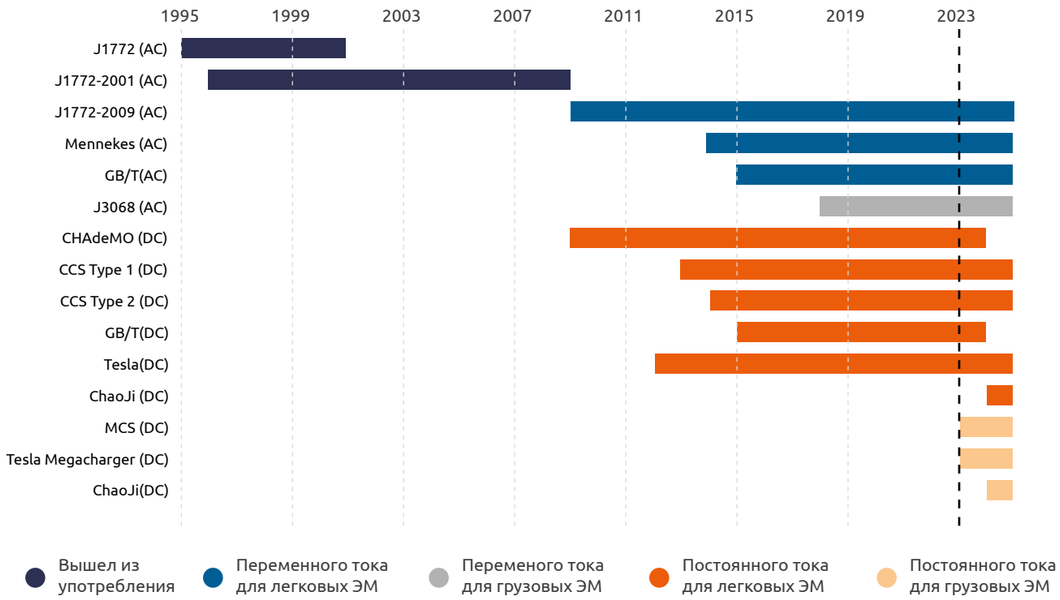


Рис. 2.16. Стандарты соединителей электрозарядных станций [2.52]

В настоящий момент в Северной Америке распространены соединители CCS1, а в Европе — соединители CCS2. В Европейском союзе новая электрозарядная инфраструктура должна обязательно содержать соединитель типа CCS2.

В Северной Америке на рынке электромобилей доминирует компания Tesla, которая не приняла стандарт CCS, а разработала свою оригинальную систему зарядки. В ноябре 2022 года Tesla обнародовала собственную спецификацию и объявила её североамериканским стандартом зарядки — NACS [2.53]. Стандарт также предусматривает зарядку постоянным и переменным током, однако максимальная допустимая мощность составляет 1 МВт. Крупнейшие автопроизводители Ford и General Motors объявили, что полностью перейдут на стандарт NACS к 2025 году. Во многом это объясняется тем, что Tesla владеет крупнейшей сетью зарядных станций в Северной Америке.

В КНР в 2015 году были введены национальные стандарты зарядных устройств для электромобилей GB/T. Допустимая мощность GB/T не превышает 125 кВт (по сравнению с 350 кВт для CCS1). В 2024 году планируется принятие нового стандарта зарядных станций ChaoJi, разработанного совместно КНР и Японией. Предполагается, что стандарт заменит японский соединитель CHAdeMO и китайский GB/T, максимальная допустимая мощность составит 500 кВт. Япония согласует стандарты с Китаем, так как КНР является крупнейшим рынком электромобилей [2.52].

Совместимые зарядные устройства по различным стандартам приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Совместимость зарядных станций

Соединитель для зарядки переменным током	Совместимый соединитель для зарядки постоянным током	Основной регион использования
GB/T AC	GB/T DC	КНР
J1772	CHAdeMO	Северная Америка, Япония, Республика Корея
J1772	CCS1	Северная Америка
J1772	Tesla (через адаптер)	Северная Америка
Mennekes	CCS2	Европа

Разработан ряд открытых и международных стандартов коммуникационных протоколов для электрозарядной инфраструктуры.

Open Charge Point Protocol (OCPP) — открытый протокол связи между зарядными станциями и информационными системами их операторов. Протокол разработан Open Charge Alliance и де-факто является стандартом для обеспечения интероперабельности зарядной инфраструктуры. Последняя версия протокола OCPP 2.0.1 содержит новые функции для управления устройствами, обработки транзакций, обеспечения информационной безопасности, интеллектуальной зарядки и проч.

Протокол OCPP в том числе обеспечивает поддержку стандарта ISO 15118 для двунаправленной зарядки электромобиля. Протокол ISO 15118 является ключевым звеном для реализации системы Plug&Charge. При вставлении вилки зарядной станции в гнездо электромобиля автоматически осуществляется обмен цифровыми сертификатами с информационной системой оператора электрозарядной инфраструктуры, аутентификация электромобиля (пользователя), инициация сессии зарядки и оплата по её завершении.

Существует ряд протоколов для осуществления роуминга зарядки электромобилей в сетях различных операторов. Протокол Open Charge Point Interface (OCPI) разработан EV Roaming Foundation и предназначен для обмена информацией о точках зарядки между операторами инфраструктуры и компаниями, предоставляющими услуги на рынке электрической мобильности. Стандарт описывает процессы авторизации пользователя, передачи информации о точках зарядки, тарифах, сеансах зарядки и пр. В настоящий момент действует версия протокола OCPI 2.2.1. Аналогичные протоколы — Open Clearing House Protocol, Open InterCharge Protocol, eMobility Inter-Operation Protocol — реализуют обмен данными для распространённых сервисов роуминга зарядки e-clearing.net, Hubject и GIREVE.

Также интерес представляет ряд протоколов для управления электрозарядными станциями как распределёнными энергоресурсами. Открытый протокол OpenADR предназначен для реализации автоматизированного реагирования на изменение спроса. Он используется для отправки сигналов от системных операторов к источникам генерации и сетевым организациям с целью балансировки энергопотребления в пиковые периоды. Для связи между системой управления зарядной станцией и системой управления энергопотреблением объекта (района сети) используется Open Smart Charging Protocol (OSCP). Протокол используется для передачи прогноза доступной мощности операторам зарядных станций. В зависимости от прогноза

операторы зарядных станций могут устанавливать профили зарядки, чтобы не перегружать сеть [2.53].

Стандарт IEEE1547 устанавливает технические спецификации коммуникации между оператором сети и распределёнными энергетическими ресурсами. Стандарт содержит требования к производительности, параметрам эксплуатации, испытаниям, обеспечению безопасности и техническому обслуживанию межсоединений. Установленные требования применимы ко всем распределённым энергетическим ресурсам, подключённым к сети при типовых параметрах напряжения.

Underwriters Laboratories (США) опубликован ряд стандартов, определяющих различные аспекты интеграции распределённых энергетических ресурсов, в том числе зарядных станций для электромобилей. Наиболее важным среди них является стандарт UL 1741, который устанавливает требования к инвертерам [4.22]. Также Underwriters Laboratories выпущен ряд стандартов по обеспечению электробезопасности зарядных станций ANSI/UL 2202, ANSI/UL2594, UL 9741, UL 2231 и др.

При реализации стратегии развития электрической мобильности доступны три опции стандартизации зарядных устройств:

а) отсутствие регулирования, что позволяет использовать множество различных типов зарядных устройств без обеспечения совместимости;

б) принятие единого национального стандарта, которому должны следовать все транспортные средства и зарядные устройства на рынке;

в) принятие правил совместимости, которые позволят охватить наибольшее количество моделей электромобилей.

При реализации политики невмешательства оборудование на некоторых зарядных станциях, вероятно, будет несовместимо с отдельными моделями электромобилей, в результате чего они останутся без обслуживания, также возникнет дефицит зарядных станций. Кроме того, неудовлетворённость потребителей уровнем удобства и доступности зарядки замедлит распространение электромобилей. Крупные автопроизводители смогут использовать свою рыночную власть для монополизации предоставления зарядной инфраструктуры и определения цен на зарядку (как это делала, например, компания Tesla в США до 2012 года) [2.52].

Вариант с одним национальным стандартом зарядных станций может подразумевать разные степени жёсткости: либо требование к модификации транспортного средства при его сертификации в стране-импортёре, либо требование к обязательному предоставлению адаптера. Например, в ЕС разрешается использование любых типов зарядных устройств, однако они обязательно должны быть оснащены соединителем типа CCS2 или Mennekes. В КНР регулирование требует, чтобы все зарядные устройства были оборудованы по стандарту GB/T. Стратегия единого стандарта может упростить планирование и строительство зарядной инфраструктуры, но также может исключить из обращения многие транспортные средства. Также единый стандарт позволяет избежать избыточности инфраструктуры, что снижает общие затраты при переходе на электромобили. Недостатком указанного подхода является то, что в странах, где большинство электромобилей импортируются, введение жёсткой стандартизации зарядных станций может привести к снижению числа доступных моделей.

Промежуточный вариант — допустимость использования нескольких стандартов зарядных станций. Этот путь способствует расширению парка электромобилей. Недостатком данного подхода являются увеличенные затраты на инфраструктуру.

Свежим примером подхода к стандартизации зарядной инфраструктуры могут послужить правила, вступившие в действие в США в марте 2023 года. Правила определяют требования, порядок установки, эксплуатации и технического обслуживания зарядных станций, размещаемых за счёт средств федерального бюджета (National Electric Vehicle Infrastructure Standards and Requirements) [2.54]. Основные технические требования следующие:

- зарядная станция должна иметь как минимум четыре порта для одновременной зарядки (порт быстрой зарядки постоянным током, порт зарядки переменным током уровня 2 или их комбинация); порт быстрой зарядки постоянным током может иметь любые соединители CSS, но поддержка хотя бы одного CSS1 обязательна; порт переменного тока должен иметь соединитель J1772;
- зарядная станция должна обеспечивать мощность минимум 150 кВт для порта быстрой зарядки постоянного тока и минимум 6 кВт для портов переменного тока;
- общественные зарядные станции должны быть доступны 24 часа в сутки семь дней в неделю (за исключением станций, расположенных на площадях организаций, которые должны быть доступны в часы работы организаций);
- зарядные станции должны поддерживать оплату посредством бесконтактных платежей с использованием карт основных платёжных систем, а также с помощью отправки СМС на бесплатные номера; не допускаются дополнительные требования по членству в программах лояльности и проч.;
- все зарядные станции с портами переменного тока уровня 2 должны быть сертифицированы ENERGY STAR[6]; зарядные станции должны быть сертифицированы на соответствие стандартам Underwriters Laboratories для электрозарядной инфраструктуры;
- должны обеспечиваться требования по информационной безопасности, в том числе защита персональных данных пользователей, предотвращение инцидентов, регулярное обновление ПО, обеспечение работы зарядной станции в режиме офлайн;
- зарядные станции должны поддерживаться в рабочем состоянии в течение по крайней мере пяти лет с момента установки;
- зарядные станции должны поддерживать интероперабельность по стандартам ISO 15118, OCPP 1.6 и выше, OCPI 2.2.1;
- операторы зарядных станций должны каждый квартал предоставлять в Министерство транспорта следующую информацию по каждой зарядной станции: уникальный идентификатор станции, уникальный идентификатор порта, время начала и окончания сессии зарядки, средняя потребляемая мощность за сессию, пиковая мощность за сессию, информация об отключениях;
- зарядные станции должны быть включены в коммуникационную сеть по защищённым протоколам; должна быть обеспечена возможность удалённого обновления ПО, диагностики состояния, потребляемой мощности и пр.;
- цена потребляемой электроэнергии должна отображаться до начала зарядки; цена не может изменяться в течение сессии зарядки;
- информация о местоположении зарядных станций, текущих ценах, доступности в режиме реального времени должна бесплатно предоставляться сторонним разработчикам программного обеспечения.

6 Международный стандарт энергоэффективности потребительских товаров.

2.5. Выводы

РАЗВИТИЕ РЫНКА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НАПРЯМУЮ ЗАВИСИТ ОТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОПЫТА ИХ ВЛАДЕЛЬЦЕВ: НА НЕГО ВЛИЯЮТ УВЕРЕННОСТЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ДОСТУПНОМ ЗАПАСЕ ХОДА, УДОБСТВО И СТОИМОСТЬ ЗАРЯДКИ, А ТАКЖЕ СРОКИ И ЦЕНА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

Как показано в настоящем разделе, эти факторы напрямую связаны с уровнем развития электрозарядной инфраструктуры. Ниже на основе международного опыта нами выделены основные вопросы, которые следует учесть как операторам зарядных станций, так и регулирующим органам в сфере электроэнергетики, городского планирования, тарифообразования, коммуникаций и связи при разработке документов планирования. Решения по этим вопросам должны приниматься таким образом, чтобы способствовать распространению электромобилей [2.55].

Во-первых, необходимо выработать единые для страны стандарты электрозарядных станций: тип доступных соединителей, минимальные значения напряжения и тока, обязательность открытых коммуникационных протоколов, типовая планировка общественных пунктов зарядки, обязательные способы оплаты и требования к сертификации, доступность роуминга зарядки.

Во-вторых, необходимо законодательно закрепить обязательность синхронизации планов развития территорий с планами развития зарядной инфраструктуры. Целесообразно на разных уровнях создавать рабочие группы (совещательные органы), включающие ответственных представителей транспортной и электроэнергетической отраслей и муниципальной власти.

В-третьих, необходимо проработать варианты гибкой тарификации зарядки электромобилей как на общественных зарядных станциях, так и в домохозяйствах (отдельный тариф, дополнительное техприсоединение и пр.). Также следует разработать законодательное регулирование, аппаратное и программное обеспечение для реализации V2G на розничном рынке электроэнергии.

В-четвёртых, необходимо закрепить обязательность публикации открытых обезличенных данных о зарядных станциях (места размещения, доступная мощность, загруженность и пр.), зарегистрированных электромобилях (модель, мощность двигателя, ёмкость батареи, сеансы зарядки, пробег и пр.), доступной пропускной способности сети (центры питания).

В-пятых, необходимо увязать развитие электрозарядной инфраструктуры с созданием новых генерирующих мощностей из ВИЭ (в том числе вдоль автомагистралей) и разработать и имплементировать механизмы участия электромобилей и зарядных станций в регулировании спроса, частоты и напряжения, в том числе механизмы вознаграждения владельцев.

Наконец, следует разработать и внедрить механизмы интеллектуального управления зарядными станциями: ограничение мощности, рандомизированный сдвиг зарядки во времени и так далее.

Список использованных источников

2.1 Global EV Outlook 2023. Catching up with climate ambitions. International Energy Agency. 2023. 142 p. URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023.

2.2 Regulation (EU) 2023/851 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition // Official Journal of the European Union. L 110. 25 April 2023. P. 5-21. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2023:110:TOC.

2.3 Heineke K. et al. Micromobility's 15,000-mile checkup // McKinsey&Company. 2019. URL: https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/micromobilitys-15000-mile-checkup#/.

2.4 Grid Integration of Electric Vehicles. A manual for policy makers. International Energy Agency. 2022. URL: https://www.iea.org/reports/grid-integration-of-electric-vehicles.

2.5 Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refueling stations across Europe. 2023. European Council. URL: https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/alternative-fuels-infrastructure-council-adopts-new-law-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/.

2.6 National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) Formula Program. 2023. U.S. Department of Energy. URL: https://afdc.energy.gov/laws/12744.

2.7 Hagenmaier N. et al. What Electric Vehicle Owners Really Want from Charging Networks. BCG. 2023. URL: https://www.bcg.com/publications/2023/what-ev-drivers-expect-from-charging-stations-for-electric-cars.

2.8 Consumer Monitor 2022. European alternative fuels observatory. European aggregated report. 2023. URL: https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/system/ files/documents/2023-06/2022%20EAFO_CountryReport_EU.pdf.

2.9 Draft Public Charge Point Regulations 2023 Guidance. 2023. Department for Transport. URL: https://www.legislation.gov.uk/ukdsi/2023/9780348249873/pdfs/ukdsiod_9780348249873_en_001.pdf.

2.10 Electric Mobility Strategy. Saanich City Council. 2020. URL: https://www.saanich.ca/EN/main/community/sustainable-saanich/electric-mobility-strategy.html.

2.11 London Mayor's Transport Strategy. City of London. URL: https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/the-mayors-transport-strategy.

2.12 Foundations of an Electric Mobility Strategy for the City of Mexicali. NREL. 2020. URL: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/electric_mobility_strategy_mexicali.pdf.

2.13 Indonesian Government Support for EV chargin. URL: https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/indonesian-govt-supports-ev-charging-application.

2.14 Chile National Electromobility Strategy. 2022. URL: https://drive.google.com/file/d/1rE_oSWxcfap5TY01fhB7AM9FADEtBPnt/view?pli=1.

2.15 Paffumi E. et al. European-wide study on big data for supporting road transport policy. Case Studies on Transport Policy. 2018. V. 6. N. 5. P. 785-802.

2.16 Electric Vehicle Infrastructure Projection Tool (EVI-Pro) Lite. Alternative Fuels Data Center. 2021. URL: https://afdc.energy.gov/evi-pro-lite.

2.17 Ochoa N. Impacts of EVs on Australian Urban and Rural Grids. URL: https://electrical.eng.unimelb.edu.au/news/2021/new-report-impacts-of-evs-on-australian-urban-and-rural-grids.

2.18 Uthattip N. et al. Stochastic Modelling to Analyze the Impact of Electric Vehicle Penetration in Thailand // Energies. 2021. V. 14 (16). N. 5037. URL: https://doi.org/10.3390/en14165037.

2.19 Liu Q. et al. Putting Electric Logistics Vehicles to Work in Shenzhen. Rocky Mountain Institute. 2020. URL: https://rmi.org/insight/putting-electric-logistics-vehicles-to-work-in-shenzhen?submitted=1912yjmik9c.

2.20 Integration of electric vehicles into the power system in France. Réseau de Transport d'Electricité. 2019. URL: https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-06/Rte%20electromobility%20report_-_eng.pdf.

2.21 Jenn A., Highleyman J. Distribution grid impacts of electric vehicles: A California case study // iScience. 2022. V. 25. N. 1. P. 103686. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103686.

2.22 Kim J. D. Insights into residential EV charging behavior using energy meter data // Energy Policy. 2019. V. 129. P. 610-618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.049.

2.23 Spencer S.I. et al. Evaluating smart charging strategies using real-world data from optimized plugin electric vehicles // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2021. V. 100. P. 103023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103023.

2.24 Zhang J. Value to the Grid From Managed Charging Based on California's High Renewables Study // IEEE Transactions on Power Systems. 2019. V. 34. N. 2. P. 831–840.

2.25 Integration of electric vehicles into the power system in France. RTE report. 2019. URL: https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-06/Rte%20electromobility%20report_-_eng.pdf.

2.26 Tuttle D.P. et al. Plug-In Vehicle to Home (V2H) Duration and Power Output Capability // Proc. of 2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). DOI: 10.1109/ITEC.2013.6574527

2.27 Andersen P. et al. The Parker Project. Final Report. 2019. URL: https://parker-project.com/wp-content/uploads/2019/03/Parker_Final-report_v1.1_2019.pdf.

2.28 Глобальный техрегламент ООН № 22. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-01/ECE_TRANS_180a22r.pdf.

2.29 EV Hosting capacity map of New Jersey. PSEG. 2022. URL: https://nj.myaccount.pseg.com/myservicepublic/hosting_capacity_map.

2.30 Flexible Connections and Principles of Access Policy. SP Energy Networks. 2020. URL: https://www.spenergynetworks.co.uk/userfiles/file/ESDD-01-009.pdf.

2.31 Kamath D. et al. Economic and Environmental Feasibility of Second-Life Lithium-Ion Batteries as Fast-Charging Energy Storage // Environmental Science & Technology. 2020. V. 54. N. 11. P. 6878-6887. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05883.

2.32 Circulaire 2021/C/113 concernant l'installation de stations de recharge destinees aux vehicules electriques. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/be/Documents/tax/TaxAlerts/VATAlerts/Circular %202021C113%20French.pdf.

2.33 Applying for financial aid to install a private electric-vehicle charging station. URL: https://guichet.public.lu/en/citoyens/transports-mobilite/transports-individuels/aides-financieres-acquisition-detention-vehicule/installation-bornes-charges-privees.html.

2.34 Wegwijzer Open Markt & Open Protocollen bij contractering. URL: https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/ondersteuning+gemeenten/documenten+en+links/documenten+in+bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2111886.

2.35 The Electric Vehicles (Smart Charge Points) Regulations 2021. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1015290/electric-vehicles-smart-charge-points-regulations-2021-impact-assessment.pdf.

2.36 OpenADR Utility Case Study. Vehicle-to-Grid DTE Energy / Xcel Energy. URL: https://www.openadr.org/assets/Detroit%20Case%20Study%201-2022.pdf.

2.37 Electric rates table. KEPCO. URL: https://home.kepco.co.kr/kepco/indi/foreign/en/html/F/B/ENFBHP00102.html.

2.38 Muratori M. et al. Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing. IEEE Trans. on Power Systems. 2016. V. 31. N. 2. P. 1108-1117. DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2414880.

2.39 Effect of electromobility on the power system and the integration of RES. Publications of European Union Directorate-General for Energy. 2019. DOI: https://data.europa.eu/doi/10.2833/12919.

2.40 Get to Know Critical Peak Pricing (CPP). Southern California Edison. URL: https://www.sce.com/business/rates/cpp.

2.41 DISSECTING INDIA'S ELECTRICITY TARIFF LANDSCAPE FOR EV. Alliance for an Energy Efficient Economy. 2020. URL: https://aeee.in/wp-content/uploads/2020/07/2020-Dissecting-India%E2%80%99s-Electricity-Tariff-Landscape-For-EV-1.pdf.

2.42 Reforming Korea's Electricity Market for Net Zero. IEA. 2021. URL: https://www.iea.org/reports/reforming-koreas-electricity-market-for-net-zero.

2.43 Working Paper Sustainability and Innovation No. S 11/2021. Fraunhofer Institute. 2021. URL: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2021/WorkingPaper-S11-21_Preu%C3%9F_etal-final.pdf.

2.44 Provisions to incentivize the common consumers to get Green Power at reasonable rates. India Ministry of Power. 2022. URL: https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1842737.

2.45 Circulaire 2021/C/115 over fiscale vergroening van de mobiliteit. URL: https://eservices.minfin.fgov.be/myminfin-web/pages/public/fisconet/document/0f0f25d2-4bdd-42b3-914e-57883a218f6e.

2.46 CBb stelt ACM in gelijk in zaken Kingspan en Cohesie over 18 weken-aansluittermijn elektriciteit. Autoriteit Consument and Markt. URL: https://www.acm.nl/nl/publicaties/cbb-stelt-acm-gelijk-zaken-kingspan-en-cohesie-over-18-weken-aansluittermijn-elektriciteit.

2.47 Kaart buurtprognoses. Nationale Agenda Laadinfrastructuur. URL: https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/ondersteuning+gemeenten/buurtprognoses/kaart+buurtprognoses/default.aspx.

2.48 Distribution grid planning for a successful energy transition – focus on electromobility. Conclusions of a study commissioned by Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Regulatory Assistance Project (RAP). URL: https://www.agora-energiewende.de/en/publications/distribution-grid-planning-for-a-successful-energy-transition-focus-on-electromobility-1/.

2.49 Non-Wires Alternatives: Case Studies from Leading U.S. Projects. Smart Electric Power Alliance. 2018. URL: https://sepapower.org/resource/non-wires-alternatives-case-studies-from-leading-u-s-projects/.

2.50 Network price controls 2021-2028 (RIIO-2). Ofgem. URL: https://www.ofgem.gov.uk/energy-policy-and-regulation/policy-and-regulatory-programmes/network-price-controls-2021-2028-riio-2.

2.51 Kakkar R. et al. A Review on Standardizing Electric Vehicles Community Charging Service Operator Infrastructure. Applied Sciences. 2022. N. 12. P. 12096. DOI: https://doi.org/10.3390/app122312096.

2.52 Pettigrew S. Strategies for setting a national electric vehicle charger standard: Relevant factors and the case of Chile. International Council on Clean Transportation. 2023. URL: https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/01/lat-am-evs-choose-charger-std-chile-jan23.pdf.

2.53 EV Charging Industry Protocols and Standards. Driivz. 2023. URL: https://driivz.com/blog/ev-charging-standards-and-protocols/.

2.54 National Electric Vehicle Infrastructure Standards and Requirements. Federal Register: The Daily Journal of the United States Government. 2023. V. 88. N. 39. URL: https://www.federalregister.gov/documents/2023/02/28/2023-03500/national-electric-vehicle-infrastructure-standards-and-requirements.

2.55 Das H.S. Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. V. 120. P. 109618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618.

3. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНЦИЙ КАДРОВ

ЧЕЛОВЕК ПРИНИМАЕТ РЕШЕНИЯ И ДЕЙСТВУЕТ В ТРЁХМЕРНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ОДНАКО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДВУМЕРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ТАКАЯ КАК ТЕКСТ, АУДИО ИЛИ ВИДЕО.

Когнитивная нагрузка, которая создаётся в сознании человека при формировании трёхмерного образа из двумерных данных, снижает эффективность усвоения информации. Поэтому с момента возникновения информационно-коммуникационных технологий в секторе образования они стали важнейшим инструментом для интенсификации и совершенствования процесса обучения, в том числе благодаря возможностям визуализации информации, упрощающим её восприятие человеком. Одной из таких технологий, достигшей достаточной популярности и уровня технологической зрелости для широкого внедрения в обучение, является виртуальная и дополненная реальность [3.1].

В литературе можно встретить ссылки на два основных компонента иммерсивных технологий[7] — виртуальную реальность (Virtual reality, VR) и дополненную реальность (Augmented reality, AR), также встречается такой термин, как смешанная реальность (Mixed reality, MR) [3.2]. При этом необходимо отметить, что единого общепризнанного определения данных понятий не существует. В различных источниках приводятся различные формулировки — в зависимости от контекста применения данных технологий и вариантов технического исполнения, — хотя и имеющие общую суть. Ниже приведены определения, выработанные Ассоциацией виртуальной и дополненной реальности (VR/AR Association, США), членами которой являются крупные технологические корпорации, национальные институты, разработчики, ВУЗы и др.

Виртуальная реальность — это иммерсивная мультимедийная или компьютерно-имитационная среда, которая имитирует физическое присутствие пользователя в виртуальном мире и позволяет пользователю взаимодействовать с этим миром. Виртуальная реальность может быть использована в качестве дополнения к 3D-моделированию в обучении или профессиональной практике.

Дополненная реальность — представление физического «реального мира», в который с помощью компьютерной графики «встраиваются» или «накладываются» цифровые элементы. При этом с цифровой информацией, находящейся в поле зрения пользователя, можно взаимодействовать посредством голоса, движений головы, рук и даже взгляда.

Смешанная реальность — это расширенная версия дополненной реальности, в которой пользователь может взаимодействовать с виртуальными объектами, накладывающимися на реальные объекты. Технологии MR объединяют в себе VR и AR, комплексно интегрируя виртуальные объекты в реальные сцены. В иностранной литературе, отчётах и исследованиях, равно как и в российских источниках, понятия AR и MR зачастую не разделяются, тем не менее, MR-решения включают в себя более комплексные и сложные технологии [3.3].

Довольно часто используется термин «расширенная реальность» (Extended Reality, XR) — собирательное понятие, которое охватывает технологии AR, VR и MR. Три типа «реальности» ранжированы на рис. 3.1.

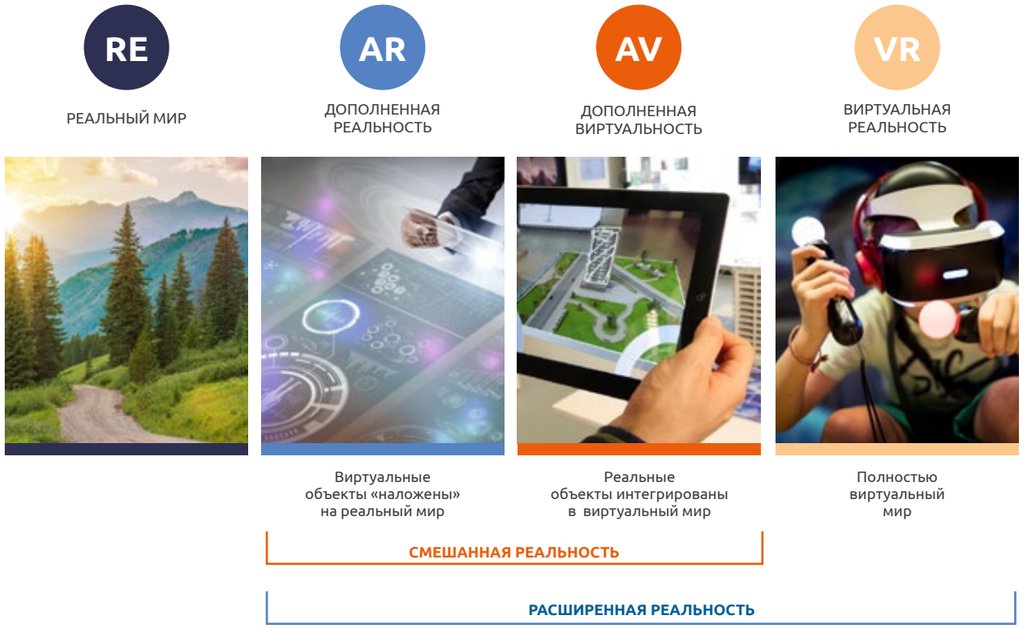


Рис. 3.1. Различия между VR, AR и MR [3.2]

7 Иммерсивные технологии — собирательное название технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности, которые подразумевают взаимодействие человека с цифровой средой, которая, в свою очередь, может быть интегрирована в реальную среду.

3.1. Тренды развития технологий AR/VR

НА ВОЛНЕ РОСТА ПОПУЛЯРНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ОНИ ПРИВЛЕКАЮТ К СЕБЕ БОЛЬШОЕ ВНИМАНИЕ НА ГЛОБАЛЬНОМ РЫНКЕ.

Крупные технологические компании, которые вышли на рынок со своими продуктами, продолжают укреплять позиции, приобретая более мелкие компании, работающие в этой индустрии. Благодаря постоянному совершенствованию технологий и масштабированию инфраструктуры 5G, обеспечивающей непрерывную и быструю передачу информации, в будущем рынок виртуальной и дополненной реальности будет только расти [3.4].

Виртуальная реальность получила широкое распространение раньше, чем дополненная, однако, по данным статистического агентства Statista (США), среди технологических направлений на рынке доминирует программное обеспечение AR (см. рис. 3.2).

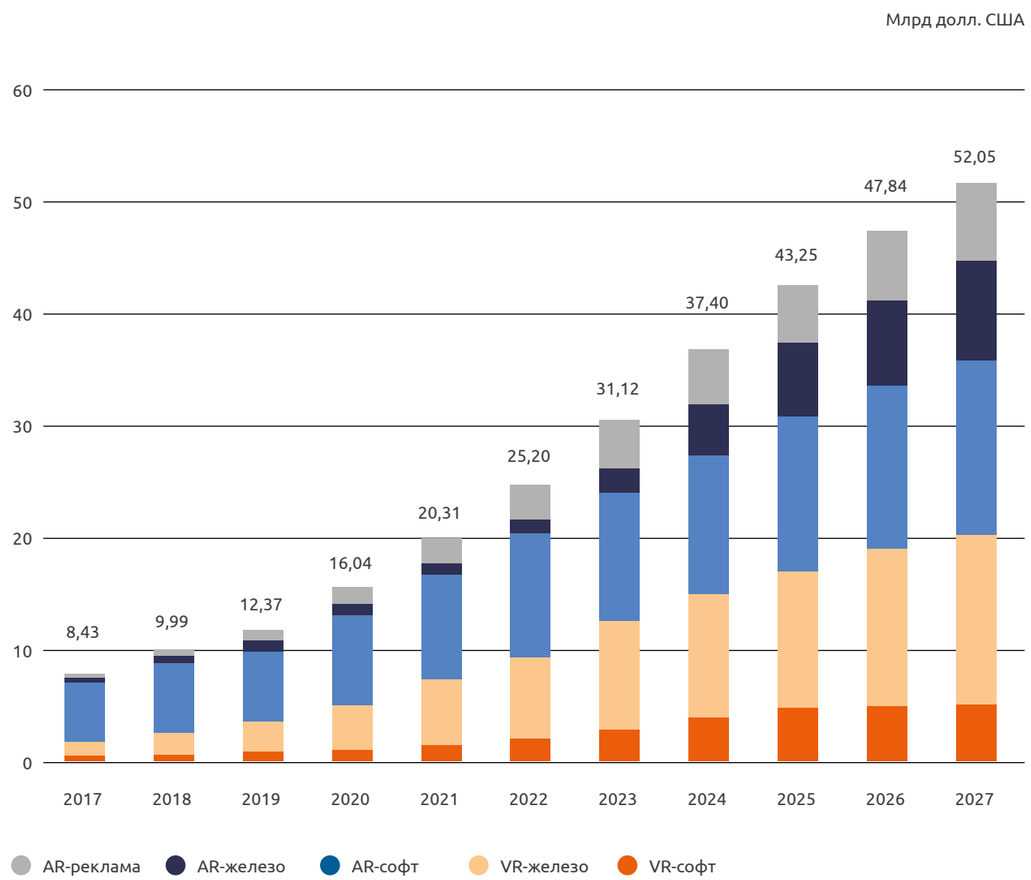


Рис. 3.2. Распределение выручки по направлениям AR/VR [3.4]

С точки зрения распределения рынка технологий AR/VR между конечными пользователями из различных секторов экономики (см. рис. 3.3), наибольшую долю занимает сектор электронной промышленности — 31,9%, за ним идут потребительский (приложения социальных сетей, мобильные игры и т.д.) — 12,9% и производственный — 10,2%. К последнему аналитики Statista отнесли генерацию электроэнергии.

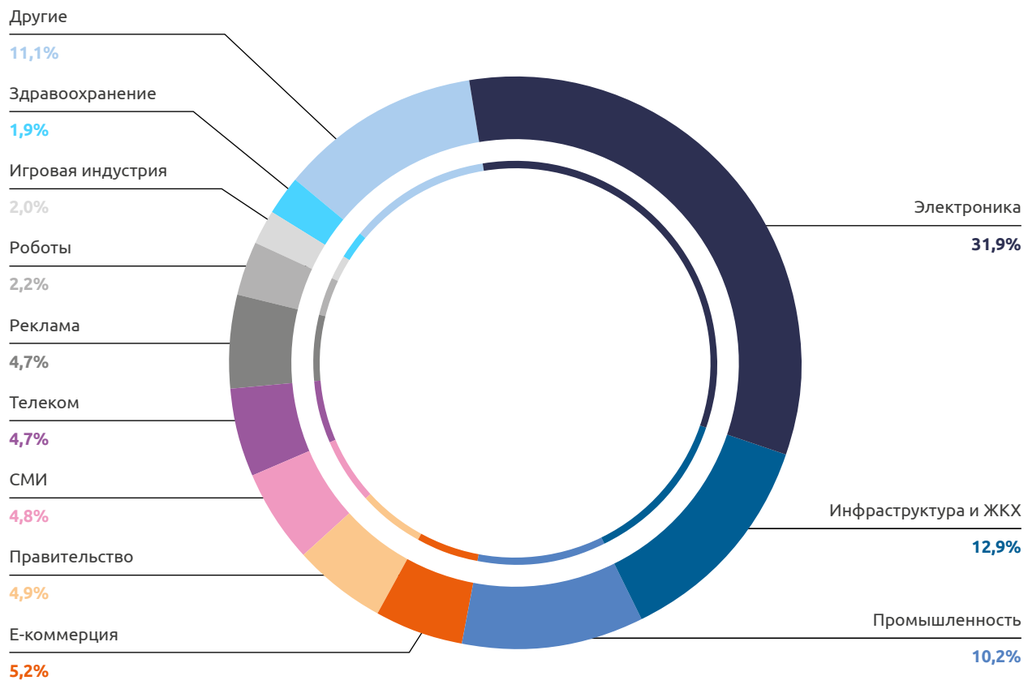


Рис. 3.3. Распределение объёма рынка между секторами экономики [3.4]

По данным аналитического агентства Research&Markets (Ирландия) за 2023 год, объём мирового рынка с точки зрения конечного направления использования технологий AR/VR для целей образования и обучения оценивается почти в 12 млрд долл. США. По прогнозам, он будет расти с совокупным среднегодовым темпом роста (CAGR) на уровне 40,2%, превысив 46 млрд долл. США к 2027 году (рис. 3.4).

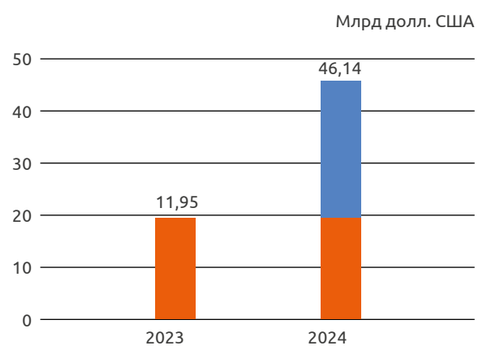


Рис. 3.4. Объём мирового рынка VR/AR в секторе образования и обучения [3.5]

Суммарный объём рынка AR/VR, по данным Statista, составляет порядка 31,2 млрд долл. США, к 2030 году он достигнет 248 млрд долл. США. Таким образом, обучение и образование с помощью AR/VR занимает ориентировочно треть совокупного объёма рынка [3.4]. На данный момент крупнейшими странами на рынке являются США, Китай, Япония, Германия и Великобритания (рис. 3.5).

Рис. 3.5. Топ-5 стран на 2023 год по выручке в области технологий AR/VR [3.4], по сравнению с Россией

3.2. Технологии AR/VR за рубежом

В *Китае* правительство поощряет развитие технологий виртуальной и дополненной реальности. Они включены в ряд стратегических документов, таких как Тринадцатый пятилетний план, программы «Сделано в Китае 2025» и «Интернет+» [3.6].

В дорожной карте по развитию технологий для различных отраслей экономики «Сделано в Китае 2025» («Made in China 2025») виртуальная реальность названа одной из ключевых технологий основного информационного оборудования в умном производстве. Как указано в документе, VR может быть использован для сбора информации и коммуникации в режиме реального времени на всех этапах интеллектуального производства, реализации иммерсивного взаимодействия, анализа и контроля принятия решений.

Собственные дорожные карты и стратегические документы по развитию и интеграции VR-технологий, затрагивающие отдельные зоны ответственности, были выпущены китайскими Министерством промышленности и информационных технологий, Национальной комиссией по развитию и реформам, Министерством науки и технологий, Министерством культуры и Министерством торговли. Кроме того, региональные органы и власти провинций активно создают индустриальные парки и лаборатории, способствующие развитию местной VR-индустрии [3.7]. Участие крупных китайских технологических компаний делает внутреннюю конкуренцию VR-систем более чем интенсивной, что значительно усиливает развитие и интеграцию технологии во всех отраслях экономики и промышленности [3.3].

При этом Китай не только инвестирует в развивающиеся области AR/VR, но и предоставляет частным предприятиям стимулы для технологического развития направлений, что дает синергетический эффект. В Китае совершенствуют собственные стандарты связи и стремятся расширить использование стандартов 5G, которая обеспечивает высокую скорость и пропускную способность, необходимую для создания экосистемы приложений AR/VR [3.3].

Технологии виртуальной реальности привлекают значительное внимание в академических кругах — ряд колледжей и университетов Китая активно занимается исследованиями в области AR/VR, на их базе создаются VR-лаборатории. Например, в Чжэцзянском университете приоритетные исследования ведутся в области виртуального планирования и проектирования, в том числе на основе технологии цифровых двойников, а в Харбинском технологическом институте проводятся исследования в области взаимодействия человека и компьютера. Крупные университеты, исследовательские институты, технологические компании реализуют совместные инициативы по изучению и разработке AR/VR-технологий, в том числе в интересах кооперации производства и вузов [3.3].

Правительством *Японии* в 2015 году был выпущен 5-й Основной план развития науки и техники (The 5th Science and Technology Basic Plan [3.8]), в 2022 году — Стратегия интеграции инноваций (Integrated Innovation Strategy [3.9]). В обоих документах технологии расширенной реальности определены как одно из ключевых направлений для внедрения в различные сектора экономики и социальную среду. В отчёте Центра промышленного сотрудничества ЕС и Японии (EU-Japan Centre for Industrial Cooperation), который посвящён обзору цифровых технологий в Японии, приведены усреднённые показатели интеграции цифровых технологий в различных отраслях экономики, в том числе для AR и VR (таблица 3.1) [3.10]. Опрос проводился в 2020 г. среди крупных компаний и субъектов МСП и охватил 1146 респондентов из различных отраслей. Организации разделены на 7 основных категорий: 1) строительство, 2) производство материалов, 3) машиностроение, 4) торговля и дистрибуция, 5) финансовая сфера, 6) инфраструктура и обеспечение энергоресурсами, 7) обучение и сфера услуг. Для наглядного сравнения результатов в таблице дополнительно приведены показатели внедрения для интернета вещей, искусственного интеллекта, больших данных и облачных сервисов.

Таблица 3.1. Показатели внедрения технологий

Технология	Уровень внедрения технологий по отраслям, %							По размеру организаций, %	
	Строительство	Производство материалов	Машино и приборостроение	Торговля и дистрибуция	Финансовая сфера	Инфраструктура и обеспечение энергоресурсами	Обучение, сфера услуг	Крупные	МСП
AR/VR	20,2	3,4	7,4	2,4	0	11,7	7,8	30,2	3,5
Интернет вещей (IoT)	20,2	21,4	26,3	13,8	6,3	23,4	8,7	58,5	6,7
ИИ	16,7	14,6	15,9	9,5	33,3	19,1	15,2	66	5,7
Большие данные	11,9	10,2	11,9	11,9	16,7	17	8,7	45,3	2,5
Облачные сервисы	46,8	48,9	52,6	46,4	58,3	59,9	50,9	89,9	34,7

Уровень внедрения

Низкий — Высокий

Данные таблицы 3.1 показывают, что сектор инфраструктуры и обеспечения энергоресурсами, финансовый сектор и машино- и приборостроение показывают более высокий уровень внедрения технологий в сравнении с другими отраслями. С точки зрения технологий AR/VR наиболее высокий уровень внедрения демонстрирует строительство, а сектор инфраструктуры и обеспечения энергоресурсами находится на втором месте. В отчёте также приводится вывод о ключевых технологических тенденциях в японском бизнес-ландшафте: носимые устройства, в том числе AR/VR, показывают низкий интерес со стороны крупных инвесторов, при этом на мобильные приложения и программное обеспечение по направлению AR/VR спрос со стороны организаций растёт [3.10].

С точки зрения использования AR/VR в Японии в производственных процессах уровень интеграции данных технологий составляет всего 1,4% [3.11]. Среди более распространённых направлений использования можно выделить следующие [3.10]:

- повышение эффективности и качества производства: например, инженеры в AR-очках пользуются отображаемыми инструкциями в процессе сборки, что повышает точность и скорость работы;
- проектирование изделий: создание интерактивных виртуальных моделей для сокращения времени разработки;
- обучение: использование методов геймификации и визуализации реальной производственной обстановки для повышения эффективности обучения.

В Евросоюзе был разработан план Horizon Europe — ключевая программа ЕС для финансирования научных исследований и масштабирования компетенций в технологиях с бюджетом 95,5 млрд евро [3.12]. В рамках данного плана определены перспективные направления для последующего масштабирования — интеграция в различных секторах экономики программного и аппаратного обеспечения VR/AR в сочетании с технологиями цифровых двойников и интернета вещей.

В качестве перспективных областей исследования на горизонте до 2027 года определены следующие направления [3.13]:

- виртуальные миры и метавселенные, расширяющие возможности пользователей, предприятий и промышленности и основанные на технологии расширенной реальности;
- решения и инструменты, в том числе с поддержкой ИИ и с открытым исходным кодом, для создания виртуальных миров, цифровых двойников;
- обеспечение совместимости технологий и развитие открытых стандартов.

В *Германии* Федеральное агентство по инновациям (Federal Agency for Disruptive Innovation, SPRIND) предоставляет гранты и субсидии стартапам и МСП в инновационных технологических областях, в том числе AR/VR. Его совокупный бюджет превышает 1 млрд евро на период до 2029 года [3.14]. После проведения анализа и оценки представленного проекта агентство может создать под него дочернюю компанию с бюджетом до 15 млн евро, а самостоятельные проекты могут получить финансирование в размере от 500 тыс. до 3 млн евро.

В аналитическом отчёте Немецкого общества внешней политики (German Council on Foreign Relations, DGAP) указывается, что в рамках стратегического планирования и развития цифровых технологий в Германии необходимо уделять внимание иммерсивным решениям [3.15]. Согласно отчёту Федерального министерства экономики и климата Германии, цифровизация развивается интенсивно и экстенсивно, затрагивая в том числе и энергетическую промышленность: сочетание цифровых инструментов, таких как виртуальная реальность, искусственный интеллект, управление жизненным циклом и цифровые двойники, обеспечивает значительное повышение эффективности по всей цепочке создания стоимости [3.16]. При этом в исследовании отмечается, что несмотря на роль Германии как одного из ключевых инкубаторов подхода ЕС к нормативному регулированию цифровых технологий, нормативные акты «отстают» от технологического развития, что особенно заметно в таких областях, как защита данных, модерация контента, онлайн-платформы, расширенная реальность в контексте цифровых двойников.

Британский сектор дополненной и виртуальной реальности является одним из самых быстрорастущих в Европе. Ожидается, что с 2019 по 2024 год средний темп роста расходов на AR и VR в Великобритании составит 78,3%, а объём рынка к 2030 году достигнет эквивалента 79 млрд долл. США [3.17].

Решения AR и VR широко используются в Великобритании по таким направлениям, как «умные города», машиностроение, киноиндустрия, игровые и медицинские технологии, а компаний, основным направлением работы которых является развитие и интеграция расширенной реальности, на-

считывается более тысячи. Согласно отчёту PWC, в сфере энергетики технологии расширенной реальности нашли наиболее широкое применение по направлениям обучения и совершенствования производственных процессов, вовлечения потребителей [3.18].

В соответствии со Стратегическим планом развития «Видение 2035» Великобритания финансово поддерживает предприятия в инновационных секторах, в том числе AR/VR [3.19]. Например, схема «Патентный ящик» («Patent Box») предусматривает более низкую ставку корпоративного налога на прибыль, если организация зарегистрировала патент на территории Великобритании или в ряде европейских стран.

В Великобритании прямые инвестиции правительства сочетаются с налоговыми льготами на НИОКР в области AR/VR [3.17]. Программа «Аудитория будущего» позволяет зарегистрированным в стране технологическим компаниям подать заявку на получение гранта в размере до 1 млн долл. США [3.20]. Непосредственную поддержку организациям в исследованиях и разработках оказывают университеты в Оксфорде, Сент-Эндрюсе и Дареме. Например, ученые Оксфорда работают с промышленными партнёрами в рамках проектов, финансируемых государственными фондами, а в Дареме находится первый в Великобритании академический центр компании Intel, предоставляющий возможность обучения по направлениям AR/VR.

В *США*, по прогнозам аналитического агентства Statista, выручка на рынке AR/VR в 2023 г. достигнет 8,6 млрд долл. США, это самый большой показатель в мире при прогнозируемом объёме рынка технологий расширенной реальности. CAGR составит 13,54% в год (на горизонте 2023–2027), в результате чего объём рынка к 2027 году составит 14,2 млрд долл. США [3.21]. Ожидается, что к 2027 году уровень интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности для конечных пользователей достигнет 82,1%. Таким образом, можно сделать вывод, что США являются крупнейшими потребителями данных технологий.

Развитие технологий расширенной реальности в США происходит в основном в частном секторе, а государство обеспечивает платформу и финансирование. На национальном уровне в США развитие технологий AR и VR стимулируется:

- Национальным научным фондом (National Science Foundation) — поддержка исследований и образования во всех областях науки и техники, в том числе с помощью грантов [3.22];
- Администрацией общих служб (General Services Administration) — анализ и оценка лучших практик и их тиражирование [3.23];
- Министерством образования (Department of Education) — выделение грантов на исследования, развитие научных лабораторий, цифровизация процесса обучения [3.24];
- Агентством перспективных исследовательских проектов в энергетике Министерства энергетики (Advanced Research Projects Agency — Energy) — предоставление грантов, субсидий и тиражирование лучших практик [3.25].

Стоит отметить, что в США, кроме частных лабораторий и организаций, компетенции в области AR/VR активно развиваются и государственными вузами, например [3.26]:

- Университет Южной Калифорнии: VR-лаборатории по направлениям деятельности различных секторов экономики;
- Нью-Йоркский университет: разработка прикладного программного обеспечения;
- Рочестерский технологический институт: развитие сообщества в области расширенной реальности с привлечением бизнеса и научных организаций, тиражирование и популяризация лучших практик, инноваций в области VR/AR-технологий.

3.3. Расширенная реальность и цифровые двойники

Одним из подходов к обеспечению практического опыта в обучении с помощью технологий VR/AR является создание виртуальной лаборатории, позволяющей взаимодействовать с виртуальными версиями физических объектов. Компоненты VR-лаборатории показаны на рис. 3.6.

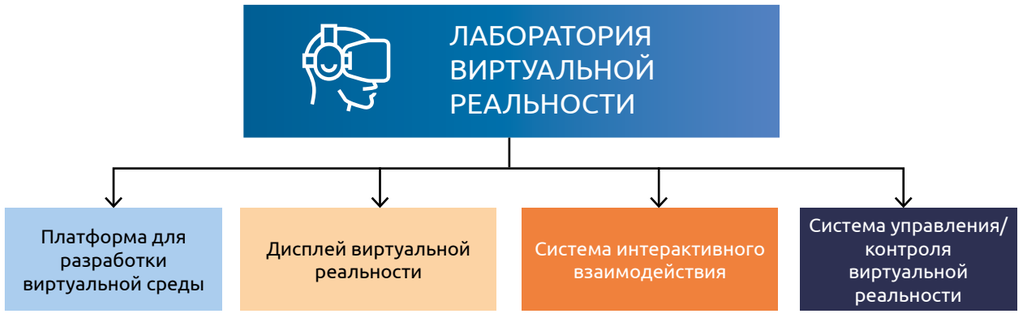


Рис. 3.6. Компоненты лаборатории виртуальной реальности [3.6]

Создание виртуальной симуляционной лаборатории позволяет:

- проводить совместные практические занятия обучающихся, географически удалённых друг от друга;
- освободить преподавателей от повторяющейся работы, чтобы снизить нагрузку;
- решить проблему дефицита средств на создание реальной лаборатории за счёт симуляции работы с оборудованием. При относительной доступности создания VR-лаборатория предоставляет обширный материал для обучения, получаемый экспериментальным путём;
- повысить уровень цифровых компетенций персонала при углублении интеграции цифровых технологий в бизнес-процессы и производственную деятельность компании;
- увеличить вовлечённость пользователей за счёт иммерсивной среды обучения.

VR-технология позволяет выйти за рамки традиционных презентаций и вебинаров. В виртуальной реальности можно смоделировать методы обучения из реального мира: проводить круглые столы, вести записи цифровой ручкой на виртуальном листе бумаги [3.26].

Тем не менее, есть два принципиальных недостатка виртуальных лабораторий. Прежде всего, стремление к оптимизации процесса разработки AR/VR-приложений зачастую приводит к упрощению визуализации физического устройства и недостоверному отражению действительности. Недостатком является также отсутствие конвергенции и совместимости между виртуальными и физическими элементами. В результате обучающиеся часто не могут полноценно изучить явления или процессы, которые происходят в реальной среде.

Возможным решением является создание виртуальной лаборатории с использованием технологии цифровых двойников. Развитие технологий (таких как умные датчики, сети нового поколения, большие данные, искусственный интеллект, интернет вещей) позволяет устанавливать практически неограниченное взаимодействие между физическими и виртуальными объектами. Используемой в промышленности технологией, объединяющей кибернети-

ческий и физический мир, является цифровой двойник [3.27].

Цифровым двойником называется цифровой образ физической системы, отражающий все происходящие в ней изменения. При этом физическая система также реагирует на все манипуляции, производимые с цифровым образом[8].

Цифровой двойник позволяет интерактивно сочетать кибернетический и физический объекты, обеспечивая возможность проведения экспериментов и обучения на реальных активах. Виртуально-физическая взаимосвязь представляет собой поток информации, поступающий из виртуальной среды в физическую (рис. 3.7) с помощью соответствующих технологий. Благодаря такому механизму цифровые двойники отражают состояние физического объекта в реальном времени. Связь между цифровым объектом и человеком реализуется за счёт технологий виртуальной и дополненной реальности.

Виртуальная лаборатория на базе цифрового двойника позволяет обучающимся работать с виртуальными тренажёрами, данные для которых собираются с реального производственного объекта. Недостатком таких лабораторий является несколько более высокая стоимость, чем у лабораторий на базе виртуальной реальности, поэтому их распространение пока крайне ограничено — в основном они используются крупными университетами и исследовательскими организациями, такими как iLab (Массачусетский технологический институт, США) [3.29], Labshare (Университет Сиднея, Австралия) [3.30], VISIR (Технологический институт Блекинге, Швеция) [3.31], WebLab-Deusto (Университет Деусто, Испания) [3.32].

Рис. 3.7. Модель технологии цифрового двойника в контексте виртуальной лаборатории [3.28]

8 Подробнее с различными аспектами технологии цифровых двойников можно ознакомиться в Альманахе Ассоциации «Цифровая энергетика» за 2022 год.

3.4. Составляющие систем AR/VR

AR/VR-СИСТЕМЫ СОСТОЯТ ИЗ ДВУХ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ — АППАРАТНОЙ И ПРОГРАММНОЙ.

Аппаратная часть включает в себя компьютер (вычислительное устройство), головное устройство (Head mounted display, HMD), устройство ввода-вывода информации (контроллеры, джойстики, перчатки с датчиками и т.п.), датчики (отслеживание позы пользователя, положения его головы, движений) и аудиосистему. Программная часть — это программное обеспечение, которое можно грубо разделить на прикладное ПО и базу данных, как показано ниже на рис. 3.8.

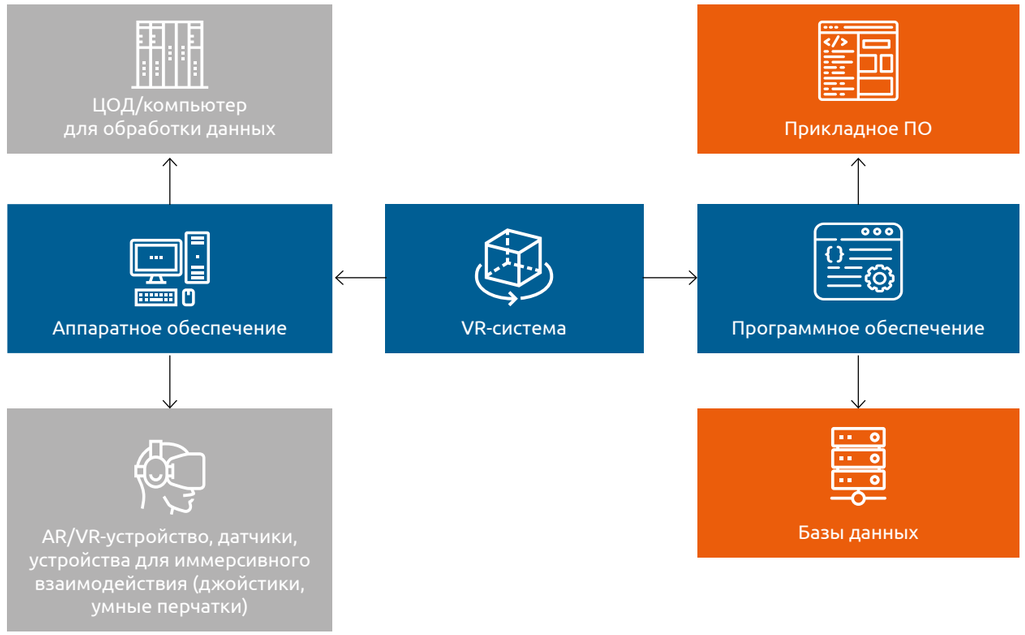


Рис. 3.8. Компоненты VR/AR-системы [3.33]

К составляющим программного обеспечения AR/VR-системы относятся цифровая информация и среда разработки (рис. 3.9). Цифровая информация включает в себя двумерную информацию и трёхмерные информационные модели: 2D-информация состоит в основном из текста, изображений и видео, а трёхмерная информация (3D-модель), формируемая путем моделирования и рендеринга, обеспечивает пользователю погружение в виртуальную среду. Размер и сложность больших моделей могут увеличить время импорта и рендеринга, что затрудняет просчёт модели в процессе разработки. Чтобы облегчить создание виртуальных моделей, зарубежные компании, в том числе такие крупные, как Microsoft и Google, выпускают готовые решения (Off-The-Shelf packages) и комплекты для разработки программного обеспечения (software development kit, SDK). Эти инструменты призваны упростить процесс разработки конкретных функций для AR/VR-приложений. В целом, процесс разработки AR/VR-системы включает в себя ряд подготовительных операций, таких как создание 3D-моделей, определение интерактивных компонентов, конвертация форматов и разработка интерфейсов.

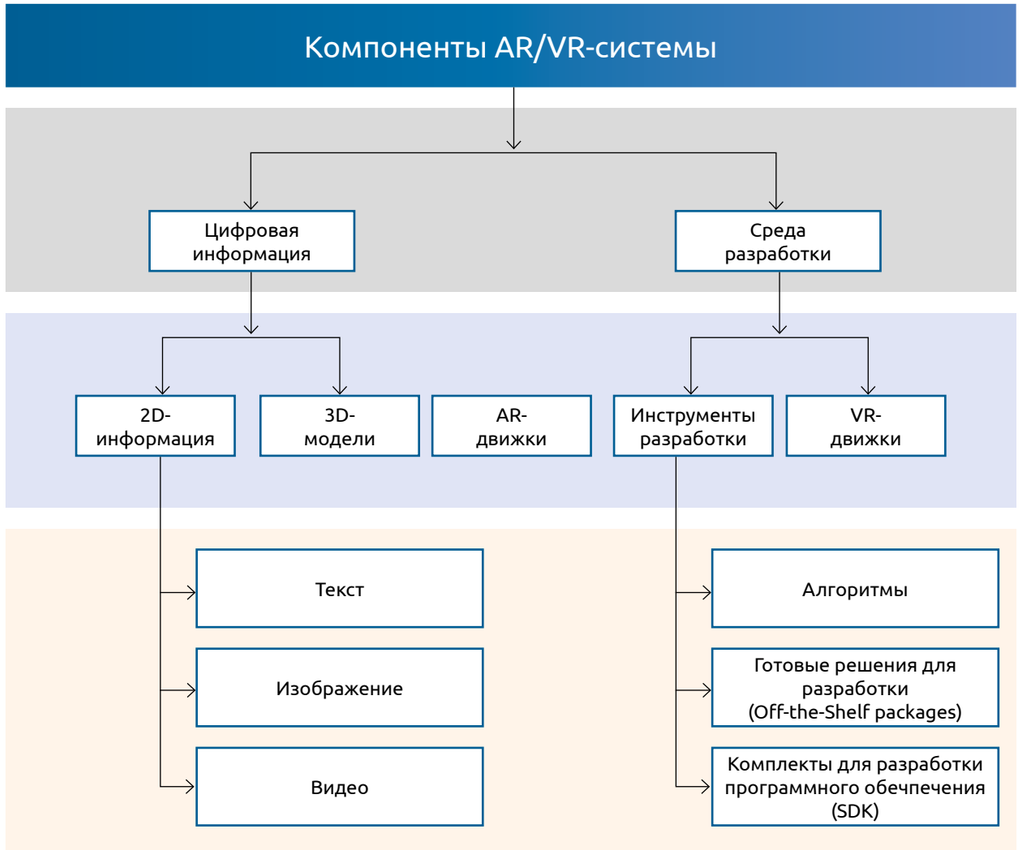


Рис. 3.9. Состав системы AR/VR [3.35]

Развитие облачных технологий рендеринга и сетей 5G сделало их ключевыми технологическими тенденциями в контексте AR/VR. Сети 5G обеспечивают высокую пропускную способность и низкую задержку при передаче данных в облако и обратно на устройство [3.36]. Облачная система виртуальной реальности обычно состоит из терминала (например, носимого на голове VR-устройства), сети и сервера хранения контента. Сервер контента может быть локальным сервером или облачным узлом, как показано на рис. 3.10. После получения указания пользователя устройство отправляет его на сервер хранения контента. Сервер контента возвращает соответствующие данные на устройство после выполнения логических вычислений, рендеринга, кодирования и сжатия. Затем устройство декодирует полученные данные и отображает их на экране пользователя.

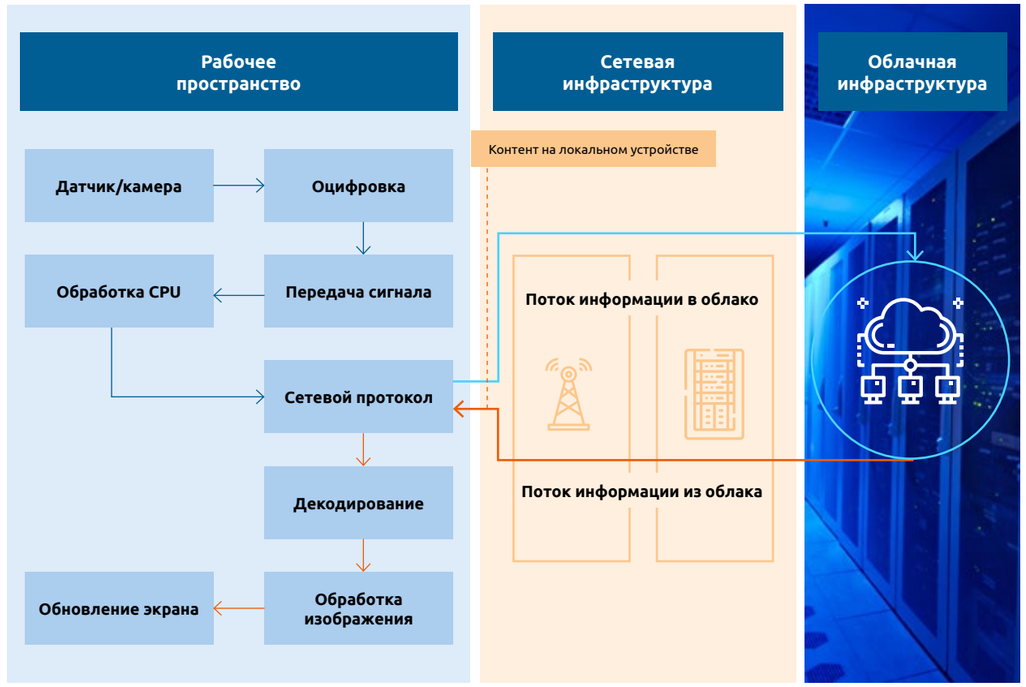


Рис. 3.10. Архитектура облачной VR-системы [3.36]

Для решения проблемы низкой детализации виртуальных моделей может использоваться технология моделирования с помощью лазерного сканирования (LIDAR, Light Detection and Ranging). Комплексная система LIDAR-Cloud-VR — это метод дистанционного инспектирования, который можно использовать для сканирования инфраструктуры в полевых условиях, непосредственно загружая оцифрованную модель в облако данных.

Полученные данные с помощью программного обеспечения интегрируются в виртуальную реальность, благодаря чему увеличивается детализация и уровень соответствия виртуальной модели реальному объекту, что является крайне важным фактором при отработке практических навыков в ходе обучения. Комбинация технологий дополненной реальности и LIDAR также может быть использована для наложения виртуальных объектов на реальный мир. Это позволяет создать AR-систему, в которой движение виртуальных моделей в точности повторяет движение физических объектов, а также осуществляется точная привязка виртуального объекта не только к местности (посредством геоданных), но и к окружающим объектам [3.37].

3.5. Стандарты

ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ ВЫПУЩЕНО МНОЖЕСТВО РАЗНООБРАЗНЫХ AR/VR-СИСТЕМ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ КАК УНИКАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ, ТАК И ОБЩИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ [3.38].

Для того, чтобы обеспечить пользователей доступом к широкому функционалу приложений без необходимости покупки нового устройства и снизить издержки разработчиков при масштабировании на разные платформы, необходимо унифицировать подходы к созданию AR/VR-продуктов путём внедрения единых стандартов.

В руководстве по разработке систем образования и обучения на основе VR и AR ISO (Guidelines for Developing VR and AR Based Education and Training Systems) [3.39] представлены рекомендации, которые описывают концепции, архитектуру информационного моделирования, функциональные компоненты на основе стандартов и компоненты для имплементации виртуального обучения.

В таблице 3.2 приведена классификация стандартов, в соответствии с рекомендациями ISO необходимых для разработки систем и соответствующих функций и функциональных типов VR и AR.

Таблица 3.2. Классификация стандартов, необходимых для AR/VR-систем образования и обучения [3.39]

Области стандартов	Функциональные направления
Репрезентация виртуальной среды для виртуального образования и обучения	Методы представления трёхмерных виртуальных сред для виртуального обучения. Интерфейсы приложений для виртуальных образовательных сред. Форматы файлов с информацией о виртуальном мире
Интерфейс виртуальной симуляции с виртуальными средами	Алгоритмы моделирования в зависимости от типов обучения. Моделирование интерфейса для получения информации об обучении
Виртуальная симуляция с репрезентацией реальной среды и датчики	Моделирование реального мира в виртуальных мирах с использованием информации о реальном мире. Интерфейсы для импорта и экспорта информации о реальном мире
Передача и обмен информацией	Сжатие и передача мультимедиа. Сжатая и защищённая передача информации для обучения
Описание и управление информацией об образовании и обучении	Описание и управление информацией об обучении. Управление обучением. Методы обучения

Кроме представленных в руководстве ISO, достаточно распространёнными являются два открытых стандарта — WebXR и OpenXR.

WebXR — это группа стандартов, разработанных организацией The World Wide Web Consortium (штаб-квартира в США) и подразумевающих добровольное использование компаниями. Они необходимы для поддержки рендеринга 3D-сцен на AR/VR-устройствах, а также API (WebXR Device API) для обеспечения следующих основных возможностей [3.40]:

- определение совместимых устройств вывода VR или AR;
- рендеринг 3D-сцены на устройстве с необходимой частотой кадров;
- зеркальное отображение на 2D-дисплее при необходимости;
- отрисовка векторов, отображающих перемещения входных элементов управления.

OpenXR — это стандарт доступа к платформам и устройствам виртуальной и дополненной реальности с открытым исходным кодом, не требующий лицензионных платежей. Как и WebXR, он является добровольным для организаций, при этом OpenXR распространён более широко. Этот стандарт был создан рабочей группой под управлением консорциума Khronos Group и выпущен в 2019 году.

В отсутствие кроссплатформенного стандарта VR и AR приложения должны использовать различные API каждой AR/VR-платформы (устройства). Стандарт OpenXR обеспечивает кроссплатформенный доступ и позволяет различным приложениям и программному обеспечению, включая WebXR, работать на любом устройстве, которое поддерживает стандарт (рис. 3.11).

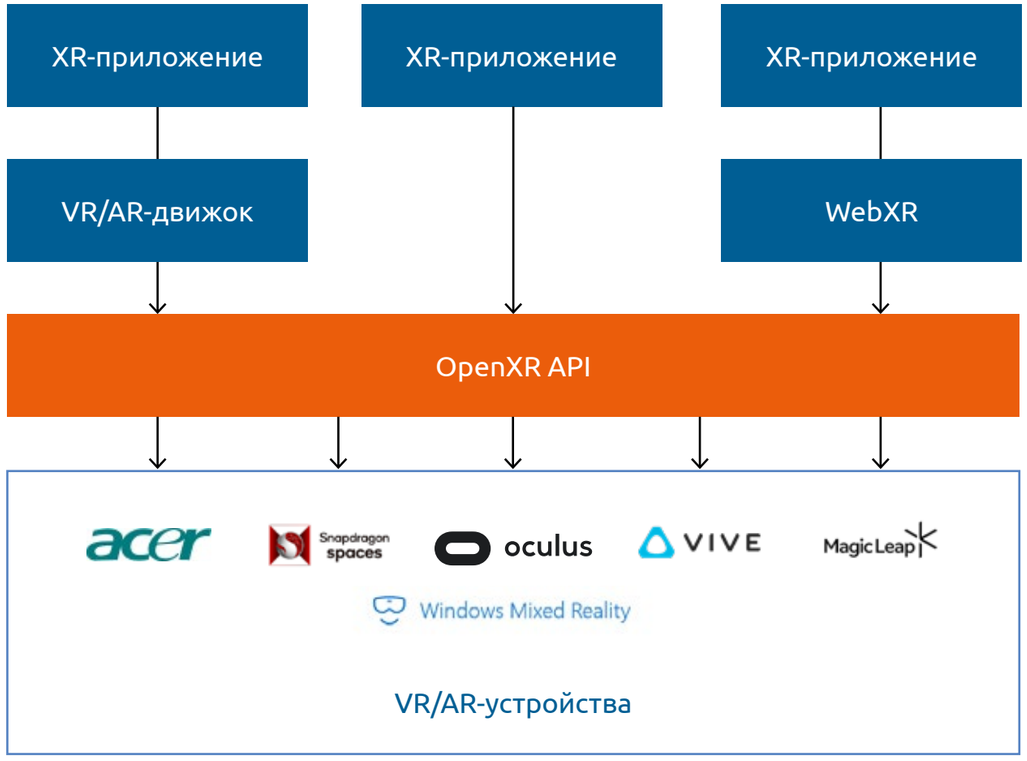


Рис. 3.11. Визуализация использования стандарта OpenXR [3.41]

3.6. Факторы применения AR/VR в энергетике

ОДНОГО ТОЛЬКО ФАКТОРА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ ПЕРСОНАЛА ДОСТАТОЧНО, ЧТОБЫ ОПРАВДАТЬ ИНВЕСТИЦИИ В AR/VR ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКА НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ КАК В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ, ТАК И НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ.

Сотрудники, которым пришлось бы проходить обучение в опасных условиях, при помощи технологии расширенной реальности могут обучаться в безопасной среде. При этом дорогостоящее оборудование не изнашивается, пока его осваивают многочисленные обучающиеся. В ряде кейсов в энергетике требуется сертификация AR/VR-устройств для использования во взрывоопасных средах, например, содержащих углеводороды, водород и другие легковоспламеняющиеся вещества, поэтому при выборе оборудования в таких условиях необходимо принимать это во внимание.

Далее перечислены аспекты, указывающие на потенциал развития технологий расширенной реальности в энергетическом секторе [3.2].

Прежде всего, оборудование и различные системы в энергетике, как правило, обладают сложной конфигурацией и структурой с точки зрения специалиста, который привлекается для соответствующей работы впервые и не обладает достаточным опытом и теоретической подготовкой. Традиционные методы изучения структуры, конфигураций, схемы потоков часто оказываются неэффективными для обучения персонала в большом масштабе.

Во-вторых, иммерсивная природа технологии VR обеспечивает пользователю понимание окружающей среды с высоким уровнем сохранения знаний, поскольку задействовано также визуальное восприятие информации. При этом иммерсивное представление информации возможно не только для проектных групп, но и для клиентов, заинтересованных в приобретении технологий.

В-третьих, технологии виртуальной реальности позволяют обучать персонал противодействию быстроразвивающимся, опасным и высокорисковым сценариям в реалистичной, но безопасной виртуальной среде. Технологии виртуальной реальности более безопасны и эффективны для обучения сотрудников, задействованных на работах, связанных с радиоактивной угрозой, риском выбросов токсичных газов и химикатов, а также высоким электрическим напряжением.

Кроме того, технологии дополненной реальности позволяют сотрудникам, находящимся на удалении друг от друга, коммуницировать с большей вовлечённостью и эффективностью. Функция наложения цифровых объектов на реальный мир позволяет визуализировать рабочие инструкции, чтобы снизить зависимость неопытного персонала от традиционных напечатанных руководств и помощи или контроля экспертов.

Наконец, жизненный цикл активов энергетического сектора превышает цикл эксплуатации и управления человеческим капиталом. Использование AR-инструментов для практической визуализации базы данных технического обслуживания и ремонта позволяет непосредственно на объекте просмотреть предыдущие события и детали ремонтных работ. Таким образом AR-технологии могут помочь снизить сроки ремонта, и, соответственно, уменьшить время простоя оборудования.

Первоначально энергетический сектор столкнулся с затруднениями в принятии и внедрении технологий расширенной реальности, однако сейчас ситуация динамично меняется. Факторами, которые способствуют внедрению технологий VR и AR в ТЭК, являются [3.2]:

- удалённое и труднодоступное расположение энергетических объектов;
- высокие затраты на имитацию реальных ситуаций для обучения персонала, выполняющего широкий спектр функций, особенно связанных с опасными производственными факторами;
- необходимость оперативного решения проблем на производственных активах с целью избежания незапланированных простоев;
- трудности, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом сложных механизмов или проведением работ в опасных зонах;
- необходимость точного моделирования опасных ситуаций для эффективного обучения персонала и оценки корректности предпринимаемых им действий с целью уменьшения риска травм или повреждений активов в реальной ситуации;
- эксплуатационная критичность ряда комплексов и объектов ТЭК с точки зрения тяжести последствий в случае аварий, которая требует, чтобы обслуживающий персонал был обучен максимально эффективно, приобрёл комплексное понимание различных аспектов эксплуатации актива и навыки предотвращения таких ситуаций;
- необходимость вовлечения в процесс эксплуатации и обслуживания производственных активов сотрудников из удалённых мест;
- снижение травматизма: внедрение AR-инструментов позволяет компаниям значительно сократить количество травм, поскольку работникам не нужно добираться до труднодоступных мест.

3.7. Направления применения расширенной реальности в энергетическом секторе

За последние годы были разработаны и внедрены цифровые решения по ряду направлений, основанные на AR, VR и MR. Некоторые примеры приведены ниже [3.2]:

- *ознакомление с объектами предприятия.* Данный функционал VR может быть полезен для ознакомления обслуживающего персонала с объектами предприятия, прежде чем они будут направлены на свои рабочие места, может использоваться проектировщиками при реконструкции объектов, а также маркетинговыми командами;
- *визуализация 3D-модели на основе 2D-чертежа.* 3D-модель объекта, например участок ТЭЦ, «накладывается» на 2D-чертёж, что позволяет детально рассмотреть объект с разных сторон для тщательного анализа и комплексного изучения проекта. AR-книги также используют схожую концепцию формирования и компиляции 3D-модели из 2D-изображений и чертежей различных объектов;
- улучшенные 3D-модели актива, созданные с помощью ИК и LIDAR-съемки с наземных и воздушных аппаратов (в частности, БПЛА), в том числе с привязкой к геокоординатам, *для создания полноценного цифрового двойника актива*;
- *изучение ситуации на объекте строительства с помощью технологии смешанной реальности.* 3D-изображение строящихся энергетических объектов с поддержкой смешанной реальности может быть использовано членами проектной группы для поддержки при принятии решений, например, в разработке последовательности монтажных работ, маршрута движения кранов большой грузоподъемности и схем такелажных работ, работ по монтажу трубопроводов и т.д.;
- *обучение* — одно из самых распространённых применений AR/VR-технологий. Иммерсивная природа расширенной реальности повышает эффективность обучения, а виртуальная реальность позволяет воссоздавать сценарии, которые в реальном мире были бы экономически невыгодны или небезопасны. Виртуальные среды позволяют одновременно обучать множество слушателей при активном участии инструктора, а также повторять или варьировать опыт для подготовки к реальным ситуациям.

Обучение с помощью технологий дополненной и виртуальной реальности в энер-

гетическом секторе можно разделить на три категории, а именно [3.2]:

а) обучение в области охраны труда, промышленной безопасности и охраны окружающей среды:

- обучение пожарной безопасности;
- обучение работам на высоте;
- обучение работам в ограниченных и замкнутых пространствах;
- обучение электробезопасности;
- обучение безопасности в особых условиях, таких как море, шахты, опасные среды и др.

б) обучение повторяющимся задачам на объектах:

- определение кратчайших или наиболее безопасных путей для избегания опасностей окружающей среды;
- определение надлежащих маршрутов транспортировки материалов и оборудования;
- определение временных альтернативных маршрутов, необходимых при выполнении конкретных процедур;
- координация действий по размещению, хранению и логистике.

в) обучение конкретным операциям на энергетических объектах:

- обучение запуску котлов, нормальной работе, противодействию аварийным ситуациям, последовательности операций и т.д.;
- обучение работе с различной техникой;
- обучение работе с паровыми и газовыми турбинами;
- обучение операциям и инспекциям на атомных электростанциях.

Таким образом, обучение на основе технологий расширенной реальности может охватывать очень широкий перечень задач и направлений. Однако для этого необходима разработка специальных учебных модулей для каждого конкретного направления, для чего, в свою очередь, требуется кооперация между экспертами из организаций ТЭК и разработчиками VR-контента, поставщиками решений.

3.7.1. Кейсы

Южнокорейская энергетическая компания (Korea Hydro & Nuclear Power, KHNP) создала систему виртуальной и дополненной реальности для энергоблоков на АЭС «Сингори». Проект «киберэлектростанции» позволит обеспечить высокий уровень безопасности на объекте благодаря отработке навыков персонала на виртуальном симуляторе (рис. 3.12).

Риуснок 3.12. Система виртуальной и дополненной реальности для 5 и 6 энергоблоков АЭС «Сингори» [3.42]

В EDF (Électricité de France) использовали 3D-схему и виртуальную реальность для разработки системы «DIAG ENERGIE 3D». Она позволяет моделировать динамическую тепловую модель помещения и проводить индивидуальную диагностику энергоэффективности [3.43].

Другой проект EDF с применением дополненной реальности — «VVPrOPrера». Это цифровой инструмент, который используется компанией в рамках программы продления срока эксплуатации АЭС. Его можно охарактеризовать как «Google Street View для электростанции». Фотографии, сделанные по всей станции, оцифрованы и затем собраны таким образом, чтобы с ними можно было ознакомиться с помощью средств виртуальной реальности. Данное программное обеспечение предоставляет специалистам по техническому обслуживанию всевозможные точки обзора, позволяет измерять расстояния или рассчитывать маршруты. Первая виртуальная модель внедряется на АЭС «Каттеном», но в дальнейшем она будет развёрнута на всех объектах, где проводится капитальный ремонт (рис. 3.13).

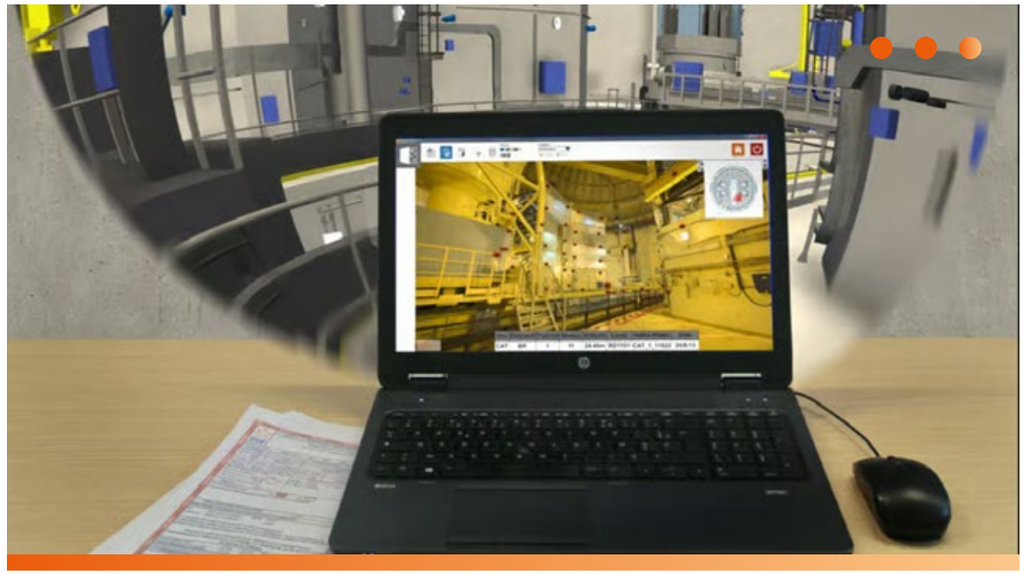


Рис. 3.13. Виртуальная модель АЭС «Каттеном» (Франция) [3.43]

Финская компания Fortum разработала динамическую систему виртуальной реальности для АЭС «Ловииса». Она позволяет проводить иммерсивное обучение сотрудников по различным сценариям, начиная от базовых повседневных практик, таких как мониторинг дисплеев, и заканчивая сложными операциями [3.44].

Компания Consolidated Edison (США) использует VR-тренажёры для обучения сотрудников процедурам и мерам безопасности на газовых и электрических установках. Другая крупная энергетическая компания PG&E (США) сотрудничает с компанией Nokia в области интернета вещей: в совместном проекте используются данные об объектах вместе с технологией виртуальной реальности для быстрого получения информации об оперативной обстановке и обучения сотрудников [3.45].

Система виртуальной реальности COMOS Walkinside компании Siemens (Германия) позволяет владельцам энергетических объектов создавать виртуальные среды для ежедневной эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла объекта. Начиная с этапа проектирования система COMOS Walkinside используется для простого и интуитивно понятного просмотра разработанного 3D-проекта без необходи-

мости привлечения сложных инженерных инструментов. Она также применяется на этапах планирования ввода в эксплуатацию, технического обслуживания, выполнения повседневных задач, таких как инспекции или устранение аварийных ситуаций, помощь при принятии решений без необходимости посещения объекта [3.46].

Технология AR также используется для повышения эффективности обучения. Дополненная реальность даёт возможность проводить обучение в реальном времени с погружением в процесс, при этом присутствие профессиональных инженеров необязательно: инженеры без опыта могут самостоятельно использовать готовые AR-программы.

Компания GE Renewable Energy провела эксперимент с использованием умных очков и AR-платформы «Skylight» (рис. 3.15). Для эксперимента инженерной команде поставили задачу по установке проводов на ветрогенераторе, при этом половину команды снабдили умными очками дополненной реальности. Группа работников, использовавшая AR-очки, справилась с заданием в два раза быстрее, была более точна и допустила меньше ошибок.

Рис. 3.14. Пример использования платформы Skylight компании General Electric [3.47]

AR-технология также полезна, если у новичков возникают рабочие вопросы, и требуется участие более опытных коллег. Например, сотрудники могут использовать AR-гарнитуры для получения дистанционных инструкций: таким образом опытные инженеры видят то же, что их младшие коллеги, что помогает им решить техническую проблему в режиме реального времени.

Технологическая компания NSFLOW (Германия) предлагает AR-решение для ускорения процесса адаптации и обучения (рис. 3.15), которое состоит из модуля цифровых рабочих процессов и модуля удалённой поддержки. Первый помогает создавать интерактивные тренинги, инструкции и сервисные процедуры, а второй отвечает за связь полевых специалистов с удалёнными экспертами. Среди технологических возможностей платформы — использование цифровых двойников энергетических объектов для обучения сотрудников до того, как они начнут работать с реальным оборудованием. Одним из пользователей платформы NSFLOW является энергетическая компания DTE Energy (США), которая применяет её для создания интерактивных тренингов и инструкций для новых сотрудников.

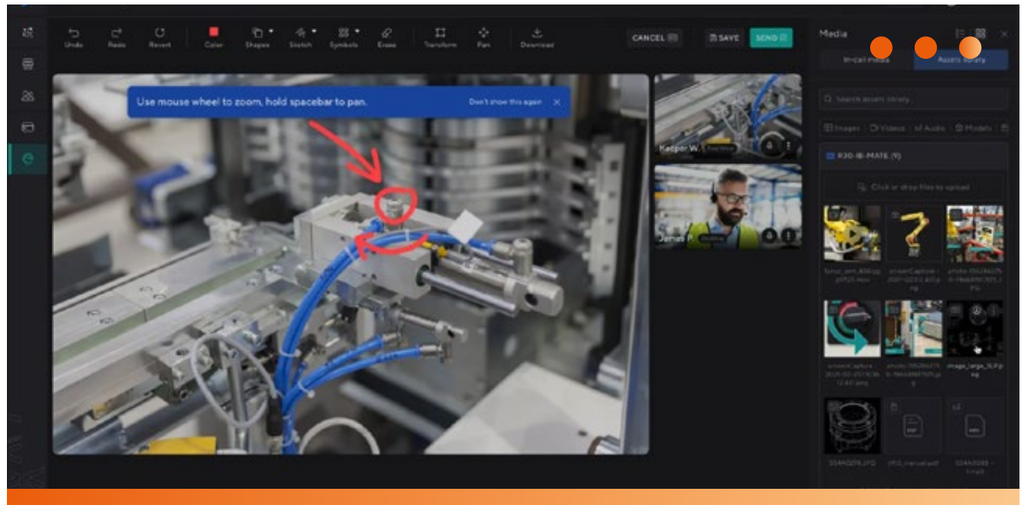


Рис. 3.15. Визуализация работы AR-платформы NSFLOW [3.48]

Компания Siemens с 2020 года использует AR для связи своих работников на местах с удалёнными экспертами. Компания испытывала трудности с эффективным обслуживанием и регулярным осмотром оборудования, поскольку работы выполнялись в труднодоступных и отдалённых локациях. С помощью AR инженеры Siemens могут дистанционно проводить осмотр, диагностику и обслуживание промышленного оборудования, что ускоряет время решения проблемы и повышает производительность труда. Кроме того, это также повышает безопасность работников — компании Siemens Energy удалось снизить частоту и количество несчастных случаев и показатели травматизма на 43%.

Таким образом, сценарии применения дополненной реальности в большей степени распространяются на операционную деятельность, а направления использования виртуальной реальности практически полностью сосредоточены на обучении, планировании и клиентском сервисе.

3.8. Выводы

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ДОРОЖНЫХ КАРТ, ИССЛЕДОВАНИЙ, ОТЧЁТОВ И ДРУГИХ ИСТОЧНИКОВ ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО МАСШТАБНОЕ ВНЕДРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ AR/VR СТАЛКИВАЕТСЯ С РЯДОМ ПРОБЛЕМ.

Их можно охарактеризовать следующим образом:

1. Отсутствие стандартов и руководства нормативного характера на национальном уровне. VR-устройства, технологии и ПО от разных производителей зачастую не могут быть синхронизированы между собой. Существует ряд стандартов (ISO, WebXR, OpenXR), однако они не являются общепризнанными, и организации следуют им добровольно;
2. VR не хватает достоверности. Виртуальные модели сложных объектов на производстве могут не в полной мере соответствовать реальности, в результате чего страдает процесс обучения. В ряде случаев (например, для операторов электростанций) VR-обучение необходимо комбинировать с физическими стендами, применять технологии цифрового двойника для обогащения виртуального пространства реальными данными. Таким образом, расширенная

реальность является только подспорьем в повышении эффективности традиционного обучения, но не может его полноценно заменить;

3. Скорость актуализации виртуального контента. В контексте обучения главное — это контент, а технология VR является лишь средством, поэтому низкая скорость актуализации контента становится проблемой. Простых в освоении инструментов для создания AR/VR-контента не существует, что делает его массовое производство невозможным [3.6];
4. Скорость внедрения и популяризации технологии. Стоимость головного VR-устройства (шлема виртуальной реальности) в совокупности с необходимостью разработки и актуализации контента, особенно если он связан со сложными и многоступенчатыми технологическими процессами, остаётся высокой, что отталкивает многие малые и средние компании от внедрения технологий расширенной реальности;
5. С технологической точки зрения, несмотря на явный прогресс в последние годы, существующие носимые VR-устройства всё ещё имеют ряд проблем, влияющих на пользовательский опыт. Компания Хуавей (Китай) и китайский Альянс в области видеотехнологий (Video Experience Alliance, VEA) провели опрос среди различных компаний и обычных пользователей на тему предпочтений в отношении мониторов и VR-шлемов с высоким разрешением. Результаты опросов показали, что при наличии выбора между монитором и VR-шлемом 44% опрошенных отдают предпочтение классическому монитору. В качестве основных недостатков VR-устройств с точки зрения пользовательского опыта были выделены такие, как дискомфорт от длительного ношения, менее качественная картинка при одинаковом номинальном разрешении дисплеев и невозможность использования VR-шлема при выполнении других задач [3.36]. Несмотря на все указанные барьеры, материалы аналитических и исследовательских агентств указывают на то, что технология расширенной реальности является востребованной, и всё больше предприятий начинают применять AR/VR в своей деятельности. Некоторые компании используют эту технологию для повышения эффективности обучения персонала, другие таким образом совершенствуют операционные процессы.

В России рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» принята дорожная карта развития виртуальной и дополненной реальности. Непосредственно развитием технологий виртуальной и дополненной реальности занимаются крупные энергетические компании и вузы, среди них Госкорпорация «Росатом» (в том числе ЧУ «Цифрум», АО «Концерн Росэнергоатом», АО «Гринатом»), «Газпромнефть», НИУ «МЭИ». Подробнее с различными аспектами внедрения технологий AR и VR в России можно ознакомиться в разделе «Российский опыт» [3.49, 3.50].

Таким образом, для интенсификации развития технологий расширенной реальности и их интеграции в деятельность отечественных компаний ТЭК целесообразны следующие инициативы:

- государственное содействие сотрудничеству между производителями программного и аппаратного обеспечения для создания индустрии AR/VR, развитие межведомственного взаимодействия;
- создание и поддержка исследовательских учреждений, институтов, которые будут разрабатывать технологии расширенной реальности и прикладное ПО;
- развитие государственных мер поддержки для стимулирования развития AR/VR-индустрии;
- формирование и продвижение практико-ориентированных программ обучения в вузах с использованием технологий виртуальной реальности, развитие компетенций работников и популяризация технологии в отрасли;
- создание стандартизированных систем или платформ, используя которые преподаватели могли бы получить доступ к AR/VR-контенту.

Список использованных источников

3.1 Probst, J.M. and H. Orsolits, 2022. Experts' View on AR/VR in Engineering Education at Universities. 25th International Conference on Interactive Collaborative Learning, International Association of Online Engineering, International Society for Engineering Pedagogy URL: www.researchgate.net/publication/364011514.

3.2 Bhagwat, S.P., D. Moreno, W. Davis, S. Moshasha and R. Deatherage, 2021. VR/AR in the Energy Sector White Paper. VR/AR Association.

3.3 White Paper of Taiwan XR Industry, 2020. DIGI SPACE CO., LTD.

3.4 AR & VR — Worldwide. URL: www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide#revenue.

3.5 Virtual Reality in Education. Global Market Report 2023. URL: www.researchandmarkets.com/reports/5767510/virtual-reality-in-education-global-market-report.

3.6 Wang, C., Y. Tang, M. Kassem, H. Li and B. Hua, 2021. Application of VR technology in civil engineering education. Computer applications in Engineering Education, 30. URL: www.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.22458.

3.7 Virtual Reality/Augmented Reality White Paper (2017). China Academy of Information and Communications Technology (CAICT). Huawei Technologies Co., Ltd. December 2017.

3.8 The 5th Science and Technology Basic Plan, 2015. Council for Science, Technology and Innovation Cabinet Office, Government of Japan.

3.9 Integrated Innovation Strategy, 2022. The Council for Science, Technology and Innovation, Government of Japan.

3.10 Broeckaert, L., 2022. Digital transformation in Japan. Assessing business opportunities for EU SMEs. Tokyo: EU-Japan Center for Industrial Cooperation.

3.11 Integrated Report, 2021. Mitsubishi UFJ Financial Group.

3.12 Horizon Europe Strategic Plan (2021–2024), 2021. The European Commission.

3.13 Horizon Europe Strategic Plan 2025–2027 Analysis, 2023. The European Commission.

3.14 The Federal Agency for Disruptive Innovation SPRIND (Germany). URL: www.sprind.org/en/we/.

3.15 Barker, T. and D. Hagebölling, 2022. DGAP Report: A German Digital Grand Strategy. Berlin: German Council on Foreign Relations.

3.16 Resilience in the Context of Industrie 4.0, 2022. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK).

3.17 Department of business and trade. Augmented reality and virtual reality. URL: www.great.gov.uk/international/content/investment/sectors/ar-and-vr/.

3.18 PWC: How UK organisations are using XR. URL: www.pwc.co.uk/issues/emerging-technologies/metaverse-technologies/how-uk-organisations-use-vr-ar.html.

3.19 The UK Oil and Gas Industry Association. Roadmap 2035: A Blueprint for Net Zero. URL: www.roadmap2035.co.uk/.

3.20 UK Research and Innovation. Audience of the future. URL: www.ukri.org/who-we-are/about-uk-research-and-innovation/.

3.21 AR & VR - United States. URL: www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/united-states.

3.22 National Science Foundation.URL: www.seedfund.nsf.gov/our-program/.

3.23 U.S. General Services Administration. Tech at GSA. URL: www.tech.gsa.gov/.

3.24 U.S. Department of Education. URL: www.ed.gov/.

3.25 Advanced Research Projects Agency — Energy. URL: www.arpa-e.energy.gov/.

3.26 General Services Administration. CTO TechRadar. URL: www.tech.gsa.gov/techradar/technologies/virtual-presence/.

3.27 Holler, M., F. Uebernickel and W. Brenner, 2016. Digital Twin Concepts in Manufacturing Industries - A Literature Review and Avenues for Further Research. 18th International Conference on Industrial Engineering (IJIE), Korean Institute of Industrial Engineers URL: www.alexandria.unisg.ch/handle/20.500.14171/103855.

3.28 Tjahyadi, H., K. Prasetya and M. Murwantara, 2023. Digital Twin Based Laboratory for Control Engineering Education. International Journal of Information and Education Technology, 13(4).

3.29 iLab. (Educational Transformation through Technology at MIT. URL: www.web.mit.edu/edtech/case-studies/ilabs.html.

3.30 Beemt, A., S. Groothuijsen, L. Ozkan and W. Hendrix, 2023. Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy. Journal of Computing in Higher Education, 35.

3.31 The remote laboratory VISIR — Introducing online laboratory equipment in electrical engineering classes. URL: www.ieeexplore.ieee.org/document/9274121.

3.32 Remote laboratory management framework. WebLab-Deusto. URL: www.weblab.deusto.es/website/.

3.33 Bamodu, O. and X. Ye, 2020. Virtual Reality and Virtual Reality System Components. International Conference On Systems Engineering and Modeling, College of Mechanical Engineering, Shenyang University, China.

3.34 Cheng, P., K. Chen and W. Chen, 2020. State-of-the-Art Review on Mixed Reality Applications in the AECO Industry. Journal of Construction Engineering and Management, 146(2).

3.35 Augmented and Virtual Reality (AR/VR) for Education and Training in the AEC Industry: A Systematic Review of Research and Applications. URL: www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1529.

3.36 Technical White Paper on Virtual Reality Experience Standards., 2020. Beijing: Video Experience Alliance (VEA).

3.37 Bui, G., B. Morago, T. Le, K. Karsch and Z. Lu, 2016. Integrating Videos with LIDAR Scans for Virtual Reality. IEEE Annual International Symposium Virtual Reality, Institute of Electrical and Electronics Engineers.

3.38 Arif, F., 2021. Application of virtual reality for infrastructure management education in civil engineering. Education and Information Technologies, 26.

3.39 Guidelines for Developing VR and AR Based Education and Training Systems (ISO). URL: www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/developing_standards/who_develops_standards/docs/White_Paper_VRAR.pdf.

3.40 WebXR Device API Explained. URL: www.github.com/immersive-web/webxr/blob/master/explainer.md.

3.41 OpenXR Overview. www.khronos.org/openxr/.

3.42 KHNP sets up a VR•AR system for Singori Units 5, 6 for cyber power plants. URL: www.koreaittimes.com/news/articleView.html?idxno=104627.

3.43 Virtual Reality & Augmented Reality (EDF). URL: www.edf.fr/en/the-edf-group/inventing-the-future-of-energy/rd-global-expertise/rd-experience/data-science-ai-world/virtual-reality-and-augmented-reality.

3.44 Fortum develops high-definition VR simulator. Date Views URL: www.world-nuclear-news.org/Articles/Fortum-develops-high-definition-VR-simulator.

3.45 Virtual reality paving the way for enhanced safety and efficiency in the power industry. URL: www.power-technology.com/comment/virtual-reality-enhanced-safety/?cf-view.

3.46 Virtual reality paving the way for enhanced safety and efficiency in the power industry. URL: www.power-technology.com/comment/virtual-reality-enhanced-safety/?cf-view.

3.47 Looking Smart: Augmented Reality Is Seeing Real Results In Industry (General Electric). URL: www.ge.com/news/reports/looking-smart-augmented-reality-seeing-real-results-industry-today.

3.48 Looking Smart: Augmented Reality Is Seeing Real Results In Industry (General Electric). URL: www.ge.com/news/reports/looking-smart-augmented-reality-seeing-real-results-industry-today.

3.49 Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности». URL: www.digital.gov.ru/ru/documents/6654/.

3.50 Российская промышленность присматривается к новой реальности (cdo2day). URL: www.cdo2day.ru/practice/rossijskaja-promyshlennost-prismatrivaetsja-k-novoj-realnosti/.

4. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ В ОБЛАСТИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНЫ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ ГИБКО ПОДКЛЮЧАТЬСЯ И ОТКЛЮЧАТЬСЯ ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ РЕШЕНИЙ — ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ (СНЭ).

Виртуальной электростанцией называется децентрализованная агрегированная электростанция, которая состоит из смешанных активов, например, фотоэлектрических элементов, ветряных турбин или гидроэлектростанций, соединённых центральной системой управления, дающей возможность покупать или продавать электроэнергию на рынке (см. рис. 4.1). Система управления также обрабатывает широкий спектр данных, включая прогнозы погоды и ценообразования, информацию от операторов сети и так далее. Спрос на виртуальные электростанции обусловлен необходимостью обеспечения стабильности и надёжности электроснабжения при существующем росте генерации из переменных по выработке возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Также рынок поддерживается за счёт государственных и частных программ, направленных на расширение использования ВИЭ и сокращение выбросов парниковых газов.

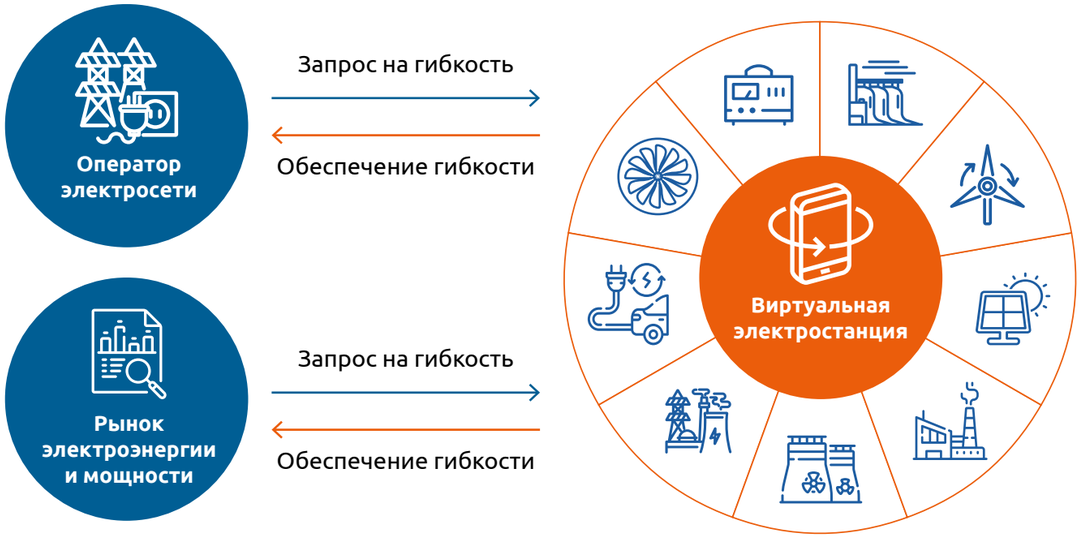


Рис. 4.1. Концепция виртуальной электростанции [4.1]

Исторически концепция виртуальной электростанции возникла для интеграции в электрическую сеть децентрализованных возобновляемых источников энергии с нестабильной во времени выработкой. На сегодняшний день виртуальные электростанции также объединяют в единую систему электромобили, системы хранения энергии, системы отопления и кондиционирования, водонагреватели и многое другое. Задействование этих активов в различных сценариях позволяет балансировать работу энергосистемы, обеспечивая требуемую стабильность.

В последние годы в системах управления виртуальных электростанций начинают использоваться технологии искусственного интеллекта, которые позволяют более точно подстраивать работу на основе машинного обучения. Кроме того, виртуальные электростанции позволяют всем участникам, включая домохозяйства, покупать или продавать электроэнергию на рынке.

Также виртуальные электростанции могут предоставлять услуги гибкости системным операторам: участвовать в регулировании частоты и напряжения, программах управления спросом и так далее. Современные цифровые системы управления виртуальных электростанций строятся таким образом, чтобы реагировать на сигналы системного оператора для увеличения или уменьшения нагрузки в интервале от нескольких секунд до нескольких минут.

4.1. Рынок виртуальных электростанций

МИРОВОЙ РЫНОК ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВЫСОКОКОНКУРЕНТЕН И ФРАГМЕНТИРОВАН, В ОТРАСЛИ РАБОТАЕТ МНОЖЕСТВО ИГРОКОВ.

В 2022 году объём рынка виртуальных электростанций оценивался в 250 млн долл. США, к 2030 году прогнозируется рост до 1,5 млрд долл. США [4.2]. Ключевыми факторами развития рынка являются децентрализация энергосистем и климатические требования. Спрос будет также увеличиваться по мере снижения стоимости аккумуляторных батарей и разработки механизмов вознаграждения потребителей за выдачу электроэнергии в сеть.

В зависимости от конечных потребителей рынок виртуальных станций можно разделить на коммерческий, промышленный и жилой. Наибольший рост в последние годы приходится на промышленный сегмент, где создаются виртуальные электростанции малой и средней мощности. Кроме того, промышленность привлекают возможности энергосбережения, которые предоставляет виртуальная электростанция. Также распространение виртуальных электростанций связано с цифровизацией сетей, внедрением интеллектуальных приборов учёта и проникновением IoT. Самый быстрый рост на рынке виртуальных электростанций наблюдается в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Во-первых, это связано с экономическим ростом и развитием промышленности, а во-вторых, с широким внедрением возобновляемых источников для замещения генерации из ограниченных ископаемых ресурсов.

Ниже приведена информация об основных разработчиках виртуальных электростанций (по материалам [4.1, 4.3]).

Компания *ABB* разработала систему решений для коммунальных предприятий, предназначенную для оптимизации локального производства и распределения электроэнергии. Система использует технологии машинного обучения для координации работы активов и контроля их состояния. Решение внедрено в августе 2020 года в Jibei Electric Power Co. Ltd. — дочерней компании Государственной электросетевой компании КНР [4.4].

В ноябре 2020 года компания *Siemens* в рамках проекта оптимизации энергопотребления финской пивоварни Sinebrychoff внедрила решение, основанное на использовании виртуальной электростанции и системы накопления энергии [4.5]. Это один из первых примеров проекта по достижению гибкости энергопотребления на промышленной площадке. В данном случае цифровые технологии позволили создать для предприятия новую бизнес-модель на несвойственном рынке.

Компанией *General Electric* реализуется пилотная программа интеграции систем накопления электроэнергии в жилых домах Портленда (штат Орегон, США) в виртуальную электростанцию. Суммарная мощность составит 4 МВт. Проект призван улучшить надёжность и безопасность электроснабжения.

Ряд цифровых решений представлен компанией *Schneider Electric*. Они включают платформу EcoStruxture для промышленной автоматизации и управления энергопотреблением, а также систему управления сетью AutoGrid, реализующую технологии оптимизации работы различных активов (накопители энергии, электромобили, система управления спросом) [4.6].

Компания *Enel* является пионером в создании систем реагирования на спрос. В 2020 году в Италии был реализован проект объединения системы реагирования на спрос с домашними накопителями электроэнергии в рамках виртуальной электростанции [4.7]. Итальянский системный оператор TERNA полагает, что внедрение решения позволит довести долю возобновляемых источников в энергосистеме до 55% к 2030 году.

Проект Smart City Rheintal, который реализуется компанией *Bosch* в австрийском

регионе Форарльберг, направлен на опережающее достижение углеродной нейтральности. В том числе, для этого создана виртуальная электростанция, объединившая распределённые ресурсы [4.8].

Компания *Hitachi* реализует ряд проектов по объединению распределённых ресурсов в США и Великобритании. В частности, создана виртуальная электростанция, объединяющая ВЭС, аккумуляторные батареи электромобилей и домашние системы накопления энергии. В 2021 году проект виртуальной электростанции был реализован в Сингапуре на основе систем накопления энергии PowerStore [4.9].

Широкий спектр продуктов в области управления энергопотреблением разработан компанией *Mitsubishi*. В 2020 году компания продемонстрировала коммерческие решения для V2G и виртуальной электростанции. Аккумуляторная батарея электромобиля в данных решениях использовалась для балансирования переменной выработки ветряной турбины [4.10].

Одна из ведущих энергетических компаний Австралии *AGL* реализовала в Квинсленде, Новом Южном Уэльсе и Виктории проект по дооснащению СЭС и ВЭС системами накопления энергии и системами управления с целью создания виртуальной электростанции. Компания субсидирует подключение в размере 100 австралийских долларов, ежеквартальная скидка составляет 45 австралийских долларов [4.11].

Германская компания *Kraftwerke* (приобретена *Shell*) управляет крупномасштабной виртуальной электростанцией, объединяющей около 13 тыс. средних и малых производителей электроэнергии и потребителей. Генерация осуществляется с помощью ветровых, солнечных и биогазовых установок. В коллаборации с компанией *Toshiba* были созданы накопители энергии, суммарная ёмкость которых в 2023 году достигла 250 МВт·ч. Компания предлагает подписку на программное обеспечение, позволяющее пользователям контролировать и управлять распределёнными ресурсами и системами хранения [4.12].

Шотландская компания *Flexitricity* (Эдинбург) управляет виртуальной электростанцией суммарной мощностью более 800 МВт, к которой подключены устройства в больницах, университетах, супермаркетах и т.п. В 2022 году Flexitricity реализовала два проекта по созданию систем накопления энергии в Лондоне и Бристоле (155 и 20 МВт соответственно) и подключила их к виртуальной электростанции. Диспетчерский центр в Эдинбурге контролирует работу виртуальной электростанции, а также предоставляет энергосистеме услуги по регулированию частоты, участвует в торгах на оптовом рынке [4.13].

В законодательном плане США являются пионером на рынке виртуальных электростанций. В 2020 году Федеральная комиссия по регулированию энергетики США (FERC) выпустила приказ № 2222, который обязал региональных сетевых операторов допустить виртуальные электростанции на оптовые рынки электроэнергии. Это привело к запуску ряда крупных проектов по созданию систем накопления энергии и виртуальных электростанций.

В январе 2021 года компания *Swell Energy* в партнёрстве с Tesla запустила виртуальную электростанцию на Гавайских островах. В проекте участвуют 6 тыс. жилых домов. В 2022 году Swell Energy привлекли инвестиции на 120 млн долл. США для проекта виртуальной электростанции, объединяющей 26 тыс. домохозяйств с суммарной ёмкостью накопителей более 600 МВт·ч.

Также в 2021 году компания *Tesla* запустила собственную виртуальную электростанцию в Калифорнии, чтобы снизить нагрузку на энергосистему штата и предотвратить перебои в поставке электроэнергии. К концу 2022 года в программе участвовали более 5,5 тыс. домохозяйств, оборудованных накопителями Powerall [4.15]. Технологически схожая электростанция запускается производителем в штате Техас.

В октябре 2022 года компания *Sunrun*, поставщик домашних фотоэлектрических установок, подвела итоги проекта по созданию виртуальной электростанции в регионе Новая Англия (США). С июня по август 2022 года домохозяйства, участвующие в проекте, передали в энергосистему суммарно 1,8 ГВт·ч электроэнергии [4.16].

В Великобритании запущен стартап *Limejump* для управления крупным пулом генерации из ВИЭ и системами накопления энергии [4.17]. Особенностью является использование проприетарного оборудования интернета вещей, позволяющего отправлять и получать телеметрические команды в режиме реального времени. Структура платформы Limejump показана на рис. 4.2.

Корейская компания *SKTelecom* участвовала в создании виртуальной электростанции для объединения фотоэлектрических установок и осуществления трейдинга на рынке электроэнергии в Сеуле и Пусане. Платформа представляет собой облачное решение, использующее технологии искусственного интеллекта — анализ больших

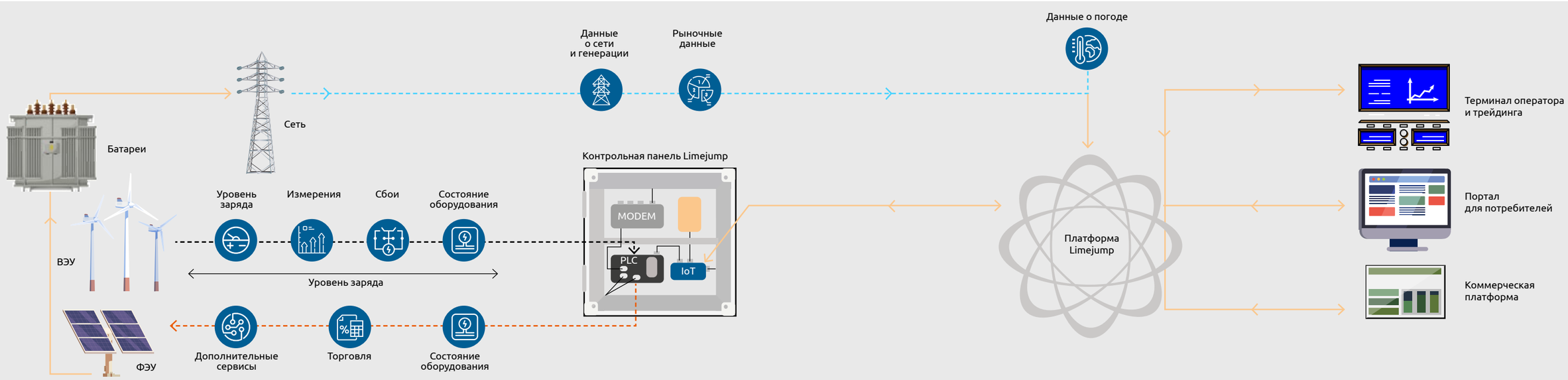


Рис. 4.2. Платформа виртуальной электростанции Limejump [4.17]

данных и машинное обучение. Анализ позволяет оптимизировать цены при продаже электроэнергии в сеть, а также производить регулирование частоты и напряжения в реальном времени [4.18].

Компания *Evergreen Smart Power* (Великобритания) разработала решение на базе виртуальной электростанции для интеграции электромобильных аккумуляторов в сеть [4.19]. Кроме того, у компании есть решения для подключения и других источников генерации.

Появление цифровых сетей и интеллектуальных систем учёта, развитие IoT открыло возможности контроля потребления на уровне отдельных приборов. Интеграция таких решений в виртуальные электростанции увеличивает их плюсы для конечных пользователей за счёт тонкой оптимизации потребления. Германской компанией *Energiekoppler* уже разработаны самообучающиеся IoT-устройства swarmBOX и swarmHUB, позволяющие управлять процессами производства и потребления энергии, а также выдавать сигналы в торговую систему [4.20].

О перспективности виртуальных электростанций говорит то, что компании активно создают объединения для развития данной технологии. В январе 2023 года группа крупных компаний, включающая Ford, General Motors, Google, OhmConnect, Olivine, SPAN, SunPower, Sunrun, SwitchDin и Virtual Peaker, сформировала альянс с целью расширения рынка виртуальных электростанций [4.21]. Участники запустили инициативу «Партнёрство виртуальных электростанций» (Virtual Power Plant Partnership, VP3), которая направлена на формирование политики по развитию соответствующего рынка. Компании заявили, что будут работать вместе, чтобы установить стандарты для расширения использования виртуальных электростанций. Инициатива предполагает сотрудничество с ведущими производителями электромобилей, бытовых энергетических систем, средств управления энергоэффективностью зданий и т.д.

Виртуальные электростанции являются логическим шагом на пути к использованию всего потенциала распределённых источников энергии. Инфраструктура виртуальных электростанций вскоре станет нормой, а не исключением, и существенно повысит эффективность и отказоустойчивость энергосистем. Однако, поскольку виртуальная электростанция — это всё ещё новая технологическая концепция, существует большая потребность в разработке общих стандартов и политик.

4.3. Системы накопления энергии

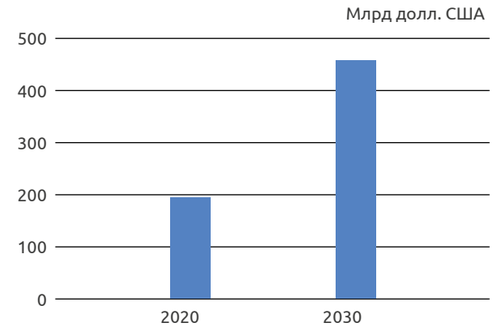


Рис. 4.3. Прогноз роста рынка систем накопления (хранения) энергии [4.22]

ПО ПРОГНОЗАМ КОНСАЛТИНГОВОЙ КОМПАНИИ GREYB, МИРОВОЙ РЫНОК СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ (ХРАНЕНИЯ) ЭНЕРГИИ К 2030 ГОДУ ДОСТИГНЕТ 435,5 МЛРД ДОЛЛ. США (СМ. РИС. 4.3) [4.22].

Основными причинами такого роста являются:

а) необходимость интеграции в энергосистему переменной по выработке децентрализованной генерации из ВИЭ;

б) существенное снижение стоимости аккумуляторных батарей;

в) инициативы по снижению выбросов парниковых газов;

в) появление инновационных технологических решений, позволяющих владельцам систем накопления энергии получать выгоду от их использования.

Эти причины достаточно тесно связаны между собой. Например, в целях достижения показателей декарбонизации к 2050 г. В Лондоне должны быть введены в эксплуатацию фотоэлектрические установки суммарной мощностью 2 ГВт, в Париже к 2030 году 20% зданий должны быть оборудованы фотоэлектрическими установками, в Берлине к 2050 году 25% потребления электроэнергии планируется покрыть из возобновляемых источников [4.23, 4.24]. Такие объёмы собственной генерации из ВИЭ требуют поддержания большого количества резервной мощности в режиме готовности. Для решения этой проблемы реализуются государственные программы стимуляции развёртывания фотоэлектрических установок вместе с системами накопления энергии:

- в США приняты Energy Storage Tax Incentive and Deployment Act, The Energy Storage for Social Equity Initiative, устанавливающие целевой уровень мощности СНЭ в 100 ГВт, для его достижения планируется снижение налога на имущество и выделение господдержки в размере 9 млн долл. США;
- в Германии приняты Energy Storage Photovoltaic Program и Germany's Renewable Energies Act, стимулирующие использование СНЭ в домохозяйствах.

Крупнейшими рынками, на которых активно внедряются СНЭ, являются КНР, США и Германия. В КНР на конец 2022 года в эксплуатации находились накопители суммарной мощностью 59,8 ГВт [4.25]. В США на конец II квартала 2023 года эксплуатируются СНЭ мощностью 14 ГВт, прогнозируется, что в период с 2023 по 2025 годы будут введены ещё 85 ГВт мощностей СНЭ [4.26]. В 2023 году в эксплуатации в Германии уже находятся СНЭ суммарной ёмкостью почти 8,3 ГВт·ч. Судя по темпам ввода, на конец 2023 года суммарная ёмкость достигнет 10–11 ГВт·ч, что обеспечит совокупную мощность порядка 7 ГВт [4.27]. На рис. 4.4 и 4.5 показаны прогнозы Bloomberg по суммарной мощности СНЭ и темпам ввода соответственно.

К 2030 году суммарная мощность СНЭ в мире достигнет 650 ГВт (ёмкость 1877 ГВт·ч), причём за 2023 год темпы ввода новых мощностей выросли радикально уже по данным I и II кварталов [4.28, 4.29].

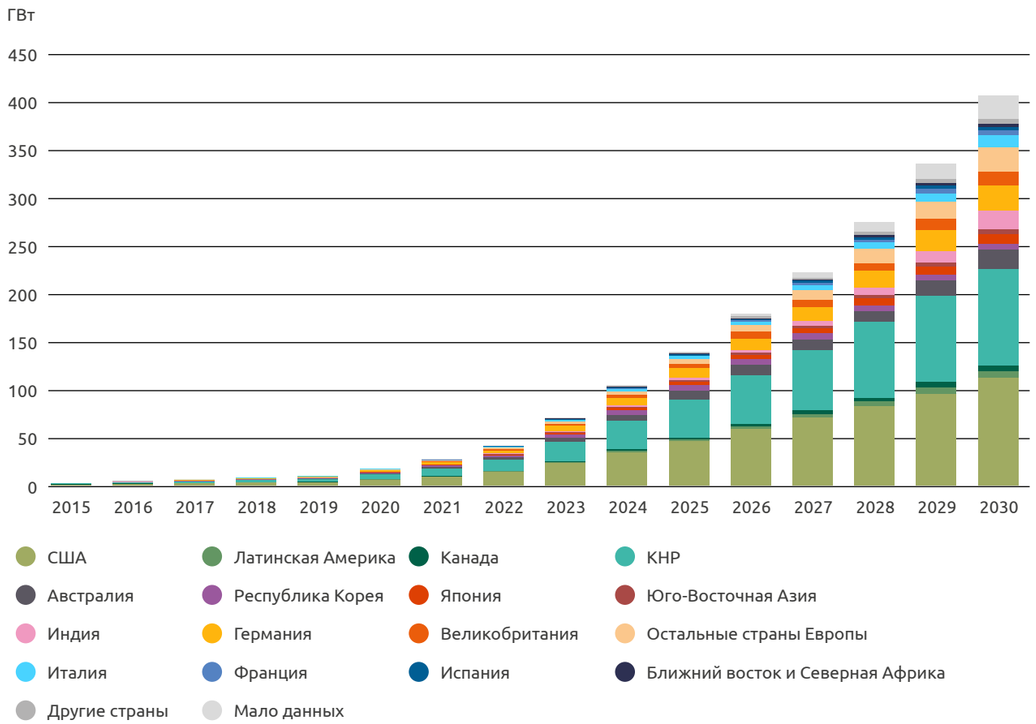


Рис. 4.4. Прогноз суммарной мощности СНЭ в мире до 2030 года [4.28]

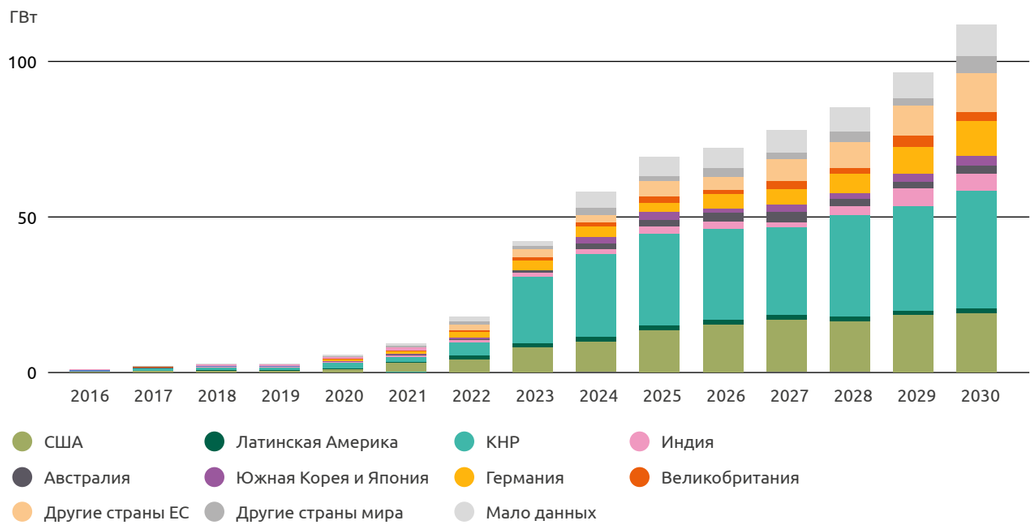


Рис. 4.5. Темпы ввода мощностей СНЭ до 2030 года [4.29]

Далее в настоящем разделе нами рассмотрены различные типы систем накопления (хранения) энергии, их преимущества и недостатки.

4.3.1. Аккумуляторные СНЭ

Аккумуляторные системы накопления энергии получили наибольшее распространение в мировой практике. Структурная схема аккумуляторной СНЭ приведена на рис. 4.6.

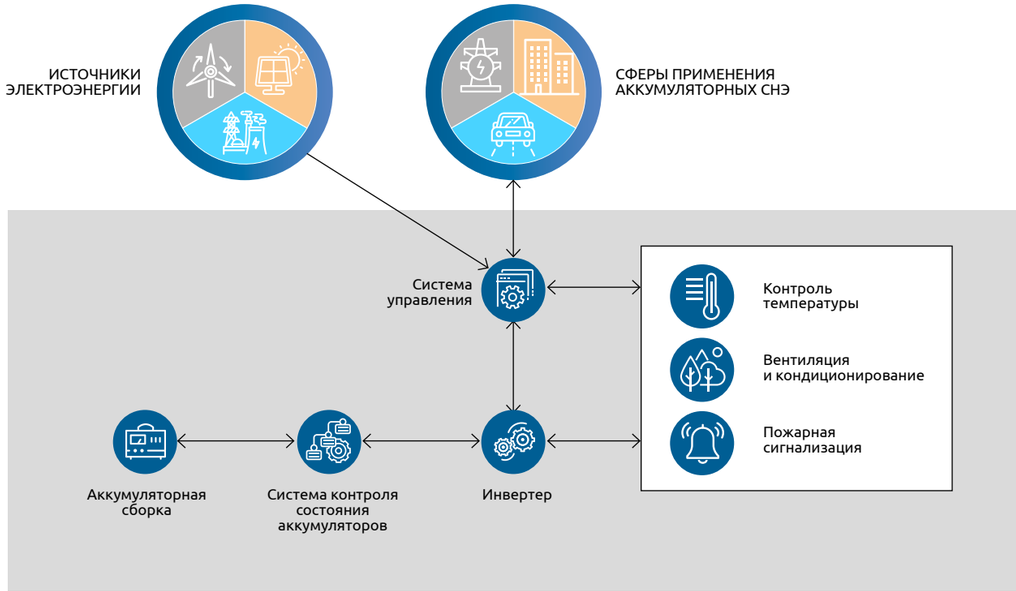


Рис. 4.6. Типовая структура аккумуляторной СНЭ [4.22]

Как правило, аккумуляторная СНЭ содержит:

- аккумуляторную сборку из отдельных аккумуляторов (ячеек);
- систему контроля состояния аккумуляторов, предназначенную для отслеживания остаточного уровня заряда, ограничения зарядного тока, защиты от возгорания и внешних воздействующих факторов;
- инвертер, предназначенный для преобразования постоянного тока в переменный и обратно в циклах зарядки и разрядки;
- систему управления всеми компонентами аккумуляторной СНЭ.

В основном в аккумуляторных СНЭ используются литий-ионные элементы. Они отличаются малым весом, низкой стоимостью и высокой энергетической ёмкостью. Ожидается, что рынок литий-ионных аккумуляторов достигнет 112 млрд долл. США к 2030 году [4.28]. С момента внедрения таких накопителей в 1991 г. к 2020 г. их стоимость снизилась на 97% (см. рис. 4.7). Более 50% снижения стоимости произошло из-за появления новых технических решений, оставшаяся часть — из-за роста эффективности и масштаба производства накопителей [4.30]. В дальнейшем рост цен на сырьё и компоненты привёл к тому, что в 2022 году произошло первое повышение цен на литий-ионные аккумуляторы — до 151 долл. США/кВт·ч (рост на 7% по сравнению с 2021 годом) [4.31]. Глобальный рост цен на аккумуляторы сдерживался внедрением литий-железо-фосфатных аккумуляторов, которые в среднем оказались на 20% дешевле, чем литий-ионные.

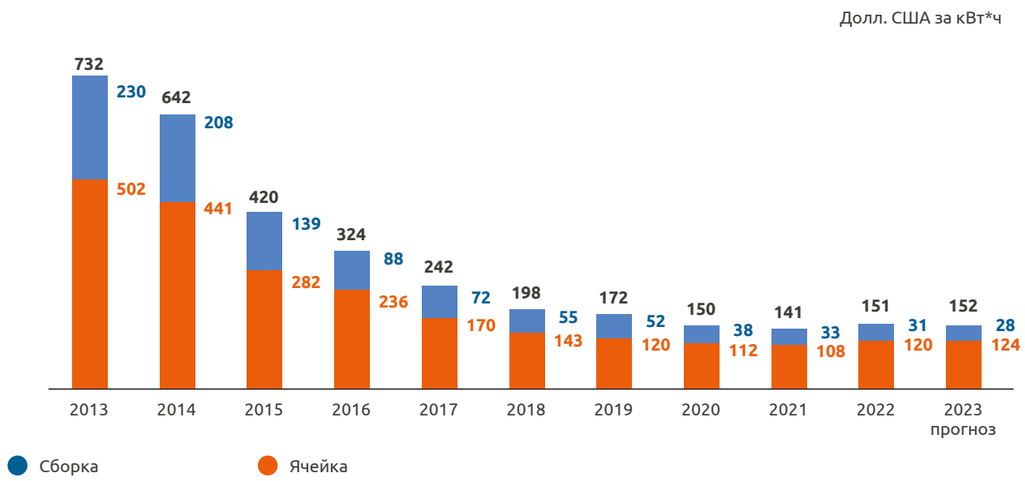


Рис. 4.7. Средняя стоимость аккумуляторных батарей [4.32]

По прогнозам Bloomberg, цены на аккумуляторы возобновят падение в 2024 году, и к 2026 году их средняя стоимость составит порядка 100 долл. США за кВт·ч. При этом снижение произойдёт на два года позже, чем ожидалось ранее, а потому эта ситуация может повлиять на долгосрочные инвестиционные проекты. Основные преимущества аккумуляторных СНЭ состоят в следующем:

- они эффективно сглаживают колебания выработки и нагрузки, особенно в энергосистемах с высокой долей ВИЭ;
- могут применяться самостоятельно для приобретения электроэнергии в непиковые часы или в качестве источника бесперебойного питания вместо дизельных генераторов;
- могут участвовать в регулировании частоты по запросу системного оператора;
- могут участвовать с сдвиге пиковых периодов (в зависимости от сезона и спроса) для выравнивания цен;
- имеют высокую плотность энергии и требуют минимального обслуживания по сравнению с другими типами СНЭ.

Основные недостатки аккумуляторных СНЭ:

- высокие капитальные затраты на установку;
- тепловая нестабильность: внутренние дефекты могут приводить к неконтролируемому выбросу тепла;
- неэффективность эксплуатации в сложных климатических условиях (например, при низких температурах).

4.3.2. Водородные СНЭ

Накопители энергии на основе водорода позволяют использовать невостребованную электроэнергию ВИЭ для синтеза водорода путем электролиза воды (так называемый «зелёный» водород). В дальнейшем химическая энергия водорода может быть преобразована в электроэнергию путем сжигания в ДВС или топливном элементе (см. рис. 4.8).

а)

б)

в)

Рис. 4.8. «Водородный» город Намиэ (префектура Фукусима, Япония):
а) солнечная электростанция, завод по производству водорода и водородные хранилища,
б) трейлеры для транспортирования водорода,
в) водородная АЗС [4.33]

Мощность водородных установок по выработке электроэнергии, как правило, составляет от 1 до 100 кВт. На сегодняшний день в основном реализованы пилотные проекты водородных СНЭ. На конец 2022 года мировой рынок хранения водорода оценивался в 15,4 млрд долл. США, ожидается, что через 10 лет его объём достигнет 27,6 млрд долл. США. Основные мощности по хранению водорода (более 35%) в настоящий момент сосредоточены в Азиатско-Тихоокеанском регионе. По прогнозам МЭА, при реализации сценария нулевых выбросов к 2050 году водородная энергетика будет покрывать до 24% потребности в электроэнергии. В Европейском Союзе поставлены цели по достижению совокупной мощности 40 ГВт от водородных установок к 2030 году [4.34].

К преимуществам водородных СНЭ относятся возможность использования синтезированного водорода в химической промышленности и на транспорте, высокая энергетическая эффективность (до 10 кВт·ч/кг), а также возможность транспортировки больших объёмов водным транспортом.

Основные проблемы водородных СНЭ следующие:

- огне- и взрывоопасность, следовательно, присутствуют высокие капитальные затраты на разработку и изготовление резервуаров, создание устройств для перегрузки и пр.;
- низкая эффективность топливных элементов для производства электроэнергии;
- строгие требования к безопасности и охране труда, в некоторых странах — законодательные ограничения на производство водорода путём электролиза.

4.3.3. Тепловые СНЭ

Тепловая энергия может аккумулироваться тремя различными способами: путём непосредственного нагрева материала, за счёт изменения фазового состояния вещества и термохимическим путём [4.35]. В первом случае параметры накопителя зависят от удельной теплоёмкости рабочего тела (жидкости, металла, камня). Тепловые СНЭ на фазовом переходе обладают гораздо более высокой эффективностью, которая определяется энтальпией фазового перехода. Принципы действия термохимических СНЭ основаны на обратимых реакциях адсорбции, десорбции или гидратации химических соединений. Термохимические СНЭ обладают наибольшей плотностью энергии и поэтому привлекают особое внимание исследователей.

В среднем коэффициент полезного действия тепловых двигателей для производства электроэнергии находится в диапазоне от 20 до 50%, поэтому при увеличении эффективности они могут составить конкуренцию другим СНЭ. Самопотери тепловых СНЭ составляют менее 1% в сутки, удельная запасаемая энергия составляет от 80 до 250 Вт·ч/кг. Капитальные затраты оцениваются в широком диапазоне от 3 до 60 долл. США за кВт·ч [4.22]. Кроме того, очевидно, что запасённое тепло может использоваться напрямую для отопления.

В 2022 году мировой рынок тепловых СНЭ оценивался в 30,6 млрд долл. США, и ожидается, что он будет увеличиваться на 7,5% в год и составит 92 млрд долл. США к 2032 году [4.36]. В Китае к 2024 году планируется построить 11 тепловых СНЭ совокупной мощностью несколько ГВт. Также в мае 2023 года израильская компания Brenmiller Energy объявила об открытии первой в мире фабрики хранения тепловой энергии. Расчётная ёмкость составляет 4 ГВт·ч, в качестве теплоносителя используется щебень, а его нагрев производится за счёт энергии ВИЭ и отработанного тепла [4.37].

К основным преимуществам тепловых СНЭ можно отнести то, что они могут быть интегрированы в производственный цикл промышленных предприятий, накапливающих отработанное или побочное тепло и расходующих его по мере необходимости на выработку электроэнергии. Кроме того, тепловые СНЭ, как правило, не требуют высоких затрат на обслуживание.

К основным недостаткам тепловых СНЭ следует отнести высокие капитальные затраты в зависимости от типа (термохимические СНЭ и СНЭ на основе фазового перехода на 30–40% дороже накопительных), а также низкую эффективность. Поэтому основными потребителями тепловых СНЭ являются такие промышленные предприятия, где не производятся оперативные циклы заряда и разряда накопителя.

4.3.4. Проточные СНЭ

Проточные накопители относятся к классу электрохимических накопителей электрической энергии. Проточный накопитель содержит два резервуара с растворами электролитов и ячейку с электродами и мембраной, через которую электролиты прокачиваются при помощи циркуляционных насосов (см. рис. 4.9). В процессе прокачки положительный и отрицательный электрод обеспечивают ионный обмен с электролитом и зарядку-разрядку накопителя в ходе окислительно-восстановительных реакций. Существуют различные типы проточных накопителей: окислительно-восстановительные (ванадий, ванадий-полигалогенид, ванадий-полисульфид, железо-хром, водород-бром) и гибридные (цинк-бром и цинк-церий) [4.35].

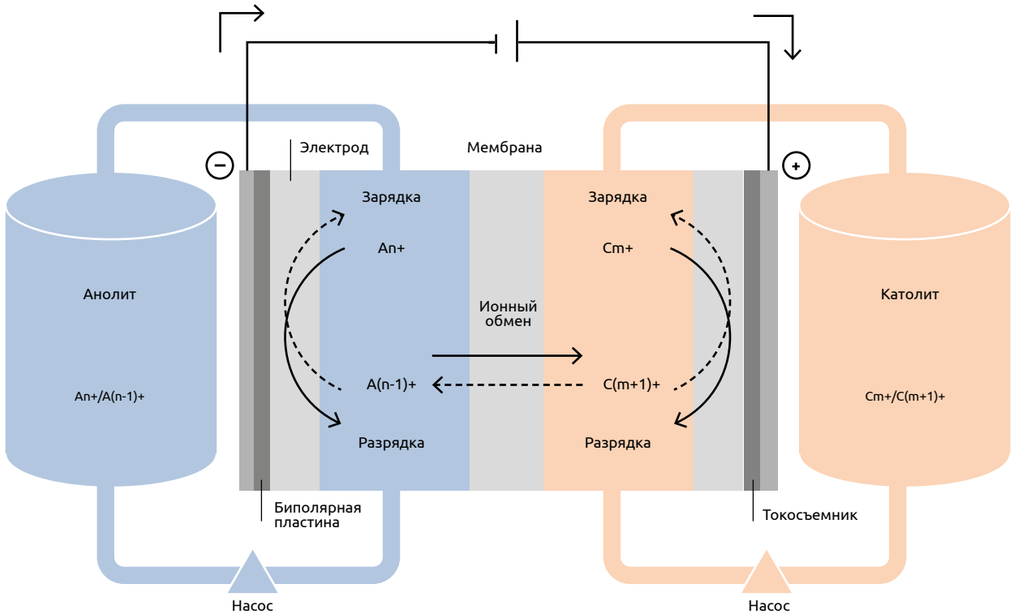


Рис. 4.9. Схема проточного накопителя энергии [4.38]

Концепция проточных накопителей появилась еще в 30-х гг. прошлого столетия, но только с начала 2000-х гг. данной технологии стали уделять больше внимания в связи с необходимостью балансирования ВИЭ. Первый проточный ванадиевый накопитель мощностью 1 кВт был разработан в 2010 г. в университете Фраунгофера (Германия).

Проточные СНЭ применяются для балансирования энергосистем при большой доле ВИЭ, в качестве автономных источников для оптимизации и повышения надежности работы АЭС, а также в качестве буфера для зарядных станций электромобилей. Проточные СНЭ, в отличие от литий-ионных, наиболее эффективны в условиях продолжительных периодов работы. Известны гибридные системы, которые позволяют достичь наилучших эффектов.

Проточные накопители обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными электрохимическими аккумуляторами:

- практически полное отсутствие саморазряда, что актуально при использовании их на стратегических объектах в качестве резервных источников питания;
- возможность независимого масштабирования ёмкости и мощности: ёмкость зависит от объёма электролита, мощность — от площади электродов в ячейке;
- огне- и взрывобезопасность;
- широкий диапазон эксплуатационных температур: от –30°C до +50°C;
- длительный срок службы (порядка 20 лет);
- независимость от дефицитного лития.

В то же время к недостаткам проточных СНЭ относятся:

- низкая удельная плотность энергии (порядка 70 Вт·ч/кг);
- большие габариты и масса;
- вероятность возникновения нелинейного характера работы при деградации ячейки [4.39];
- отсутствие технологических и эксплуатационных стандартов.

На конец 2022 года объём рынка проточных накопителей оценивался в 289 млн долл. США [4.40]. По прогнозам, к 2028 году рынок достигнет 1 млрд долл. США.

Основными игроками на данном рынке являются следующие компании.

Sumitomo Electric — изготовитель модульных ванадиевых проточных накопителей мощностью от 1 до 10 МВт. Крупнейший реализованный проект — 60 МВт·ч в г. Хоккайдо, 2018 год.

Invinity Energy Systems — производитель накопителей мощностью от 0,3 до 10 МВт. Компания реализовала 50 проектов суммарной емкостью 25 МВт·ч, обладает 73 патентами в данной области.

Largo Clean Energy — производитель ванадиевого электролита и проточных накопителей мощностью порядка 1 МВт. В 2020 году для выхода на рынок за 3,8 млн долл. США приобрела компанию VionX Energy, владевшую 12 патентами по усовершенствованию технологии проточных накопителей.

В конце 2022 года в китайском городе Далянь к сети был подключён проточный накопитель мощностью 100 МВт и емкостью 800 МВт·ч. Накопитель предназначен для балансировки работы генерации из ВИЭ в сети, обслуживающей 200 тыс. домохозяйств (см. рис. 4.10).

а)

б)

Рис. 4.10. Проточный накопитель в г. Далянь (КНР): а) общий вид здания, б) отдельные модули [4.41]

4.4. Выводы по разделу

Под виртуальной электростанцией понимается цифровое сообщество децентрализованных генераторов и потребителей [4.42]. Исходя из этого определения, виртуальная электростанция является информационной системой, в которой агрегируются сведения о доступной генерации и спросе. Она позволяет определить наиболее эффективный в данный момент источник с учётом различных факторов — от ситуации на рынке до прогноза погоды. Главное достоинство виртуальной электростанции заключается в том, что она позволяет сгладить пики недиспетчеризуемой генерации и пики потребления, перенаправив избыток электроэнергии туда, где в ней нуждаются, или сохранив некоторое её количество. Инфраструктура виртуальной электростанции включает в себя системы датчиков, устанавливаемых у производителей и потребителей энергии, а также комплекс программного обеспечения. При этом наиболее эффективными виртуальные электростанции являются при наличии в сети систем накопления энергии. За последние годы разработано большое количество типов СНЭ, находящихся на той или иной стадии готовности (см. таблицу 4.1). Выбор конкретного типа СНЭ зависит от условий применения, режимов работы оборудования, производственного цикла и многих других факторов.

Таблица 4.1. Сравнительные характеристики СНЭ [4.35]

Тип накопителя	Удельная энергия, Вт·ч/кг	Температура эксплуатации, °C	Саморазряд, % в сутки	Циклический ресурс, x10³	КПД, %
Свинцово-кислотный аккумулятор	30–50	от –20 до +40	0,1–0,3	0,5–1	80
Никель-кадмиевый аккумулятор	50–75	от –20 до +40	0,2–0,6	2–2,5	70
Литий-ионный аккумулятор	75–200	от –20 до +50	0,1–0,3	1–10	98
Натрий-серный аккумулятор	150–240	от 0 до +40	20	5	90
Проточный аккумулятор	10–70	от –30 до +50	<1	20	85
Тепловой накопитель	70	от –20 до +50	<1	10	30
Водородный накопитель	800–10000	от –20 до +40	<0,1	>1	50
Суперконденсатор	2,5–15	от –40 до +70	20–40	100	95
Сверхпроводящий магнитный накопитель	0,5–5	от 0 до +20	10–15	100	98
Маховик	10–30	от –40 до +40	100	100	95
Насосная система	0,5–1,5	выше 0	нет	13	85
Накопитель на сжатом воздухе	30–60	от –40 до +40	<1	13	90

Виртуальные электростанции и СНЭ уже стали нормой в энергосистемах с высокой долей ВИЭ. Очевидно, что их применение будет расширяться по мере децентрализации энергосистем, а также появления большого количества хаотической нагрузки, например, зарядки электромобилей. Соответственно, уже сейчас стоит задача разработки технических стандартов и нормативно-правового регулирования данных цифровых решений.

Список использованных источников

4.1. Virtual Power Plant: A Growing Energy Storage Trend in 2023. URL: https://www.greyb.com/blog/virtual-power-plant-companies/.

4.2. Global Virtual Power Plant Market Overview. Market Research Future. 2023. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/virtual-power-plant-market-5583.

4.3. Top 10 Key Companies in the Virtual Power Plant Industry. Fortune Business Insights. 2022. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/blog/top-virtual-power-plant-companies-in-the-world-10629.

4.4. ABB technology for virtual power plant in China. https://new.abb.com/news/detail/66079/abb-technology-for-virtual-power-plant-in-china.

4.5. Siemens expands virtual power plants to industry with new Sinebrychoff contract. URL: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-expands-virtual-power-plants-industry-new-sinebrychoff-contract

4.6. Solution Guide: Virtual Power Plant. AuoGrid. URL: https://www.auto-grid.com/resources/solution-guides/virtual-power-plant/.

4.7. Virtual power plants: Enel X's aggregated home storage goes into action in Italy. Energy Storage News. 2020. URL: https://www.energy-storage.news/virtual-power-plants-enel-xs-aggregated-home-storage-goes-into-action-in-italy/.

4.8. Technology for the energy turnaround. Bosch. URL: https://www.bosch.com/stories/technology-for-the-energy-turnaround/.

4.9. Hitachi ABB Power Grids to provide energy storage solution for Singapore's first virtual power plant. Hitachi Energy. URL: https://www.hitachienergy.com/news/press-releases/2021/02/hitachi-abb-power-grids-to-provide-energy-storage-solution-for-singapore-s-first-virtual-power-plant.

4.10. Leveraging EV/PHEV as Resources for Virtual Power Plants Commencement of Trial Operation of V2G Business Demonstration Facilities. Mitsubishi Motors. URL: https://www.mitsubishi-motors.com/en/newsrelease/2020/detailk806.html.

4.11. Power your community with our Virtual Power Plant. AGL. URL: https://www.agl.com.au/residential/energy/solar-and-batteries/solar-batteries/virtual-power-plant.

4.12. Next Kraftwerke VPP. URL: https://www.next-kraftwerke.com/products.

4.13. Thrive Joins Forces With Aggregator, Flexitricity, on 20 MW Battery Project in Bristol. URL: https://www.thriverenewables.co.uk/latest-news/news/thrive-joins-forces-with-aggregator-flexitricity-on-20mw-battery-project-in-bristol/.

4.14. Join the Swell Energy Home Battery Rewards Program Today. Swell Energy. URL: https://www.swellenergy.com/hi/.

4.15. Tesla Virtual Power Plant With PG&E. Tesla. URL: https://www.tesla.com/support/energy/virtual-power-plant/pge.

4.16. S. Rai-Roche. Sunrun completes 'first-of-its-kind' residential VPP season in New England ISO. PVTech. 2022. URL: https://www.pv-tech.org/sunrun-completes-first-of-its-kind-residential-vpp-season-in-new-england-iso/.

4.17. The platform that delivers flexible energy in real time. URL: https://www.limejump.com/our-technology/.

4.18. SK Telecom uses AI to create optimized virtual power plants. URL: https://k-erc.eu/sk-telecom-uses-ai-to-create-optimized-virtual-power-plants/.

4.19. Evergreen Smart Power: Trialling electric vehicle flexibility in 250 homes. URL: https://es.catapult.org.uk/case-study/evergreen-smart-power/.

4.20. Die swarmBOX. URL: https://dieenergiekoppler.com/produkte/swarmbox.

4.21. RMI Launches "Virtual Power Plant Partnership" With Support from General Motors & Google Nest. URL: https://rmi.org/press-release/rmi-launches-virtual-power-plant-partnership-with-support-from-general-motors-google-nest.

4.22. Top 5 Energy Storage Innovation Trends in 2023. GreyB. 2022. URL: https://www.greyb.com/blog/energy-storage-innovation-trends/.

4.23. Solar Action Plan for London. Greater London Authority. 2018. URL: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/solar_action_plan.pdf.

4.24. Waldholz R. City of Berlin adopts plan to reach 25 percent solar power by 2050. Clean Energy Wire. 2020. URL: https://www.cleanenergywire.org/news/city-berlin-adopts-plan-reach-25-percent-solar-power-2050.

4.25. Energy Storage Industry White Paper 2030. China Energy Storage Alliance. URL: https://static1.squarespace.com/static/55826ab6e4b0a6d2b0f53e3d/t/64a79c04263d091574985908/1688706054284/CNESA+White+Paper+2023.pdf.

4.26. US Energy Storage by the Numbers Q2 2023. S&P Global Market Intelligence. URL: https://pages.marketintelligence.spglobal.com/rs/565-BDO-100/images/q2-2023-us-energy-storage-by-the-numbers-infographic.pdf.

4.27. German Net Power Generation in First Half of 2023. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. 2023. URL: https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2023/german-net-power-generation-in-first-half-of-2023-renewable-energy-share-of-57-percent.html.

4.28. Henze V. Global Energy Storage Market to Grow 15-Fold by 2030. BloombergNEF. 2022. URL: https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-to-grow-15-fold-by-2030/.

4.29. Kou H. 2H 2023 Energy Storage Market Outlook. BloombergNEF. 2023. URL: https://about.bnef.com/blog/2h-2023-energy-storage-market-outlook/.

4.30. Study reveals plunge in lithium-ion battery costs. MIT News. 2021. URL: https://news.mit.edu/2021/lithium-ion-battery-costs-0323.

4.31. Henze V. Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of $151/kWh. BloomberNEF. 2022. URL: https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/.

4.32. Top 10 Energy Storage Trends in 2023. BloombergNEF. 2023. URL: https://about.bnef.com/blog/top-10-energy-storage-trends-in-2023/.

4.33. Юкинори Х. Водородная энергетика и её вклад в возрождение Фукусимы. Современный взгляд на Японию. 2023. URL: https://www.nippon.com/ru/japan-topics/c12202/.

4.34. Hydrogen Energy Storage Market Size – Global Industry, Share, Analysis, Trends and Forecast 2023-2032. Acumen Research and Consulting. 2023. URL: https://www.acumenresearchandconsulting.com/hydrogen-energy-storage-market.

4.35. Кравченко Е.В. Обзор современных технологий накопления энергии // Компетентность. 2023. № 1. С. 33-38. DOI: 10.24412/1993-8780-2023-1-33-38.

4.36. Thermal Energy Storage Market. Global Market Insights. 2023. URL: https://www.gminsights.com/industry-analysis/thermal-energy-storage-market.

4.37. Utilites TES Allows Flexible Operation And Reducing Emissions. Brenmiller. 2023. URL: https://bren-energy.com/utility-tes/.

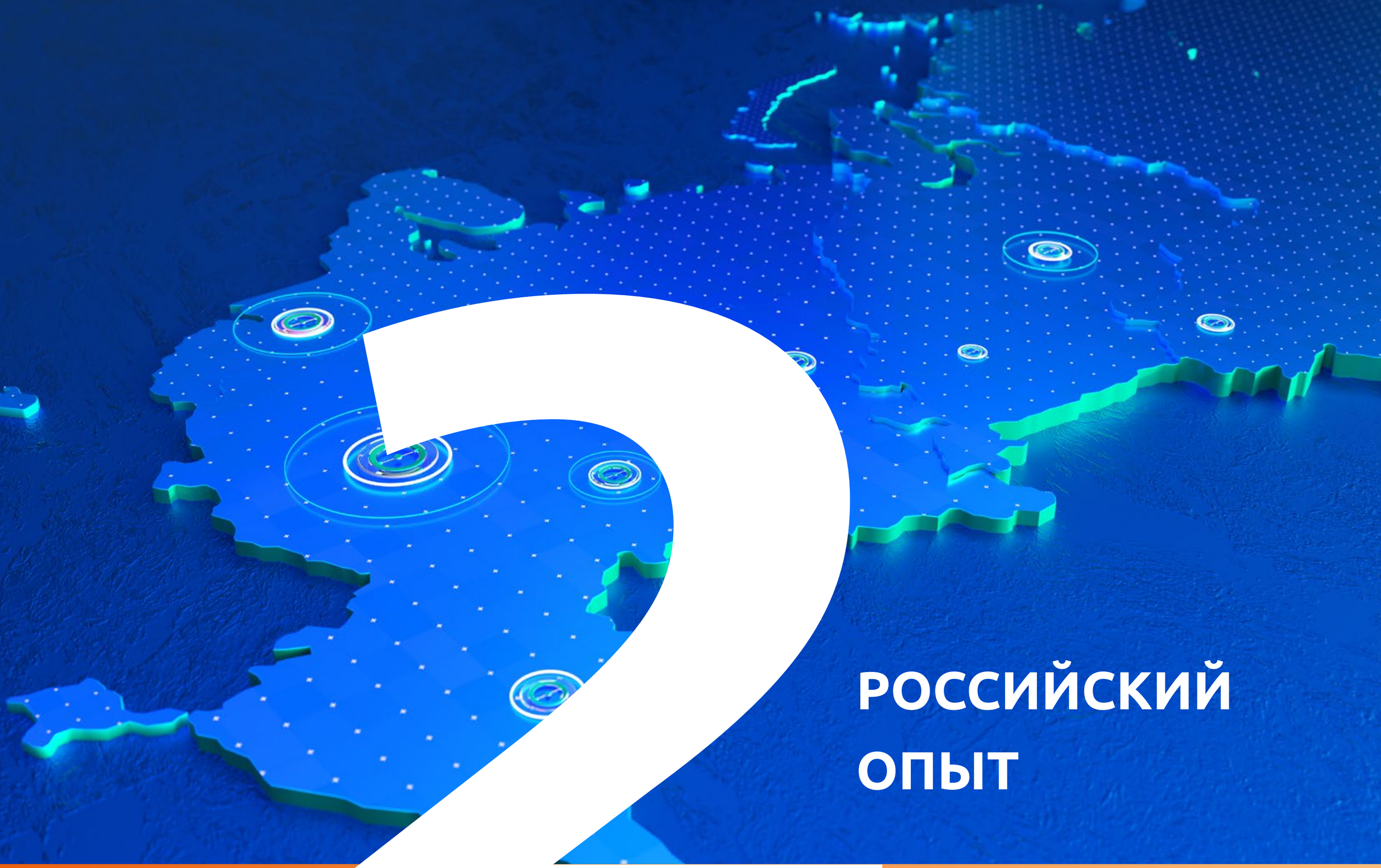
4.38. Park M. et al. Material design and engineering of next-generation flow-battery technologies. Nature Reviews Materials. 2017. P. 16080. DOI: https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.80.

4.39. Сурвилло И. Михаил Пугач, FlowBat: запасы ванадия дают России конкурентное преимущество. ТАСС. 2023. URL: https://tass.ru/interviews/17054823.

4.40. Flow Battery Market. Markets and Markets. 2023. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/flow-battery-market-82953888.html.

4.41. Мартыненко А. В Китае запустили крупнейший в мире проточный накопитель энергии. Техкульт. 2022. URL: https://www.techcult.ru/technology/11340-protochnyj-nakopitel-energii.

4.42. Виртуальные электростанции и реальные киловатты. Атомный эксперт. 2018. № 9. URL: https://atomicexpert.com/virtual_power_station.



5

РОССИЙСКИЙ ОПЫТ

5. ВВЕДЕНИЕ

В КОНЦЕ 2022 ГОДА МНОГИЕ КОМПАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ АКТУАЛИЗИРОВАЛИ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ, РАЗРАБОТАННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДИЧЕСКИМИ РЕКОМЕНДАЦИЯМИ МИНЦИФРЫ РОССИИ[9]. ЭТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАШЛИ ОТРАЖЕНИЕ В ГОДОВЫХ ОТЧЁТАХ КОМПАНИЙ, ПРОАНАЛИЗИРОВАННЫХ НАМИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРИОРИТЕТОВ БИЗНЕСА В ДАННОМ НАПРАВЛЕНИИ.

Реализуемые проекты цифровой трансофомации

Новые бизнес-модели	Цифровой сбыт	Цифровое производство	Цифровой офис	Корпоративная система трансформации
Управление спросом	Корпоративная система управления основными данными розничного бизнеса	Цифровая платформа трейдинга	Мобильное приложение «Цифровой офис»	Привлечение, отбор и пилотирование цифровых стартап-проектов
Цифровая управляющая компания	Единая биллинговая система расчётов с юридическими лицами	Цифровая платформа теплоснабжения	Налоговый мониторинг	Цифровая лаборатория
Оператор зарядных станций для электромобилей	Роботизация бизнес-процессов	Система сбора технологической информации работы станций	Тиражная система финансово-экономического управления	Развитие цифровых компетенций
Оператор сбора технологических и промышленных данных	Подключение к инфраструктуре электронного правительства	Центр диагностики и мониторинга (Центр анализа и прогнозирование)	Система управления проектами и инвестиционными программами «Инвеста»	«Экосреда» закупок
Увеличение жизненного цикла оборудования	Построение интеллектуальной системы учёта	Управление ремонтными бригадами	Управление человеческим капиталом	
Качество обслуживания клиентов	Цифровая экосистема (Клиент онлайн)		Система управления рисками внутреннего контроля	
Цифровая трансформация	Платёжная система			

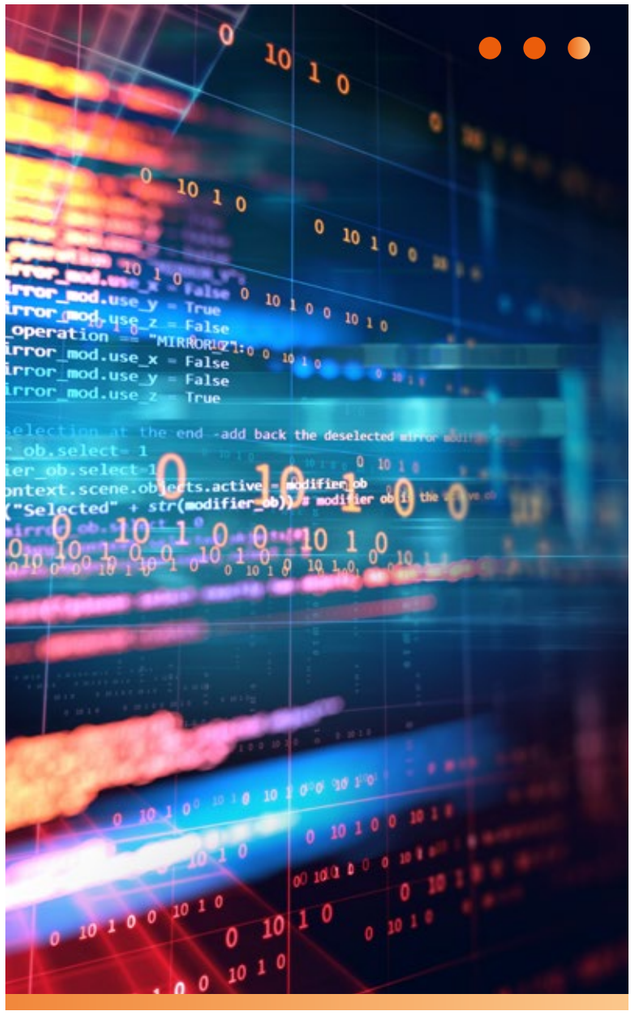
Рис. 5.1. Проекты цифровой трансформации ПАО «Интер РАО»[10]

9 https://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913_TZmtVQB.pdf

ПАО «Интер РАО» ставит целью цифровой трансформации увеличение уровня автоматизации бизнес-процессов и оптимизацию ИТ-ландшафта, технологическую поддержку процессов, реализуемых в компании, предложение новых услуг и сервисов с использованием сквозных цифровых технологий[10]. Актуализированная в конце 2022 года стратегия цифровой трансформации содержит план по переходу на преимущественное использование отечественного программного обеспечения, включённого в единый реестр российских программ. В рамках реализации стратегии ведётся оптимизация процессов в области управления производственными и сбытовыми активами, трейдинга, инжиниринга, инициирован ряд новых проектов на российских платформах (см. рис. 5.1). Отмечается, что компания владеет значительными объёмами информации, такими как существующая клиентская база и накопленные данные об истории взаимоотношений, опыте эксплуатации оборудования, отношениях с персоналом и т.д., что предоставляет возможность построения цифровых платформ и перехода на новые цифровые бизнес-модели.

Планируемые проекты цифровой трансоформации

Новые бизнес-модели
Уберизация персонала гарантирующих поставщиков и ЕИРЦ
Цифровое производство
Система мониторинга персонала
Расширенное ТОРО (техническое обслуживание и ремонт оборудования)
Корпоративная система трансформации
Платформа управления цифровыми инновациями
Автоматизация регуляторных бизнес-процессов
Общегрупповой корпоративный портал
Платформа управления данными



10 https://www.akm.ru/upload/akmrating/Inter_RAO-sustainability-report_2022.pdf

Таким образом, если говорить о цифровых решениях, то приоритетами являются создание импортозамещённых *ERP- и RPA- систем, цифровых платформ* в части сбыта, производства, корпоративной деятельности и управления данными, *системы предиктивной аналитики для планирования ремонтов и обслуживания*. Если говорить о новых бизнес-моделях, то компания реализует *решения на рынке электрозарядной инфраструктуры и ЖКХ (цифровая управляющая компания)*.

В рамках стратегии цифровой трансформации ПАО «Россети» реализуется комплекс мероприятий, направленных на реинжиниринг бизнес-процессов[11]. Ведётся разработка *цифровой модели предприятия* на базе собственной интеграционной платформы РС-20 для повышения наблюдаемости сети. Внедряется *дистанционное управление на подстанциях*. Ведётся активное развитие *инструментов класса RPA* для роботизации рутинных процессов и операций, что обеспечивает рост производительности труда. Прорабатываются решения для *сбора и обработки диагностической информации и результатов анализа технического состояния* и развития дефектов основного оборудования подстанций, *создания «облачной» инфраструктуры и стандартизации обмена данными*. Создаются и внедряются *автоматизированные системы для управления мобильными бригадами* и *выявления неучтенного потребления за счёт использования технологий больших данных*. Компанией запланированы следующие основные мероприятия:

- импортозамещение системного программного обеспечения;
- совершенствование единого контакт-центра;
- развитие мобильного приложения и единого портала электросетевых услуг;
- создание единой платформы реализации услуг и коммерческого учёта электроэнергии.

АО «Концерн Росэнергоатом» в качестве основных целей цифровой трансформации ставит повышение внутренней эффективности, надёжности и безопасности, а также развитие новых направлений бизнеса[12]. Реализуются масштабные технологические проекты:

- создание *единой платформы процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта*, инженерной поддержки станции;
- *создание автоматизированной системы управления ресурсами и производственными процессами* АЭС;
- развитие *системы управления сроками и стоимостью сооружения* для создания *единого контура цифрового обмена данными*;
- создание георасределённой и катастрофоустойчивой сети ЦОД.

В 2022 году реализован проект по импортозамещению ПО *системы обмена технологической информацией* с автоматизированной системой Системного оператора. Разработана *информационная модель в нотации CIM*. В партнерстве с АО «Русатом Инфраструктурные решения» в городах расположения АЭС реализуется отраслевой проект «Умные города Росатома» для внедрения единой цифровой платформы городских сервисов. Осуществляются крупные проекты по импортозамещению систем *автоматизированного управления технической документацией, моделирования бизнес-процессов, предиктивной аналитики, передачи технологических данных*.

В части оперативно-диспетчерского управления АО «Системный оператор ЕЭС» реализует Программу цифровой трансформации до 2024 года[13]. Приоритетной задачей программы 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.

11 https://rosseti.ru/upload/iblock/bd1/0lm3t5lkktxnpro039cdyoua56zqeii1/Otchet_Rosseti_%D0%A0%D0% A3%D0% A1%D0%A1_%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93.pdf

12 https://report.rosatom.ru/go/2022/rea_2022.pdf

13 https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/18418/

В рамках развития цифровой инфраструктуры также предусмотрена реализация семи проектов по развитию инфраструктурных систем АО «СО ЕЭС»:

- «Цифровая трансформация и *роботизация нетехнологических процессов*»;
- «Создание *платформы для работы с большими данными* (Big Data)»;
- «Внедрение автоматизированной системы проверки качества каналов телефонной связи для оперативных переговоров»;
- «Создание гиперконвергентной инфраструктуры»;
- «*Виртуализация рабочих мест*»;
- «Создание резервной коммутационной сети АО «СО ЕЭС» с диспетчерской подсистемой на базе VoIP решений отечественного производства»;
- «Внедрение *системы предиктивного обнаружения киберугроз* в разрабатываемом для АО «СО ЕЭС» программном обеспечении».

В секторе гидроэнергетики и ВИЭ представляет интерес стратегия цифровой трансформации ПАО «Русгидро». Стратегия предполагает создание единого информационного пространства для повышения технологического уровня, переход на преимущественное использование отечественного программного обеспечения, повышение точности и надёжности данных, надёжности и эффективности оборудования[14]. Объём финансирования стратегии составляет 18 млрд руб. К технологическим приоритетам относятся:

- развитие технологий *автоматизации технологических процессов* и *дистанционного управления объектами*;
- совершенствование методологии, инструментария и бизнес-процессов эксплуатации энергетических объектов;
- *развитие риск-ориентированной модели управления объектами на основе их технического состояния*.

Планируется создание *единой системы сбора данных* о состоянии физических активов для аккумулирования, хранения, обработки и анализа информации. В рамках реализации проекта по созданию *единой цифровой платформы* будут созданы сервисы для бизнес-аналитики, роботизации технологических процессов, цифрового трейдинга, интеграции BIM-систем и др.

В 2023 году Министерство энергетики России проводило работы по актуализации стратегического направления цифровой трансформации ТЭК[15]. Целью стратегического направления является достижение высокого уровня цифровой зрелости основных участников отрасли, ускоренный переход энергетического сектора на новые управленческий и технологический уровни для осуществления технологического суверенитета и обеспечения условий для развития ТЭК и долгосрочного устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации[16].

Среди ключевых задач стратегического направления:

- обеспечение консолидации отечественных организаций ТЭК с целью формирования отраслевого заказа в области «сквозных» цифровых технологий;
- проектирование целевой архитектуры домена «Энергетика», обеспечение активного использования цифровой экосистемы «ГосТех» в ТЭК;
- создание условий для:
  - *оптимизации бизнес-процессов организаций ТЭК и внедрения новых бизнес-моделей;*
  - *автоматизации процессов в рамках предоставления услуг в ТЭК (в том числе государственных);*
  - *полного исключения использования ПО иностранного происхождения*

14 https://rushydro.ru/activity/tsifrovaya-transformatsiya/

15 Утверждено Распоряжением Правительства РФ от 28.12.2021 № 3924-р. Актуализированный документ находится на согласовании.

16 https://minenergo.gov.ru/node/24873

на значимых объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ);

- внедрение подходов для оптимального *обмена данными* в пределах отрасли, в том числе *за счёт использования стандартов CIM*.

Индикатором стратегического направления выбран интегральный показатель цифровой зрелости, который будет рассчитываться на основании *уровня использования промышленных роботов* в компаниях ТЭК, доли организаций ТЭК, формирующих *индекс технического состояния в автоматическом режиме*, общего количества организаций ТЭК, а также доли руководителей и специалистов, обладающих знаниями в области цифровой трансформации.

В Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года[17] можно выделить следующие основные направления цифровой трансформации ТЭК и группы соответствующих технологических решений:

- достижение *технологической независимости* отраслей ТЭК;
- внедрение новых технологий распределённого производства электрической энергии, микрогенерации, *управляемого потребления*, виртуального агрегирования ресурсов;
- создание *информационно-технологических платформ планирования (прогнозирования) и управления энергетической инфраструктурой*;
- формирование рынка *систем хранения электрической энергии*;
- создание *механизма контроля и повышения качества обслуживания потребителей* электрической энергии;
- *переход оперативно-диспетчерского управления на 100-процентное автоматическое дистанционное управление* режимами работы объектами электрической сети 220 кВ и выше и объёмами генерации 25 МВт и выше в ЕЭС России, а также объектами электрической сети 110 кВ и выше и объектами генерации 5 МВт и выше в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах;
- *переход на риск-ориентированное управление производственными активами* в электросетевом комплексе на базе цифровых технологий;
- создание *интеллектуальных систем учёта электрической энергии*;
- создание *инжиниринговых центров и испытательных полигонов* для внедрения современных материалов, образцов нового оборудования и инновационных технологий, создание центров сертификации новой продукции.

Кроме того, в Энергетической стратегии выделяются новые технологии, которые в перспективе потребуют существенных организационных и технологических изменений в управлении и функционировании электроэнергетических систем:

- возобновляемые источники энергии и *накопители энергии*;
- гибридные автомобили и *электромобили*;
- активно-адаптивные сети;
- распределённая генерация;
- энергоэффективные технологии в секторе жилых, коммерческих и административных зданий.

Таким образом, анализ программ (стратегий) цифровой трансформации компаний электроэнергетики, Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года и стратегического направления цифровой трансформации ТЭК позволяет выделить основные технологические группы решений, которые являются приоритетными для цифровой трансформации отрасли (в том числе с точки зрения необходимости импортозамещения):

- системы предиктивной аналитики для мониторинга технического состояния производственных активов, в том числе на основе анализа больших данных и цифровых двойников;
- цифровые платформы для взаимодействия с клиентами и контрагентами;
- системы бизнес-аналитики, ERP-системы, RPA-системы, средства управления ресурсами;
- системы дистанционного управления режимами работы оборудования;
- системы сбора, хранения и обработки данных, управления нормативно-справочной и технической документацией;
- средства мониторинга и контроля параметров электрических и тепловых сетей, управления работой персонала (мобильные обходы, контроль СИЗ и проч.), в том числе с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности;
- интеллектуальные лаборатории, обучающие системы, средства моделирования;
- методы и средства обеспечения информационной и кибербезопасности.

В настоящем разделе альманаха представлены проекты компаний электроэнергетической отрасли, рассмотренные на заседаниях Экспертной группы по формированию стратегии цифровой трансформации России в 2022–2023 годах. В таблице 5.1 приведена классификация проектов по указанным выше группам.

17 https://minenergo.gov.ru/node/1026

Таблица 5.1. Российские проекты цифровой трансформации

Технологическая группа решений	Проекты в альманахе
Системы предиктивной аналитики для мониторинга технического состояния производственных активов, прогнозирования выработки и нагрузки, в том числе на основе анализа больших данных и цифровых двойников	АО «Атомэнергопромсбыт»: Коммерческо-диспетчерский центр ветроэлектрических электростанций. АО «Концерн Росэнергоатом»: предиктивная аналитика оборудования АЭС в части анализа состояния основного электротехнического и тепломеханического оборудования. ПАО «Т Плюс»: Программное обеспечение «Прогностика». ПАО «Россети Центр»: Система прогнозирования вероятности неучтённого потребления электроэнергии по точкам учёта — программный комплекс «Радар»
Цифровые платформы для взаимодействия с клиентами и контрагентами	ПАО «Россети Московский регион»: Виртуальный диалоговый офис взаимодействия с клиентами. Компания «ГлоуБайт»: Оптимизация сбора дебиторской задолженности в энергосбытовых компаниях на базе решения CM.Ocean.Умная ДЗ с применением методов машинного обучения
ERP-системы, системы бизнес-аналитики, RPA-системы, средства управления ресурсами	ООО «СИГМА»: Программно-аппаратный комплекс для управления электрозаправочными станциями. ООО «Геларм»: ПО Gelarm Infrastructure Management System (GIMS) Система контроля состояния объектов инфраструктуры
Системы дистанционного управления режимами работы оборудования	ПАО «Россети Московский регион»: Организация цифрового дистанционного управления оборудованием и устройствами РЗА электрических распределительных устройств подстанций распределительных электрических сетей. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Интеллектуальная система релейной защиты и автоматики энергосистем
Системы сбора, хранения и обработки данных, управления нормативно-справочной и технической документацией	ООО «СИГМА»: Система сбора и хранения информации с измерительных устройств и комплексов, оснащённых цифровыми интерфейсами для обмена данными (СИГМА: ССПТИ). ООО «Диджитал Спирит»: ПО Закрома Объектное Хранение. Электронный архив
Средства мониторинга и контроля параметров электрических и тепловых сетей, управления работой персонала (мобильные обходы, контроль СИЗ и проч.), в том числе с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности	ПАО «Т Плюс»: Мониторинг повреждения тепловых сетей. ООО «ИТ Плюс»: МИиМ — мобильные инспекции и мониторинг. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Система информационной поддержки оперативного персонала энергообъектов на базе применения технологий дополненной реальности ПТК «Умный вид 2.0»
Интеллектуальные лаборатории, обучающие системы, средства моделирования	АО «Россети Управление имуществом»: ИЛЦС — интеллектуальная лаборатория цифровых сетей. ПАО «Россети Урал»: Система управления дополнительным профессиональным образованием «Россети.Знания». Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: ПАК РВ «Цифровой двойник энергосистемы» и облачная платформа предоставления цифровых сервисов на его основе. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: САПР «ng.Grace» на базе применения методов искусственного интеллекта для проектирования РЗА и АСУ ТП. АО «Концерн Росэнергоатом»: Создание полнофункционального тренажёра для обучения персонала АЭС с применением технологии виртуальной реальности. АО «СО ЕЭС»: CIM в задачах планирования и перспективного развития электроэнергетических систем. АО «Россети Янтарь»: Применение технологий дополненной реальности и VR-тренажёров для обучения и повышения квалификации производственного персонала электросетевых компаний
Методы и средства обеспечения информационной и кибербезопасности	«Лаборатория Касперского»: Решения для выполнения требований регуляторов по защите объектов критической информационной инфраструктуры

6. СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ

6.1. АО «Атомэнергопромсбыт»: Коммерческо-диспетчерский центр ветроэлектрических электростанций

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	внедрение / масштабирование
Платформа:	клиент-серверное приложение с веб-интерфейсом, автоматизированный комплекс работы ВИЭ на ОРЭМ (АК ВИЭ ОРЭМ)
Применяемые СЦТ:	анализ больших данных, платформенные решения; технологии машинного обучения; промышленный интернет вещей; новые модели и инновации на оптовых и розничных рынках

Актуальность проекта. Повышение точности краткосрочного прогнозирования объектов генерации из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является важнейшим фактором, повышающим надёжность энергосистемы и позволяющим системному оператору своевременно определять требуемые объёмы резервирования активной мощности для компенсации возникающих отклонений и оптимального использования пропускной способности сети. Кроме того, величина отклонений прогнозных величин от фактической нагрузки напрямую влияет на прибыль объекта ВИЭ-генерации при продаже электроэнергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

Цели проекта:

- повышение точности прогнозирования выработки ветроэлектрических электростанций (ВЭС);
- увеличение прибыли от продажи электроэнергии ВЭС на ОРЭМ;
- увеличение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) и коэффициента технической готовности (КТГ) ВЭС за счёт прогнозирования оптимальных (безветренных) периодов проведения технического обслуживания (ТО) и ремонтов оборудования;
- обеспечение доступности и безопасности данных;
- снижение трудозатрат за счёт автоматизации процессов.

Коммерческо-диспетчерский центр ВЭС (КДЦ ВЭС) осуществляет круглосуточное прогнозирование выработки электроэнергии по группам точек поставки ВЭС на ОРЭМ. Централизация круглосуточного прогнозирования осуществлена за счёт создания комплекса технологически независимых технических решений (включая решения по онлайн-мониторингу работы ВЭС), разработки математических моделей прогнозирования скорости ветра и выработки с использованием технологий машинного обучения, внедрения средств автоматизации по подаче заявок и работы с отчётностью на ОРЭМ. Реализация проекта позволяет масштабироваться, подключая вновь вводимые ВЭС без увеличения финансовых затрат и привлечения дополнительных специалистов, при этом качество прогнозирования выработки не снижается.

Ключевым компонентом проекта является создание автоматизированного комлекса работы ВИЭ на ОРЭМ (АК ВИЭ ОРЭМ). Комплекс состоит из следующих подсистем:

- панель мониторинга текущего состояния работы ВЭС/ВЭУ (рис. 6.1.1);
- панель трендов с онлайн-анализом отклонений выработки ВЭС (рис. 6.1.2);
- блок прогнозирования выработки со встроенной системой поддержки принятия решений, основанной на моделях машинного обучения;
- управленческая панель (дашборды) с выводом основной информации о результатах работы ВЭС на ОРЭМ;
- блок формирования и подачи отчётности;
- журнал событий с возможностью фильтрации по ГТП/ВЭС и типам событий.

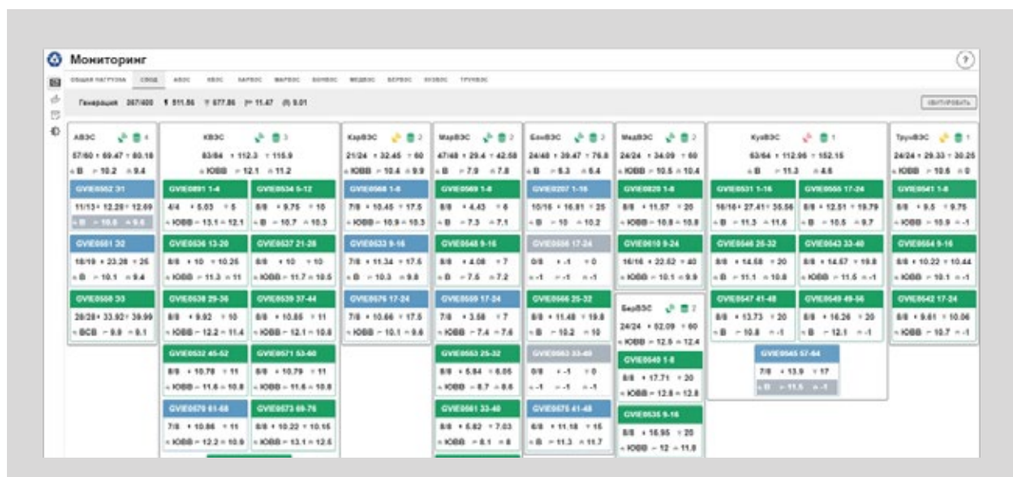


Рис. 6.1.1. Панель мониторинга текущего состояния работы ВЭС

Рис. 6.1.2. Панель трендов отклонений выработки групп точек поставки (ГТП) ВЭС

Основные эффекты от реализации проекта. Создание КДЦ ВЭС позволило существенно повысить точность краткосрочного прогнозирования выработки электроэнергии ВЭС, снизив отклонение краткосрочных прогнозов по базовой метрике MAPE (отклонение от установленной мощности) за первый год работы с 12,5% до 8%, тем самым существенно увеличив прибыль от продажи электроэнергии ВЭС на ОРЭМ (рис. 6.1.3). Помимо прогнозирования выработки, локальные модели прогноза почасовой скорости ветра с использованием созданных моделей машинного обучения показали более точные результаты в сравнении с представленными на рынке РФ поставщиками метеоданных.

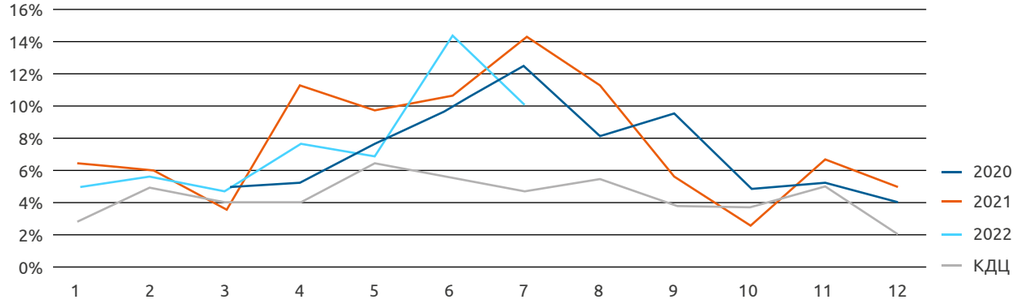


Рис. 6.1.3. Отклонения от установленной мощности ВЭС по месяцам, %

Общие эффекты заключаются в повышении точности прогнозирования выработки ВЭС, что приводит к снижению доли отклонений и уровня небалансов в энергосистеме, за счёт чего увеличивается прибыль генератора и одновременно сокращается стоимость покупки для потребителя.

Эффекты для бизнеса:

- увеличение прибыли от продажи электроэнергии ВИЭ на ОРЭМ;
- снижение упущенной прибыли из-за простоев оборудования за счёт оптимизации сроков проведения ТО и ремонтов, а также выстраивания баланса интересов между технической и коммерческой диспетчеризацией;
- цифровая трансформация: повышение уровня автоматизации бизнес-процессов и наблюдаемости работы ВЭС, рост производительности труда за счёт экономии времени на рутинные операции.

6.2. АО «Концерн Росэнергоатом»: Предиктивная аналитика оборудования АЭС в части анализа состояния основного электротехнического и тепломеханического оборудования

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	тиражирование / масштабирование
Платформа:	AVEVA Predictive Analytics (PRisM). Планируется реализация проекта импортозамещения с заменой иностранной платформы на отечественную с миграцией всех ранее достигнутых результатов
Применяемые СЦТ:	анализ больших данных, технологии машинного обучения

Система предиктивной аналитики состояния оборудования АЭС (СПА) — это автоматизированная система, предназначенная для раннего выявления отклонений, дефектов и отказов оборудования с последующим представлением аналитической информации о состоянии оборудования и выявленных дефектах персоналу АЭС, а также выдачей рекомендаций для принятия корректирующих действий по эксплуатации и техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) оборудования.

Актуальность проекта заключается в том, что нарушения и отказы в работе основного оборудования энергоблоков АЭС негативно влияют на объём выработки электроэнергии и стоимость проведения технического обслуживания и ремонта. Внедрение технологий предиктивной аналитики в существующий процесс эксплуатации (сопровождения эксплуатации) оборудования АЭС должно привести к снижению количества нарушений и отказов в его работе.

Цели проекта:

- повышение безопасности и эксплуатационной надёжности оборудования энергоблоков АЭС вследствие минимизации случаев его повреждения или отказа, приводящих к нарушениям в работе энергоблоков АЭС, за счёт обнаружения дефектов на ранней стадии их развития;
- оптимизация объёмов инженерной поддержки эксплуатации и технического обслуживания и ремонта оборудования энергоблоков АЭС в результате использования полученной информации об обнаруженных дефектах и данных о характере их развития;

› минимизация штрафных санкций за неисполнение обязательств по поставке мощности на оптовый рынок электроэнергии и мощности РФ (ОРЭМ) за счёт своевременного оповещения об изменении объёма поставки электрической энергии и мощности на ОРЭМ относительно ранее заявленных параметров.

Функциональная архитектура СПА приведена на рис. 6.2.1. СПА создаётся как единая система, имеющая характеристики (в соответствии с определениями ГОСТ 59853-2021), приведенные в таблице 6.2.1. На рис. 6.2.2 показан основной принцип предиктивного анализа, реализуемый в СПА.

Таблица 6.2.1

Характеристика	Значение
Установленные функции	Предиктивная аналитика состояния оборудования АЭС. Информационная поддержка процессов эксплуатации оборудования АЭС
Комплекс средств автоматизации	Математическое (алгоритмическое) обеспечение: совокупность математических методов и алгоритмов, применённых в СПА. Программное обеспечение: совокупность программ на носителях данных и программных документов, предназначенных для отладки, функционирования и проверки работоспособности СПА. Техническое обеспечение: совокупность всех технических средств, используемых при функционировании СПА. Информационное обеспечение: совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы и реализованных решений по объёмам, размещению и формам существования информации, применяемой в СПА при её функционировании. Методическое обеспечение: совокупность документов, описывающих технологию функционирования системы, методы выбора и применения пользователями технологических приёмов для получения конкретных результатов при функционировании СПА. Организационное обеспечение: совокупность документов, устанавливающих организационную структуру, права и обязанности пользователей и эксплуатационного персонала СПА в условиях функционирования, проверки и обеспечения работоспособности АЭС. Лингвистическое обеспечение: совокупность средств и правил для формализации естественного языка, используемых при общении пользователей и эксплуатационного персонала АЭС с комплексом средств автоматизации при функционировании СПА. Эргономическое обеспечение: совокупность реализованных решений в СПА по согласованию психологических, психофизиологических, антропометрических, физиологических характеристик и возможностей пользователей СПА с техническими характеристиками комплекса средств автоматизации АЭС и параметрами рабочей среды на рабочих местах персонала СПА
Персонал	Администратор СПА. Инженер-аналитик СПА (разработчик цифровых моделей поведения оборудования энергоблоков). Инженер-оператор СПА. Эксперт в предметной области (эксплуатация оборудования различных типов и назначения)

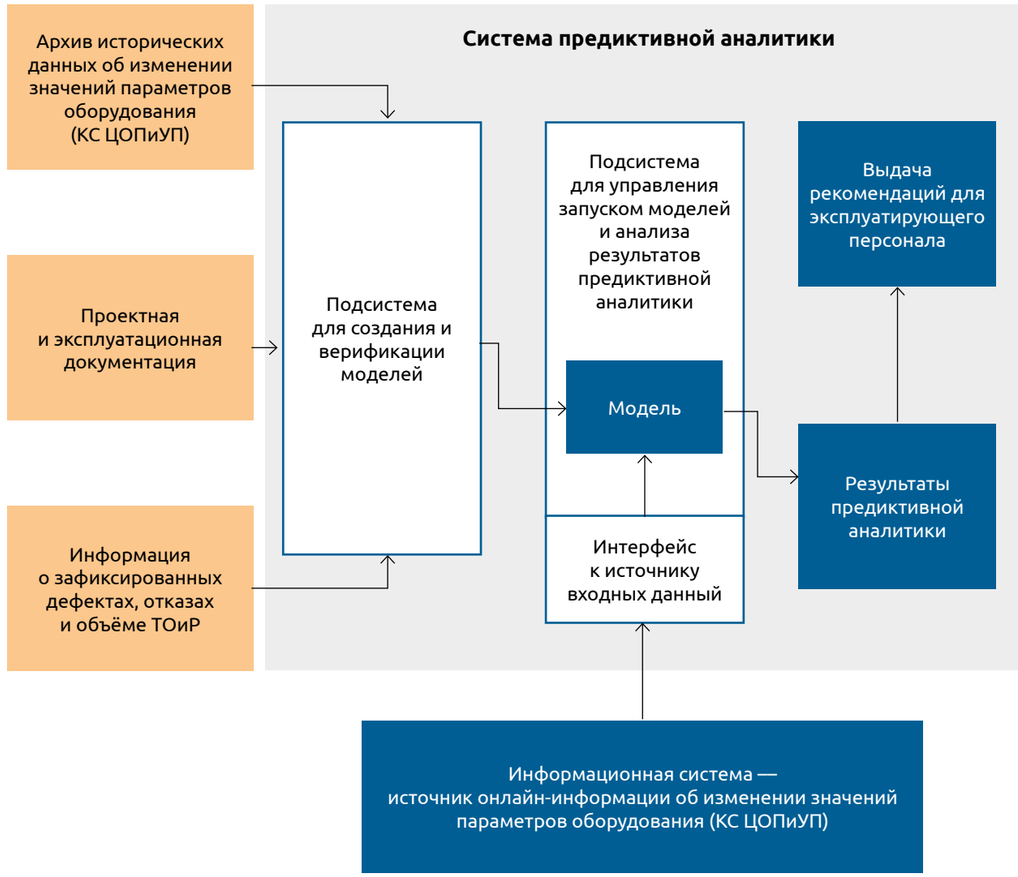


Рис. 6.2.1. Функциональная архитектура СПА

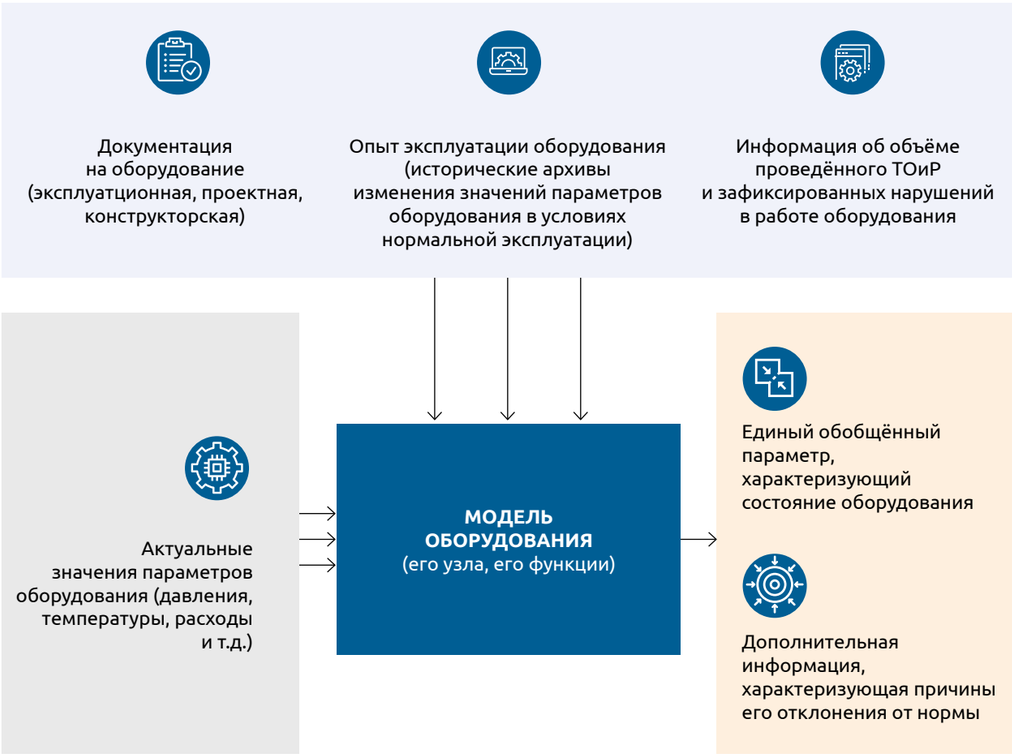


Рис. 6.2.2. Основной принцип предиктивного анализа, реализуемый в СПА

Ожидаемые эффекты от внедрения СПА:

- повышение уровня безопасности и эксплуатационной надёжности оборудования энергоблоков АЭС за счёт сокращения случаев нарушения работы и отказов основного оборудования, заблаговременного выявления отклонений в его работе;
- оптимизация объёмов инженерной поддержки эксплуатации и ТОиР оборудования энергоблоков АЭС за счёт автоматизации анализа его состояния (снижения ручных операций по контролю), снижения вероятности значительного повреждения оборудования вследствие заблаговременного выявления отклонений в его работе и превентивной реализации операций по обслуживанию, повышения качества планирования ремонтной кампании вследствие приоритизации мероприятий по ТОиР на основании аналитической информации о состоянии оборудования;
- повышение экономической эффективности эксплуатации энергоблоков АЭС путём сокращения штрафных санкций при взаимодействии с ОРЭМ за счёт заблаговременного оповещения системного оператора об изменениях в объёмах поставки электроэнергии и мощности, а также путём сокращения потерь выработки АЭС посредством исключения или сокращения длительности незапланированных простоев.

6.3. ПАО «Т Плюс»: Программное обеспечение «Прогностика»

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	тиражирование
Платформа:	ZIIOT
Применяемые СЦТ:	анализ больших данных, предиктивная аналитика, нейронные сети, технологии машинного обучения

«Прогностика» — это промышленное программное обеспечение, предназначенное для удалённого онлайн-мониторинга параметров работы оборудования и прогнозирования его технического состояния, которое основано на эталонных моделях работы оборудования в разных условиях и при различных режимах.

Актуальность проекта по созданию данной системы предиктивной аналитики обусловлена следующими причинами:

- ведущие зарубежные вендоры (General Electric, AVEVA, SIEMENS) аналогичных решений предлагают существенно большую функциональность (применение технологий искусственного интеллекта, гибридное моделирование) по сравнению с существующими отечественными продуктами;
- общеотраслевой тенденцией является создание внутрикорпоративных центров диагностики, так как собственник лучше всего понимает процессы эксплуатации оборудования;
- необходимость импортозамещения.

Основные цели проекта:

- повышение безопасности эксплуатации оборудования;
- снижение затрат на обслуживание и эксплуатационных расходов;
- исключение возможности внеплановых остановок оборудования и, как следствие, срыва производственной программы;
- сокращение числа отказов оборудования;
- снижение общего времени простоев из-за неисправностей.

В основе решения лежит технология *гибридного моделирования*, которая позволяет дополнять цифровые модели, построенные на исторических данных, результатами физико-математического моделирования, что делает прогнозы более точными и достоверными. Физико-математические модели характеризуются наборами входных и выходных параметров, а также уравнениями, описывающими процессы в блоках оборудования. То есть, в отличие от систем, в которых применяется только статистический анализ

(сравнение текущих данных от датчиков, установленных на оборудовании, с историческими данными), в системе «Прогностика» текущие данные сравниваются в том числе с данными, полученными на основе физического моделирования работы конкретных блоков. С помощью технологий машинного обучения происходит адаптация физико-математических моделей к реальным данным (обучение), что позволяет в дальнейшем осуществлять масштабирование на аналогичные единицы оборудования. Сравнение данных гибридных моделей и данных контролируемого оборудования позволяет сделать прогноз технического состояния на определённый период. Технологии машинного обучения также применяются для решения задачи выявления аномалий, то есть данных, которые отражают несвойственные нормальной работе возможные поломки или сбои в работе оборудования. Структура решения по физико-математическому моделированию показана на рис. 6.3.1.

Рис. 6.3.1. Структура решения по моделированию

В настоящий момент «Прогностика» эксплуатируется на ТЭЦ «Академическая» (Екатеринбург), где происходит сбор информации с порядка 8 тыс. датчиков, данные с которых обрабатываются 223 моделями. До конца 2023 года планируется подключение еще десяти ТЭЦ. Всего в системе настроено более 2,5 тыс. моделей (готовые библиотеки).

Основные эффекты от внедрения ПО «Прогностика»:

- снижение количества и длительности аварийных ремонтов;
- снижение количества штрафов на ОРЭМ;
- улучшение качества ведения режимов оборудования;
- повышение качества подготовки к плановым ремонтам;
- возможность оценки состояния оборудования до и после ремонта;
- исключение аварийных ситуаций со сроком развития дефекта до 7 дней.

6.4. ПАО «Россети Центр»: Система прогнозирования вероятности неучтённого потребления электроэнергии по точкам учёта — программный комплекс «Радар»

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	промышленная эксплуатация
Платформа:	собственная разработка
Применяемые СЦТ:	технологии анализа больших данных и машинного обучения, предиктивная аналитика

«Радар» — программный комплекс, предназначенный для прогнозирования вероятности выявления неучтённого потребления по каждой точке учёта электросетевой организации, который позволяет произвести оптимизацию процесса планирования и проведения инструментальных проверок узлов учёта, выделяя наиболее приоритетные точки учёта электроэнергии с точки зрения выявления неучтённого потребления.

Актуальность проекта обусловлена следующими факторами:

- присутствие фактов умышленного хищения электроэнергии;
- занижение расходов при оплате электроэнергии потребителями или энергосбытовыми организациями;
- невозможность проведения сплошных проверок приборов учёта ввиду ограниченного ресурса сетевой организации;
- потребность в независимом и непредвзятом анализе данных при поиске фактов неучтённого потребления (исключение человеческого фактора);
- увеличение потоков входных данных, обусловленное развитием цифровых систем учёта электроэнергии, увеличение трудоёмкости анализа данных;
- дефицит персонала категории «аналитик» в районах электрических сетей.

Основой эффективной организации работы по снижению потерь электроэнергии является анализ данных, связанных с поведением и характеристиками точек учёта электроэнергии. На момент реализации проекта ПАО «Россети Центр» накопило достаточно большой объём исторических данных, который позволил сопоставить «поведение» точки учёта электроэнергии с фактами выявления неучтённого потребления (безучётное потребление, занижение передаваемых показаний приборов и т.д.). Для анализа этих данных ПАО «Россети Центр» совместно с ООО «ВК» был разработан инновационный программный комплекс «Радар».

Целью проекта является повышение эффективности бизнес-процессов компании, связанных с поиском, выявлением и устранением очагов нетехнических потерь электроэнергии.

Алгоритмы, заложенные в основу ПК «Радар», позволяют выявлять зависимости между различными параметрами и фактами выявления безучётного потребления и на основании выстроенных машиной логических цепочек ранжировать все точки учёта по уровню вероятности выявления безучётного потребления. Пример логических цепочек в ПК «Радар» приведен на рис. 6.4.1.

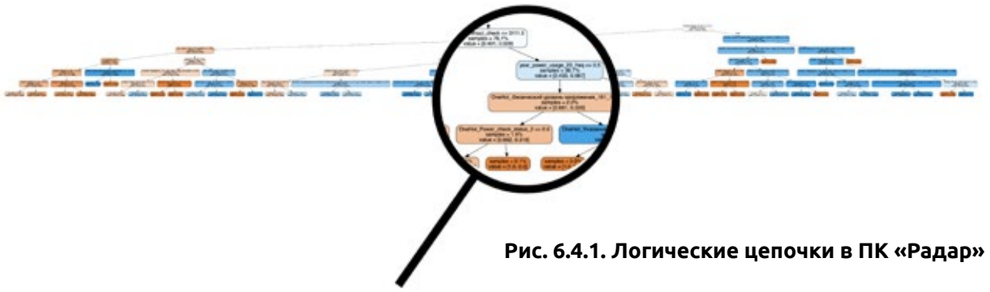


Рис. 6.4.1. Логические цепочки в ПК «Радар»

При работе ПК «Радар» анализирует несколько десятков признаков, которые укрупнённо можно разделить на следующие группы:

- признаки на основе характеристик приборов учёта;
- признаки на основе ряда потребления (включая получасовые данные о потреблении);
- признаки на основе информации о потребителе и точке учёта;
- признаки на основе действий персонала сетевой организации;
- признаки на основе информации из внешних источников данных.

Информация для проведения ранжирования точек поступает из корпоративной системы транспорта электроэнергии (в случае ПАО «Россети Центр» это SAP IS-U) и системы опроса приборов учёта (ИВК «Пирамида сети»), при этом ПК «Радар» с минимальными трудозатратами может быть развёрнут на любых корпоративных системах посредством API интерфейса.

ПК «Радар» представляет собой набор математических моделей предиктивной аналитики для обработки данных, базу данных и интерфейс, позволяющий выполнять мониторинг загрузки исходных данных, расчёты и аналитику результатов. Интерфейс ПК «Радар» показан на рис. 6.4.2.

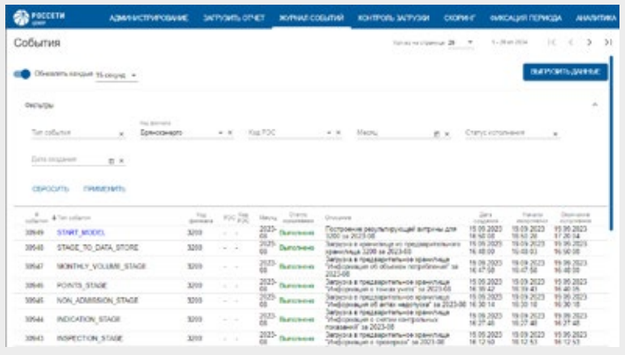


Рис. 6.4.2. Интерфейс ПК «Радар»

Результатом работы ПК «Радар» является оценка вероятности выявления объема неучтённого потребления электроэнергии (скорбалл) и оценка потенциального объема неучтённого потребления для каждой точки учёта. Для упрощения взаимодействия пользователя с системой ПК «Радар» разделяет все точки на три группы вероятности выявления неучтённого потребления (низкая, средняя, высокая). Точки учёта с высокой вероятностью в приоритетном порядке включаются в план проверок.

В филиалах ПАО «Россети Центр» реализована интеграция с ПАК «Мобильный контролёр», позволяющим планировать и контролировать все виды работ, связанных с эксплуатацией систем учёта, по различным критериям, в том числе используя информацию о вероятности безучётного потребления из ПК «Радар» (см. рис. 6.4.3).

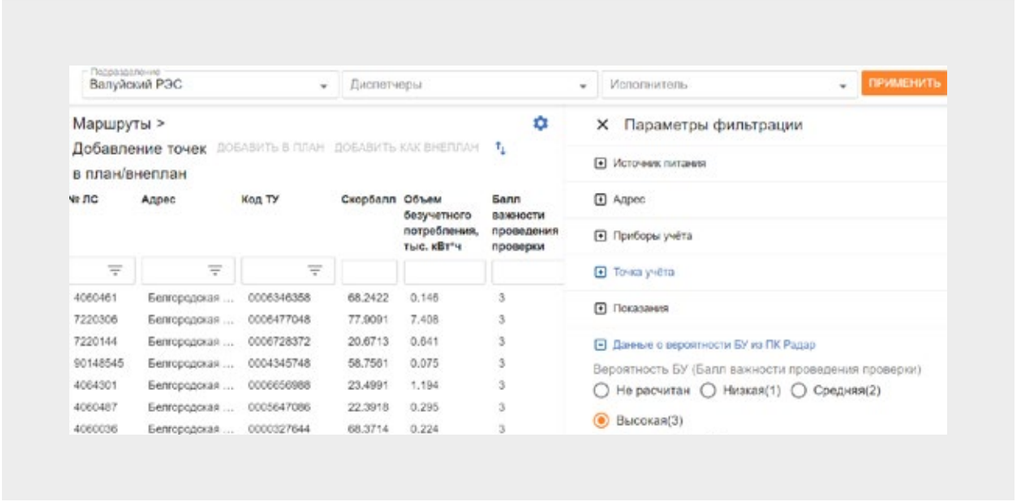


Рис. 6.4.3. Интеграция ПАК «Мобильный контролер» с ПК «Радар»

Математическая модель ПК «Радар» обучена на данных из 11 регионов РФ (более 3,2 млн точек учёта) в ретроспективе 2016–2022 гг. Дальнейшее накопление статистики проведения проверок точек учёта позволяет систематически повышать точность путём дообучения математической модели, за счёт чего повышается и эффективность использования ПК «Радар».

ПК «Радар» зарегистрирован в Едином реестре российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минцифры России.

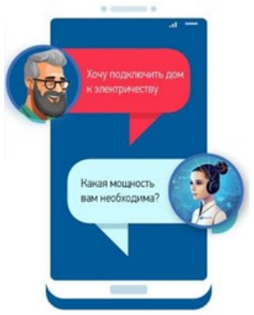
Ожидаемые эффекты от внедрения ПК «Радар»:

- повышение эффективности аналитической работы по поиску очагов потерь электроэнергии, возможность проведения анализа всех точек и по всем параметрам с минимальной трудоёмкостью;
- исключение человеческого фактора (предвзятого отношения персонала);
- повышение эффективности проведения инструментальных проверок узлов учёта электроэнергии: исключение трудозатрат на проверку точек с низкой вероятностью выявления неучтенного потребления.

Применение ПК «Радар» в ПАО «Россети Центр» позволило повысить эффективность проверок бытовых потребителей в 3,5 раза, а юридических лиц — в 7 раз.

7. ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ И КОНТРАГЕНТАМ

7.1. ПАО «Россети Московский регион»: Виртуальный диалоговый офис взаимодействия с клиентами



Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	промышленная эксплуатация
Платформа:	платформа виртуализации, системы машинного обучения и анализа данных
Применяемые СЦТ:	анализ больших данных, искусственный интеллект, предиктивная аналитика

Виртуальный диалоговый офис взаимодействия с клиентами — это нейросетевой программный комплекс, предназначенный для автоматизации взаимодействия с клиентами посредством обработки запросов с использованием технологий искусственного интеллекта.

Актуальность проекта заключается в необходимости оптимизации бизнес-процессов за счет автоматизации процесса обработки запросов клиентов.

Основные цели проекта:

- упрощение для клиента процесса взаимодействия с компанией;
- увеличение объёма и скорости предоставления информации с сокращением участия сотрудников Единого контактного центра;
- повышение качества обслуживания клиентов;
- повышение лояльности клиентов;
- предложение клиентам новых возможностей.

Виртуальный диалоговый офис основан на технологиях машинного обучения. Задача нейронных сетей состоит в классификации запросов клиента и выделении значимых частей в вопросах и ответах. Реализованы нейросетевые классификаторы текстовых сообщений, собственный сервис распознавания устной речи и собственный сервис синтеза речи. Система работает в формате текстового чата на веб-ресурсах ПАО «Россети Московский регион» (портал технологического присоединения, личный кабинет клиента), в мобильном приложении и в качестве виртуального помощника Единого контактного центра.

Архитектура платформы показана на рис. 7.1.1. Виртуальный диалоговый офис включает несколько функциональных модулей, предназначенных для формирования ответов на следующие запросы клиентов:

- общая информация о компании;
- информация о подаче заявки на технологическое присоединение;
- информация о подаче заявки на замену или поверку прибора учёта;
- информация об отключениях и сроках восстановления электроснабжения, качества поставляемой электроэнергии;
- калькулятор мощности;
- калькулятор стоимости;
- информация об услугах энергоснабжения;
- информация о ходе исполнения заявок на услуги;
- обращения.

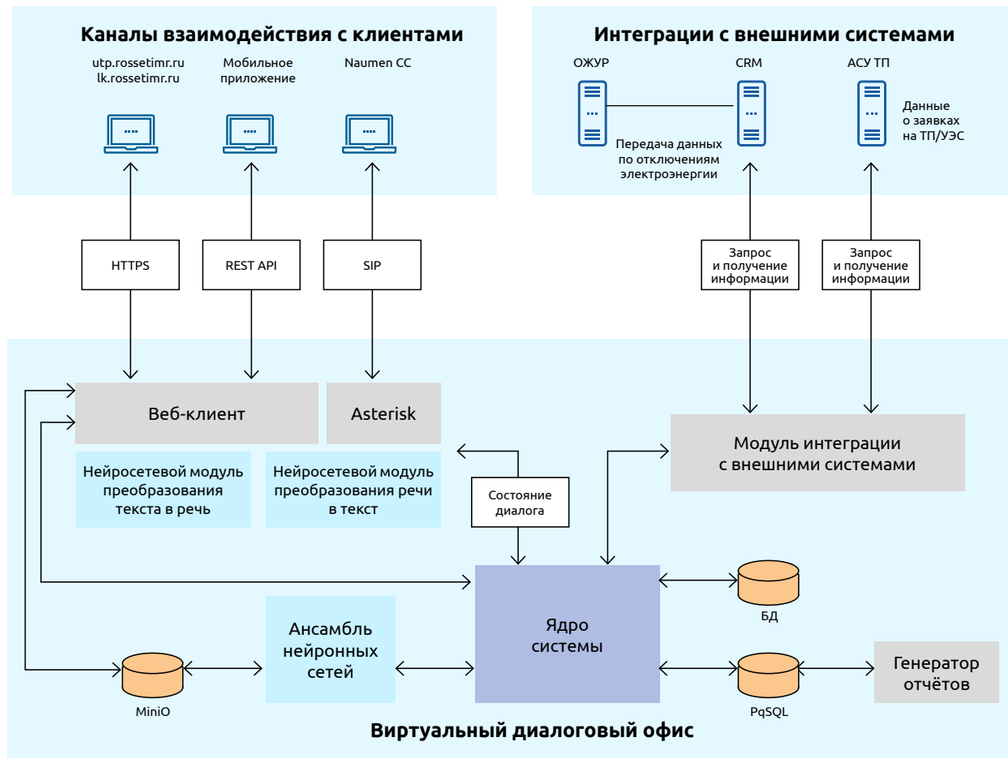


Рис. 7.1.1. Архитектура платформы

Основные эффекты от внедрения виртуального диалогового офиса взаимодействия с клиентами:

для бизнеса:

- увеличение объёма и скорости предоставления информации с сокращением участия сотрудников Единого контактного центра;
- сокращение времени на подготовку ответа клиенту по запросам справочной информации, направленным через чат-бот, уменьшение количества жалоб на качество и сроки подготовки информации;
- повышение лояльности клиентов;

для клиентов:

- упрощение взаимодействия потребителя с компанией;
- сокращение времени ожидания ответа и повышение качества предоставляемой информации;
- новые возможности в рамках виртуального диалогового офиса.

7.2. Компания «ГлоуБайт»: Оптимизация сбора дебиторской задолженности в энергосбытовых компаниях на базе решения CM.Ocean. Умная ДЗ с применением методов машинного обучения

Тип проекта:	инфраструктурный / организационный
Стадия зрелости:	внедрение
Платформа:	CM.Ocean, Kolmogorov.ai
Применяемые СЦТ:	технологии машинного обучения

CM.Ocean.Умная ДЗ — это решение на базе российской платформы CM.Ocean, предназначенное для автоматизации и оптимизации процессов коммуникации с клиентами при сборе дебиторской задолженности (ДЗ). Оно включает в себя функционал для сегментации клиентской базы, создания и отправки целевых коммуникаций, подбора оптимальных каналов и скриптов для коммуникации, сбора обратной связи по итогам коммуникации. Опционально для более эффективного использования технологий машинного обучения возможно применение MLOps платформы Kolmogorov.

Актуальность проекта внедрения решения класса Умная ДЗ заключается в использовании целевых коммуникаций и технологий машинного обучения для достижения финансовых целей сбытовой организации в сложных условиях, специфичных для энергосбытовой отрасли:

- низкая рентабельность при значительном обороте;
- ограничения по возможностям управления тарифами;
- ограничения по возможностям управления клиентской базой;
- длительный «срок жизни» клиента;
- разрозненные каналы коммуникации с клиентами;
- отсутствие механизмов сбора и консолидации обратной связи по коммуникациям;
- ограниченный набор данных о клиентах или отсутствие данных о потребителях услуг.

Цели проекта:

- изменение потребительского поведения пользователей услуг ЖКХ в части возникновения и погашения задолженности;
- снижение сроков оборачиваемости дебиторской задолженности;
- подбор оптимальной стратегии коммуникации с клиентом для предотвращения возникновения задолженности и минимизации рисков её ухудшения;

- ускорение, упрощение и повышение прозрачности процессов сбора дебиторской задолженности;
- сокращение издержек на коммуникации и предотвращение «выгорания» нецелевых и неоптимальных каналов коммуникации с клиентами.

На рис. 7.2.1 показаны следующие **основные компоненты** платформы CM.Ocean:

- аналитический модуль для разработки прогнозных моделей на базе платформы Kolmogorov.AI или опенсорс-технологий;
- модуль для автоматизации и оптимизации целевых коммуникаций с клиентами в пакетном режиме или в реальном времени;
- модуль отчётности;
- модуль интеграции с источниками данных и каналами коммуникации.

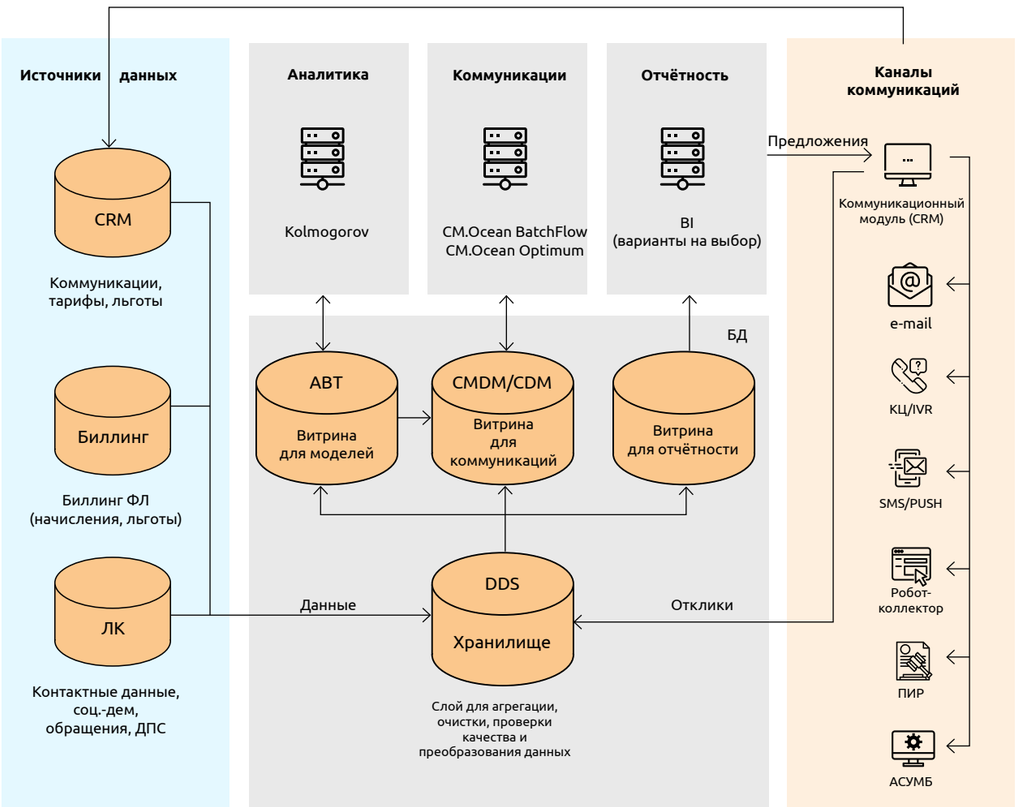


Рис. 7.2.1. Архитектура платформы CM.Ocean.Умная ДЗ

Особенности решения:

- прозрачность процесса сбора ДЗ на уровне всей организации: единая система управления сбором ДЗ для всех сегментов клиентов и по всем каналам коммуникации;
- комплексность: включает и аналитику, и систему автоматизации и оптимизации целевых коммуникаций;
- широкое применение технологий машинного обучения моделей в процессе формирования сегментов клиентов и подбора оптимальных стратегий коммуникации;
- сбор и накопление обратной связи по результатам каждой коммуникации для улучшения понимания поведения клиентов, подбора оптимальной стратегии коммуникации и её последующих шагов;
- возможность проведения A/B-тестов и быстрой проверки гипотез относительно поведения клиентов, реакции на те или иные виды коммуникации. Снижение сроков ввода в эксплуатацию новых стратегий коммуникации с клиентами или изменения стратегий коммуникации;
- снижение зависимости подразделения, отвечающего за сбор ДЗ, от ИТ в части подготовки данных, разработки и внедрения стратегий коммуникации;
- технологический суверенитет: решение на импортонезависимых технологиях, включённых в реестр российского ПО;
- интеграция с другими системами сбытовой компании: Биллинг, CRM, Личный кабинет, системы юридической поддержки, системы автоматизации работы электриков и т.п.;
- сбор и хранение всей нужной информации о клиентах и их потребительском поведении: построение в ходе проекта необходимых витрин данных (при необходимости хранилища данных), очистка и обогащение данных.

Ожидаемые эффекты от внедрения решения CM Ocean.Умная ДЗ по различным показателям приведены в таблице 7.2.1.

Таблица 7.2.1

Ожидаемый эффект	Способы достижения
Снижение стоимости сбора ДЗ	Выбор наиболее эффективных каналов коммуникации, то есть наиболее дешёвых при сходном уровне влияния на решение клиента об оплате. Выявление и предотвращение перехода клиентов в сегмент должников, для которых требуются более дорогостоящие мероприятия по возврату задолженности. Упрощение и ускорение проверки гипотез об эффективности стратегий коммуникации, возможность быстрого проведения A/B-тестирования стратегий и запуска в эксплуатацию наиболее эффективных из них
Ускорение оборачиваемости ДЗ	Применение моделей машинного обучения для ранжирования клиентов по вероятности выплаты задолженности, прогнозирования вероятности погашения задолженности в заданный срок, выявления необходимости коммуникации с должниками, склонными нарушать обещания
Снижение общего объёма ДЗ	Применение моделей машинного обучения для прогнозирования вероятности появления просроченной задолженности у клиента. Осуществление целевых коммуникаций с такими клиентами (необходимость оплаты в срок или предоплаты). Подбор оптимальных каналов коммуникации для снижения вероятности возникновения задолженности

8. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ

8.1. ООО «Геларм»: ПО Gelarm Infrastructure Management System (GIMS) Система контроля состояния объектов инфраструктуры

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	внедрение / тиражирование / масштабирование
Платформа:	ПО Gelarm Infrastructure Management System (GIMS)
Применяемые СЦТ:	технологии анализа больших данных, промышленный интернет вещей

GIMS — это программный продукт для централизованного мониторинга состояния объектов инфраструктуры, включая ИТ, технологическое, инженерное и вспомогательное оборудование, подключённое к сетям передачи данных. ПО GIMS включено в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных[18].

Актуальность проекта заключается в необходимости сокращения времени простоя критических объектов инфраструктуры при помощи унифицированного решения российского производства.

Цели проекта:

- повышение доступности объектов инфраструктуры и эффективности работы диспетчерских служб и эксплуатации;
- сокращение влияния нештатных ситуаций на производственные процессы;
- оптимизация затрат при импортозамещении и развитии инструментов контроля и мониторинга;
- повышение уровня цифровой трансформации отрасли.
- ПО GIMS состоит из трех компонентов (Automation, Monitoring и Inventory), решающих следующие задачи:

18 https://reestr.digital.gov.ru/reestr/310143/?sphrase_id=3359768

- контроль состояния: сбор и обработка потоков событий и метрик производительности, визуализация и оценка состояния;
- инвентарный учёт объектов инфраструктуры: аппаратное и программное обеспечение, сервисы и смежные ресурсы.

Архитектура ПО GIMS показана на рис. 8.1.1. Компонент GIMS Automation обеспечивает подключение источников данных и автоматизацию сценариев их обработки. Компонент GIMS Monitoring реализует обработку событийной информации и её графическое представление. Компонент GIMS Inventory является конфигурационной базой для учёта объектов мониторинга и обработки аварийных событий. Интерфейс компонентов приведен на рис. 8.1.2. Основные функциональные возможности и характеристики ПО GIMS приведены в таблице 8.1.1.

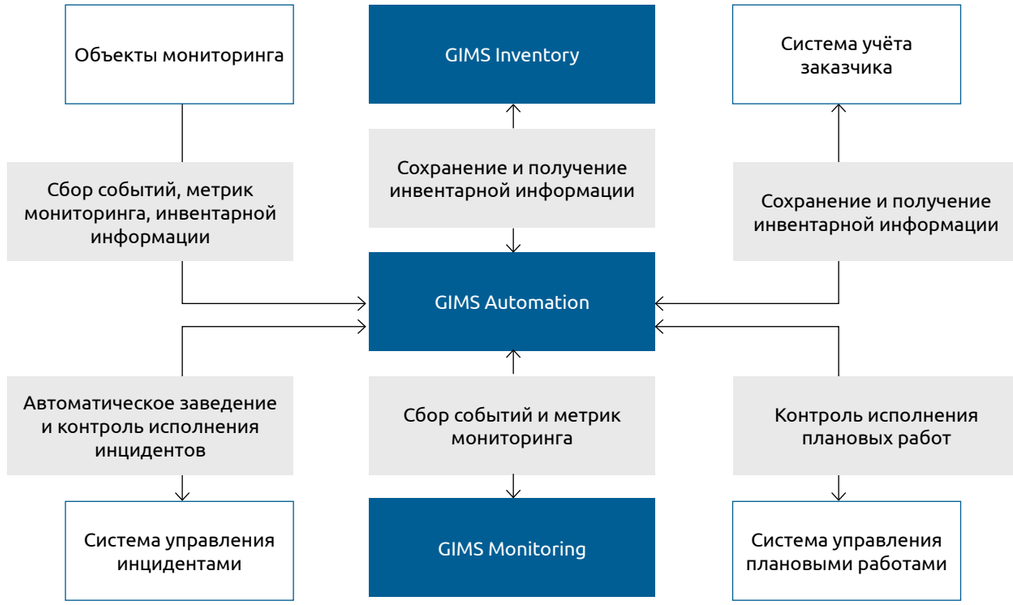
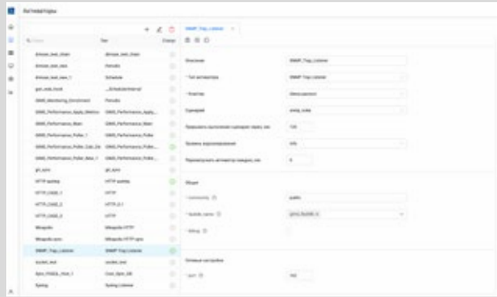
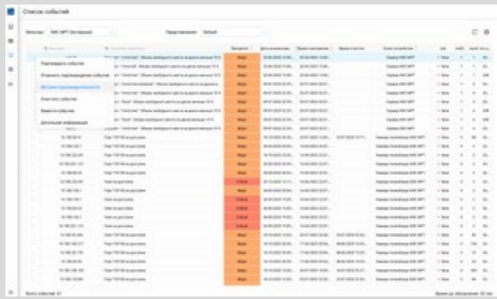


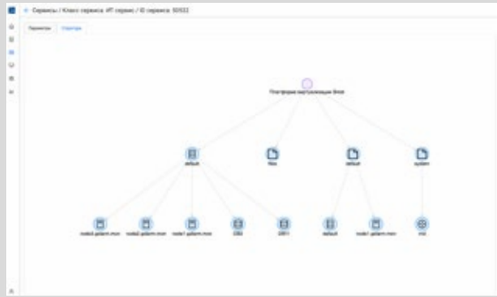
Рис. 8.1.1. Архитектура решения ПО GIMS



а)



б)



в)

Рис. 8.1.2. Интерфейс компонентов ПО GIMS: а) GIMS Automation, б) GIMS Monitoring, в) GIMS Inventory

Таблица 8.1.1. Функциональные возможности ПО GIMS

Функциональная возможность или характеристика	Основные свойства
Подключение объектов мониторинга	Поддерживаемые типы источников данных: › протоколы SNMP, REST, SOAP, SSH, Telnet, DBlink, JSON, JDBC, File (CSV, Excel); › серверное оборудование Yadro, IBM, Huawei, HPE; › сетевое оборудование Cisco, Mikrotik, Huawei, Dlink; › системы хранения данных Yadro, IBM, EMC, HPE; › операционные системы Астра, РЕД ОС, RHEL, SUSE, Ubuntu, Windows; › виртуализация VMware, KVM, Astra Brest; › СУБД PostgreSQL, Oracle, MS SQL, MySQL, DB2, Vertica, Hive; › прикладное ПО Astra Termidesk, Rabbit MQ, Kafka;
	› системы пожарной безопасности Болид, Рубеж, Гранит; › государственные сервисы СМЭВ 2/3; › системы мониторинга Zabbix, IBM Omnibus; › системы управления инцидентами Atlassian Jira, OSTicket, IBM Maximo; › системы оповещения Email, Telegram.
Автоматизация операций взаимодействия с источниками данных	Расширение типов источников данных: › добавление новых типов источников данных (включая их свойства и методы взаимодействия) по GUI-интерфейсу; › импорт и экспорт типов источников данных по JSON
	Базовые типы операций: › обнаружение; › сбор событий, метрик, инвентарных данных; › парсинг файлов; › отправка и получение сообщений. Добавление новых типов операций по GUI-интерфейсу
Автоматизация задач мониторинга	Шаблоны метрик мониторинга. Настраиваемые политики мониторинга. Настраиваемые функции выражений для генерации аварийных событий. Базовые сценарии: › дедупликация; › обогащение; › генерация аварийных событий; › заведение инцидента и управление статусом; › оповещение
Интерфейсы визуализации	Табличное представление списка аварий с управляющими функциями. Графическое отображение метрик производительности. Топологическое отображение структуры и статуса сервисов. Настраиваемые мнемосхемы со статусами заданных объектов. Отчётные формы заданного формата
Инвентарный учёт	Импорт и экспорт элементов. Поддерживаемые классы сущностей: объект, связь, сервис, справочник. Топологическое представление. Встроенный конфигуратор инвентарной базы
Подготовка отчётов	Поддерживаемые типы отчётов: статус оборудования, события мониторинга
Масштабируемость	Кластеризация вычислительных ресурсов. Размер кластера не более 64 серверов. Горизонтальное масштабирование любого компонента. Поддержка распределённой архитектуры

Функциональная возможность или характеристика	Основные свойства
Производительность	Балансировка нагрузки. Количество событий в секунду — более 200 тыс. Количество метрик в секунду — более 100 тыс.
Отказоустойчивость	Обеспечивается встроенными механизмами продукта
Безопасность	Встроенные средства логирования. Ролевая модель доступа

В ПО GIMS используются следующие технологии для реализации компонентов системы: Celery, RabbitMQ, Nginx. Gunicorn, Django, React, СУБД PostgreSQL. Программная реализация бизнес-логики — Python.

8.2. ООО «СИГМА»: Программно-аппаратный комплекс для управления электрозаправочными станциями

Тип проекта:	инфраструктурный
Стадия зрелости:	пилотирование
Платформа:	СИГМА: ЭЗС, .NET
Применяемые СЦТ:	технологии анализа больших данных и машинного обучения

СИГМА: ЭЗС — решение для управления электрозаправочными станциями (ЭЗС), направленное на предоставление широкого спектра услуг и развитие сферы электромобильного транспорта в России.

Актуальность проекта. Согласно Концепции развития электромобильного транспорта до 2030 года[19], уже в 2024 году по российским дорогам должны ездить 25 тыс. электромобилей, а 9,4 тыс. Зарядных станций по всей стране должны быть готовы их «подкормить». При этом данные Ассоциации развития электромобильного, беспилотного и подключённого транспорта и инфраструктуры говорят, что в России установлено лишь около 1,5 тыс. Зарядок для электрокаров, и большинство из них сконцентрировано в Московском регионе. Даже если начать стремительно открывать новые зарядные станции, это не решит проблемы пользователей (водителей). Чтобы сегодня зарядить электромобиль, нужно скачать несколько приложений (у каждого оператора своё программное обеспечение), сопоставить карты зарядных станций каждого игрока рынка со своим маршрутом и надеяться, что временной слот на ближайшей станции будет свободен. Именно с такими сложностями сталкиваются водители электромобилей. А если у электромобильного транспорта нет инфраструктуры, потребители его не выберут.

Проблему отсутствия единого подхода к развитию инновационного вида транспорта СИГМА стремится решить собственным новым продуктом СИГМА: ЭЗС.

Цели проекта:

- повышение качества и доступности предоставляемых услуг для клиентов;
- уменьшение времени недоступности сервисов и простоя оборудования;
- уведомление персонала об аварийной ситуации в работе оборудования или ухудшении качества предоставляемых услуг;
- повышение качества эксплуатации оборудования ЭЗС;
- обеспечение сбора и хранение технической информации об ЭЗС;
- повышение удобства пользователей при взаимодействии с системой и выполнении типовых сценариев работы.

19 Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 23.08.2021 г. № 2290-р.

Для достижения указанных целей в рамках реализации проекта решаются следующие задачи:

- разработка технологического портала для операторов ЭЗС;
- разработка информационного сайта для владельцев электротранспорта;
- разработка мобильного приложения для клиентов (iOS, Android);
- интеграция с оборудованием ЭЗС, банками-эквайерами, картографическими приложениями (Яндекс.Карты, 2ГИС).

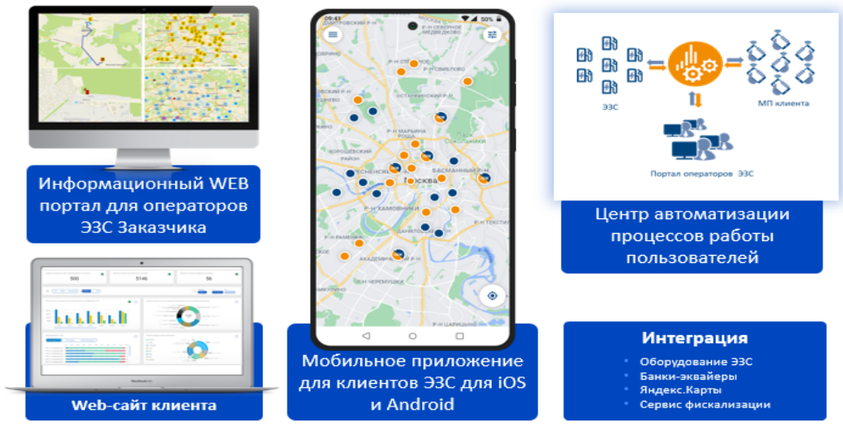


Рис. 8.2.1. Состав решения СИГМА: ЭЗС

Продукт включает в себя мобильное приложение и сайт для водителей, а также веб-портал для операторов ЭЗС (см. рис. 8.2.1). Системы интегрируются с оборудованием станций, банками-эквайерами, Яндекс.Картами, картами 2ГИС и сервисом фискализации. То есть уже сейчас водитель через мобильное приложение может найти на карте подходящую ЭЗС, забронировать слот для зарядки, контролировать сессии зарядок и просматривать историю, а также оплачивать зарядку электромобиля банковской картой. В свою очередь, операторы могут просматривать статистику по ЭЗС и клиентам (статусы, платежи и прочее), вести реестр ЭЗС и их технических параметров, контролировать доступность, управлять сервисом текущих зарядок и бронированием ЭЗС.

Основные функциональные возможности для оператора ЭЗС включают:

- управление оборудованием ЭЗС: ведение списка ЭЗС с указанием их статусов, характеристик, адресов, типов, моделей оборудования и пр.;
- управление клиентами ЭЗС: ведение списка зарегистрированных клиентов, статистики по клиенту (количество сессий и платежей, на каких ЭЗС заправлялся и пр.);
- управление оплатами клиента ЭЗС: ведение электронного счёта клиента, автоматическое списание средств по окончании зарядки электромобиля;
- управление тарифами ЭЗС: возможность установить отдельный тариф на каждую ЭЗС в зависимости от типа станции, типа разъёма, времени работы и пр.;
- технический контроль работы ЭЗС: поддержка протокола OCPP 1.6 или выше, перепрошивка контроллеров ЭЗС;
- анализ работы ЭЗС: предоставление статистики по ЭЗС за определённый период времени (количество потреблённой энергии, количество транзакций, информация о транзакции, такая как время, продолжительность, мощность, статус и пр.).
- формирование сводной отчётности: отчёты в различных аналитических разрезах (клиент/тариф/ЭЗС/период и пр.), выгрузка отчётов в форматах PDF/XML.

Ожидаемые эффекты от внедрения. Функционал первой версии СИГМА: ЭЗС уже удовлетворяет значительную часть потребностей водителей электромобилей и собственников ЭЗС. Решение задач поставщика услуг и потребителя в рамках одной платформы снижает затраты на интеграцию со сторонними решениями и дополнительные риски при передаче данных.

В перспективе — расширение опций поиска ближайших ЭЗС и бронирования временных слотов зарядки, реализация функционала электронного счёта клиентов и техподдержки. С развитой инфраструктурой пользоваться электромобилем станет комфортнее, а принять решение о переходе на более экологичный транспорт — проще.

8.3. АО «Концерн Росэнергоатом»: Центр принятия решений. «Визитная карточка» Концерна

Работа на оптовом рынке электроэнергии и мощности стоит в самом конце технологического цикла энергетических компаний, но её показатели являются индикаторами экономической эффективности предприятия. Задача подразделения коммерческого диспетчирования АО «Концерн Росэнергоатом» — спланировать режим работы атомных станций таким образом, чтобы эффективно реализовать электроэнергию на оптовом рынке и снизить риски потерь в случае отклонений в работе АЭС. Для этого коммерческим диспетчерам требуются данные о выработке, ценах, состоянии станций и многом другом — различная информация из множества источников.

В 2021 году был создан Центр принятия решений (ЦПР) — единая система, которая собирает вместе все данные, необходимые диспетчерам для эффективной работы. В комплексный проект Центра входят помещение, оснащённое современными средствами связи и мультимедийным оборудованием, и информационно-аналитическая система со средствами визуализации данных, которая выглядит как набор панелей-дашбордов, состоящих из отдельных виджетов с ключевыми показателями деятельности.

Сейчас в ЦПР интегрировано полтора десятка систем, он отслеживает более 2000 показателей, при этом до 70% информации актуализируется автоматически.

Диспетчеры получают структурированные данные и аналитику, мгновенно оповещаются об изменениях в работе энергоблоков, проводят оперативные расчёты при помощи инструментов Центра. Из ЦПР можно в приоритетном порядке связаться с руководством АЭС как для принятия наилучших решений по оптимизации продажи электроэнергии и мощности, так и для уточнения обстановки и информирования руководства Концерна.

В случае отключения оборудования на станции ЦПР рассчитывает упущенную выгоду и штрафы, есть возможность смоделировать тот или иной сценарий действий. Обновлённый прогноз выполнения госзадания по выработке автоматически направляется руководителям. Также автоматизирована ежедневная отчётность. Всё это позволяет диспетчерам сосредоточиться на оперативных действиях, чтобы сократить потери и увеличить выручку.

Работа Центра принятия решений — предоставление полной, достоверной, актуальной информации — значительно повысила эффективность подразделения коммерческого диспетчирования. ЦПР — это инструмент, который позволяет увеличить вклад сбытовых подразделений в выручку Концерна за счёт принятия наилучших внутренних решений, минимизации штрафов и точного прогнозирования цен продажи электроэнергии. Цифровизация и автоматизация расчётов и взаимодействия подразделений Концерна позволили вывести работу с управленческими решениями на принципиально новый уровень: некоторые бизнес-процессы ускорились с пары дней до трёх-четырёх минут.

Помимо коммерческого диспетчирования, в рамках ЦПР были сформированы информационные панели для блоков по производству, экономике, строительству, коммуникациям, отдельный дашборд для генерального директора. Все службы Концерна получают информацию по своим зонам ответственности, отслеживают те показатели, которые находятся в фокусе.

Совершенствование Центра принятия решений не останавливалось с момента его запуска.

За счёт переноса Центра в защищённое промышленное облако доступ к нему можно получить с любого компьютера, находящегося внутри Концерна. Сейчас в опытной эксплуатации находится мобильная версия ЦПР, разработанная с использованием полностью импортонезависимых решений. До конца 2024 года на отечественное программное обеспечение будет переведена вся система Центра принятия решений.

Также реализована пилотная версия программы для систем управления сбытом, которая включает в себя инструменты рыночной аналитики и нейросетевого прогнозирования нагрузки АЭС. Нейронные сети способны прогнозировать краткосрочную нагрузку точнее, чем человек, и их использование позволит оптимизировать как результаты торговли, так и временные затраты сотрудников на ежедневные задачи.

В настоящее время Концерн разрабатывает систему предиктивной аналитики оборудования АЭС. Эта система будет интегрирована с ЦПР для того, чтобы моделировать последствия ремонтов и принимать наиболее эффективные финансовые решения.

Именно за счёт реализации подобных кейсов происходит развитие Центра и выстраивание единой системы сбора данных.

Наконец, помещение ЦПР — своеобразная «визитная карточка» АО «Концерн Росэнергоатом». Это место, где можно наглядно продемонстрировать гостям, что такое Концерн, каковы его ключевые достижения и динамика развития.

Центр принятия решений АО «Концерн Росэнергоатом» — первый шаг к цифровому управлению отраслью, основанному на эффективном сборе и обработке данных, мониторинге, прогнозировании и расчётах, оперативном принятии решений на уровне менеджмента.

9. СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

9.1. ПАО «Россети Московский регион»: Организация цифрового дистанционного управления оборудованием и устройствами РЗА электрических распределительных устройств подстанций распределительных электрических сетей

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	внедрение / тиражирование
Применяемые СЦТ:	анализ больших данных, платформенные решения

Актуальность проекта. Разработка и последующее масштабное внедрение автоматизированной системы мониторинга релейной защиты и автоматики (РЗА) и дистанционного управления оборудованием и функциями устройств РЗА из центров управления сетями (ЦУС) и диспетчерских центров (ДЦ) на базе цифровых технологий позволит кардинальным образом изменить процесс оперативного и технического обслуживания электрооборудования в электроэнергетике.

Основные цели проекта:

- повышение надёжности электроснабжения потребителей путём сокращения времени на производство плановых оперативных переключений, анализ причин возникновения технологических нарушений и проведение аварийно-восстановительных работ;
- снижение трудозатрат на техническое обслуживание (ТО) при осуществлении планового перехода на ТО устройств РЗА по их фактическому состоянию, что приведёт к существенному экономическому эффекту, связанному с сокращением затрат на излишние работы, выполняемые при ТО в планово-предупредительном режиме;
- снижение трудозатрат на сбор аварийной информации и сокращение времени на анализ и расследование аварий и технологических нарушений для оценки (технического учёта) правильности работы РЗА;
- снижение аварийности на энергообъектах ПАО «Россети Московский регион», связанной с неправильной работой устройств РЗА.

Техническое решение проекта базируется на технологии цифровой подстанции (ЦПС) с применением ряда стандартов серии IEC 61850. В результате реализации проекта создана система непрерывного мониторинга технического состояния РЗА, дистанционного управления оборудованием и функциями устройств РЗА, а также автоматизированного анализа работы устройств РЗА с передачей информации в систему планирования для проведения внепланового технического обслуживания и ремонта микропроцессорных устройств РЗА в случае выявления дефекта.

Основные этапы проекта:

1. создан программно-технический комплекс (ПТК) для организации цифрового дистанционного управления оборудованием и устройствами РЗА электрических распределительных устройств подстанций распределительных электрических сетей;
2. опытный ПТК установлен и внедрён на ряде подстанций и в ЦУС ПАО «Россети Московский регион», а также в ДЦ АО «СО ЕЭС»;
3. апробированы и реализованы алгоритмы захвата управления оборудованием и устройствами РЗА (программный ключ) для разграничения прав дистанционного управления между автоматизированными рабочими местами подстанции, ЦУС и ДС и блокировки одновременного управления из нескольких мест;
4. проведены успешные испытания цифрового дистанционного управления оборудованием и устройствами РЗА на подстанциях пилотной зоны проекта из ЦУС и ДЦ, успешно испытан функционал системы в части мониторинга АСМДП РЗА.

При реализации проекта выполнены монтажные и наладочные работы в ЦУС филиала ПАО «Россети Московский регион». В частности, установлен и настроен ПТК мониторинга АСМДП РЗА, установлены и настроены оборудование и средства обеспечения информационной безопасности. На подстанциях пилотной зоны проведены доработка панелей РЗА и перенастройка микропроцессорных РЗА для реализации дистанционного управления: установлены модули телемеханики ввода-вывода (рис. 9.1.1), переключатели заменены на кнопки без фиксации со встроенной светоиндикацией состояния, проведена корректировка схем логики и наладка микропроцессорных РЗА, добавлены новые сигналы и команды дистанционного управления, реализован захват управления оборудования и устройствами РЗА (программный ключ) в АСУ ТП (рис. 9.1.2 и 9.1.3). Схема информационного взаимодействия АСМДП РЗА показана на рис. 9.1.4.

Рис. 9.1.1. Модули телемеханики

Рис. 9.1.2. Реализация захвата управления в АСУ ТП подстанции

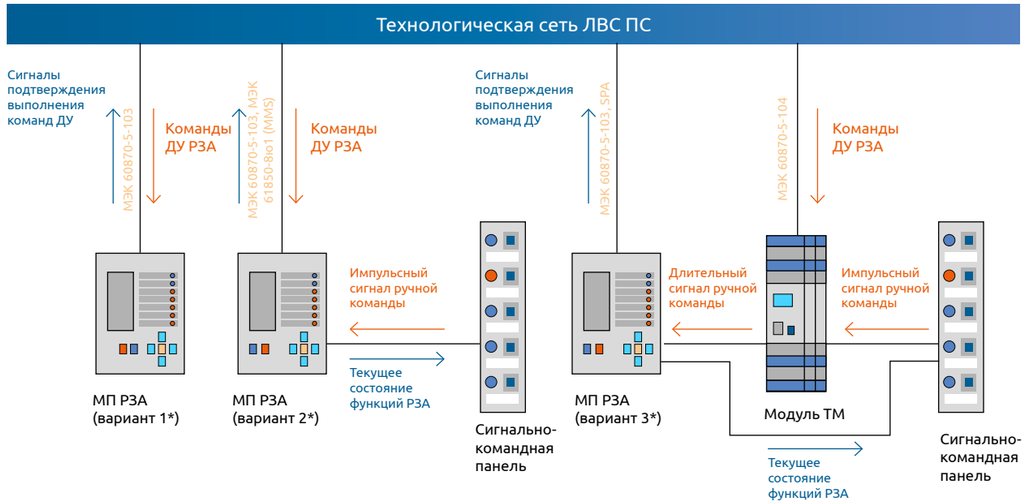


Рис. 9.1.3. Схема дистанционного управления устройствами РЗА

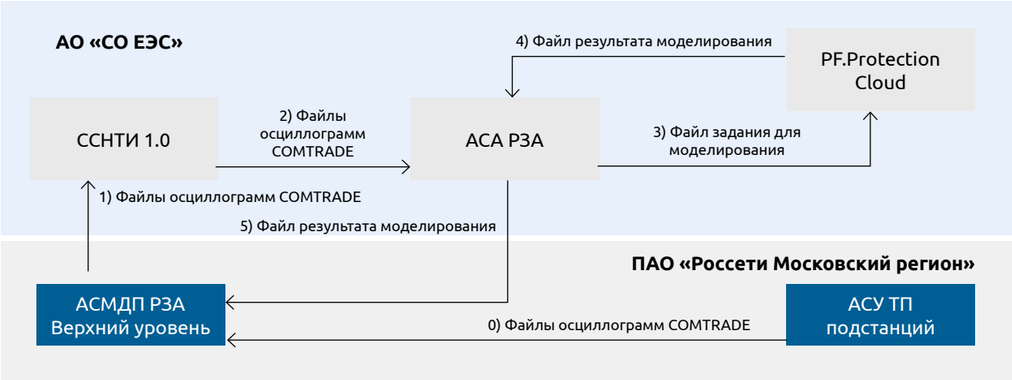


Рис. 9.1.4. Схема информационного взаимодействия АСМДП РЗА

Основные эффекты от реализации проекта:

экономические:

- снятие необходимости выполнения работ по техническому обслуживанию в объёме профилактического контроля и профилактического восстановления за счёт перехода на техническое обслуживание устройств РЗА по состоянию;
- снижение годовых затрат на техническое обслуживание в части транспортных расходов;

отраслевые:

- обеспечение безопасного управления (гарантированное отсутствие несанкционированной возможности захвата управления устройствами и оборудованием извне) оборудованием и устройствами РЗА из удалённых диспетчерских пунктов и центров без необходимости выезда на подстанцию;
- обеспечение оптимизации оперативно-технического управления за счёт повышения качества и быстродействия оперативного управления оборудованием подстанции, повышения надежности электроснабжения потребителей, повышения наблюдаемости энергообъектов и повышения безопасности персонала и снижения риска травматизма.

9.2. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Интеллектуальная система релейной защиты и автоматики энергосистем

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	разработка, внедрение
Платформа:	ИС РЗА
Применяемые СЦТ:	мультиагентные системы, распределённые вычисления, операционные системы реального времени

Интеллектуальная система релейной защиты и автоматики энергосистем (ИС РЗА) — это программно-аппаратный комплекс, предназначенный для создания цифровых систем РЗА, обладающих свойствами самоорганизации, самонастройки и самовосстановления при отказах.

Актуальность проекта заключается в необходимости создания более совершенных технологий цифровых систем защиты и автоматики. Опыт разработки и внедрения технологий так называемой «Цифровой подстанции» показал их относительно низкую технико-экономическую эффективность и надёжность. Для решения этой проблемы необходима новая парадигма построения цифровых систем защиты и автоматики.

Такая парадигма была разработана на основе проведения глубоких научных исследований. В частности, был разработан новый способ распределённого решения задачи оптимизации функциональной структуры цифровых систем на основе применения мультиагентных технологий. Этот способ позволяет получить решение задачи оптимальной реконфигурации системы за десятки миллисекунд, по сравнению с несколькими часами при применении алгоритмов, традиционно используемых для этих задач. Это позволяет создавать цифровые системы защиты и автоматики с гибкой функциональной структурой, в которых функциональность не является жёстко связанной с устройством, на котором она выполняется, а может перемещаться между разными физическими устройствами в ходе функциональной реконфигурации (самовосстановления при отказах) во время функционирования комплекса РЗА (рис. 9.2.1). Разработанное решение является кросс-платформенным, т.е. может выполняться на процессорах с различными архитектурами.

Цели проекта:

- создание цифровых систем защиты и автоматики энергосистем, обеспечивающих снижение совокупной стоимости владения (CAPEX/OPEX) при одновременном повышении надёжности функционирования энергосистем;
- обеспечение технологического суверенитета в области создания цифровых систем защиты и автоматики энергосистем;

› создание глобально конкурентоспособного высокотехнологичного продукта с высоким экспортным потенциалом, превосходящего по своим качествам современные и перспективные разработки мировых лидеров отрасли (Siemens, ABB, GE и др.), создание нового отраслевого стандарта.

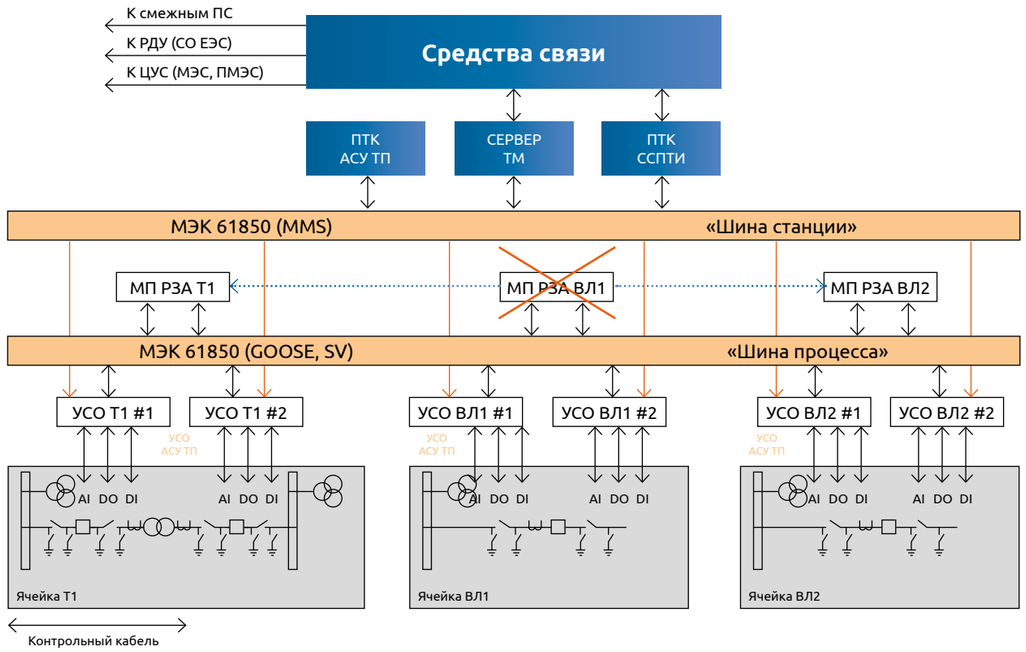


Рис. 9.2.1. Миграция функций в ИС РЗА при отказе элемента системы

Разработанная система ИС РЗА более года проходила опытно-промышленную эксплуатацию (ОПЭ) на подстанции 110/10 кВ. В рамках ОПЭ были проведены специальные испытания системы, подтвердившие эффективность принятых решений. По результатам ОПЭ было получено положительное заключение эксплуатирующей организации. Все системы РЗА, АСУ ТП, связи, системы гарантированного питания и средства обеспечения ИБ были размещены всего в одном транспортном контейнере площадью 18 м^2 (рис. 9.2.2).

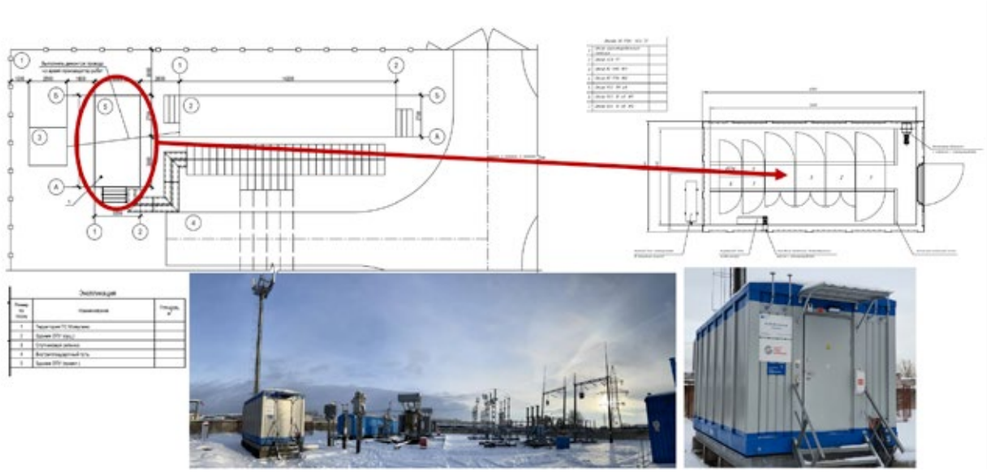


Рис. 9.2.2. Размещение ИС РЗА на ПС 110/10 кВ

Само устройство ИС РЗА представляет собой специализированный промышленный компьютер с несколькими вычислительными модулями (рис. 9.2.3). Состав и конфигурация вычислительных модулей могут изменяться в соответствии с требованиями к производительности, исходя из необходимого объёма функций. Устройство ИС РЗА имеет развитый человеко-машинный интерфейс, позволяющий выполнять управление электротехническим оборудованием по аналогии с АСУ ТП, а также обеспечивает возможность просмотра осциллограмм непосредственно на устройстве РЗА.

Рис. 9.2.3. Внешний вид и интерфейс устройства ИС РЗА

Под руководством ИК B5 РНК СИГРЭ была создана международная рабочая группа WG B5.50 «PACS with functionality independent of hardware», в рамках которой были даны рекомендации по внедрению решений, разработанных в Центре НТИ НИУ «МЭИ». Кроме того, в настоящее время ведущие западные компании организовали консорциум Linux Foundation Energy, в рамках которого реализуется аналогичный проект SeaPath[20]. Проект SeaPath все ещё находится на стадии концепции, в то время как проект ИС РЗА, реализуемый в Центре НТИ НИУ «МЭИ», уже прошёл стадию опытно-промышленной эксплуатации и подтвердил эффективность принятых решений. При активном участии российских энергокомпаний разработанные технологии могут занять лидирующие позиции на мировом рынке.

20 https://lfenergy.org/projects/seapath/

9.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Развитие технологий РЗА в перспективе до 2050 года

Определение целевого образа развития технологий в области релейной защиты и автоматизации энергосистем на долгосрочную перспективу до 2050 года — важная и актуальная задача. Именно целевой образ может задать необходимый вектор развития и помочь скоординировать усилия для обеспечения устойчивого функционирования электроэнергетических систем в будущем.

Для формирования этого образа нужно определить основные влияющие факторы, учитывая которые можно создать общую картину российской электроэнергетики будущего. К числу влияющих факторов относятся развитие технологий электроэнергетической отрасли и общий прогресс вычислительной техники и ИТ, а также развитие и доступность кадрового потенциала в энергетике.

С точки зрения развития технологий генерации и передачи электроэнергии на горизонте до 2050 года можно предположить заметное внедрение ВИЭ и СНЭЭ, появление новых видов распределённых источников энергии, включая водородные энергетические установки и «малые» атомные электростанции, а также широкое применение электрического транспорта и устройств на основе силовой электроники.

В области развития средств вычислительной техники и информационных технологий можно предположить создание квантовых компьютеров и квантовых коммуникаций, беспроводных сетей нового поколения 6G и далее, глобальных космических сетей связи и оптических процессоров. Вычислительная мощность процессоров вырастет, а энергопотребление, напротив, снизится.

Всё это также означает возникновение новых вызовов, которые встанут перед отраслью.

Прежде всего, высокая скорость изменения технологий может привести к отставанию в их внедрении. Это связано с темпами развития нормативно-технической документации, не всегда поспевающими за прогрессом. Результатом такого отставания станет недостаточный уровень надёжности энергосистем и снижение технического совершенства систем РЗА и АСУ ТП.

Из-за развития возобновляемых источников энергии сильное влияние на режимы работы ЭЭС будут оказывать погодные условия. Достаточно большая доля ВИЭ в структуре выработки означает, что управлять режимами работы энергосистем придётся в реальном времени на основе прогнозов изменения генерации и потребления. Для балансировки режимов будет недостаточно одного только управления генерацией, потребуется также ограничивать нагрузку, в том числе «за счётчиком» в домашних хозяйствах и малом и среднем бизнесе.

Изменение климата приведёт к возникновению экстремальных погодных явлений, что предъявит новые требования к электроэнергетическим системам в части катастрофоустойчивости (интеллектуальная автоматическая сборка и восстановление работы энергосистемы после системной аварии) и минимального времени восстановления после полного погашения. В этой связи необходимо будет сформировать требования к самонастройке, самоорганизации и самовосстановлению энергосистем.

Заметное влияние на режимы работы электрических сетей будет оказывать электротранспорт. Для того, чтобы избежать перегрузок сети, потребуется создание специализированных систем управления зарядом и разрядом (выдача мощности в сеть) электротранспорта по критериям оптимальности и допустимости режимов работы электросетей.

Распространение электротранспорта, ВИЭ и СНЭЭ приведёт к сближению значений токов короткого замыкания и рабочих токов вследствие широкого применения силовой преобразовательной техники (инверторов) для ограничения токов короткого замыкания. Это приведет к потере чувствительности и селективности резервных защит, а значит, распределительным сетям понадобятся защиты с абсолютной селективностью.

Автономные энергообъекты без постоянно присутствующего персонала потребуют удалённого контроля и мониторинга, поэтому требования к информационной безопасности чётко формализуются, будут широко применяться подходы по безопасной разработке программно-технических средств и развитые встроенные в устройства РЗА и АСУ ТП средства защиты информации.

Нельзя забывать и об эволюционном изменении видов профессиональной деятельности, трудовых функций, и, соответственно, образования. Многие специальности в электроэнергетике исчезнут вследствие технологического прогресса.

В частности, все трудовые функции, связанные с обработкой цифровой информации человеком по типовым правилам с использованием компьютеров (создание отчётов, типовые операции по анализу данных, расчёты показателей, формирование документов) с большой долей вероятности перестанут существовать, так как будут выполняться интеллектуальными программными агентами. Предполагается, что работы по проектированию, наладке, контролю и управлению эксплуатацией также будут выполняться преимущественно интеллектуальными программными комплексами без активного участия человека.

Развитие и доступность кадрового потенциала для предприятий электроэнергетики в данный момент можно охарактеризовать следующими тенденциями.

Во-первых, уменьшается количество поступающих на энергетические специальности, потому что работа в сфере информационных технологий выглядит для выпускников более привлекательной как с точки зрения оплаты труда, так и с точки зрения условий работы и уровня ответственности.

Во-вторых, в настоящее время на правительственном уровне принимаются меры по стимулированию подготовки кадров в области информационных технологий, что также приведёт к дефициту кадров в энергетике.

Эволюция специальностей и трудовых функций в электроэнергетике приведёт к трансформации требований к технологиям и бизнес-процессам в сторону большей автономности функционирования энергообъектов. Переход от планово-предупредительного подхода в эксплуатации к риск-ориентированному позволит частично адаптироваться к дефициту рабочих кадров. При этом велика вероятность возникновения частных сервисов по предоставлению услуг технического обслуживания и ремонта.

Построение общей картины будущего электроэнергетики с учётом потенциальных вызовов и угроз позволяет задать необходимые требования к новым технологиям РЗА и определить целевой образ развития на желаемом горизонте.

Предполагается, что к 2050 году будет полностью сформирована цифровая технологическая платформа интеллектуальной системы РЗА.

Основной характеристикой будущих технологий РЗА является высокая автономность, обеспечивающая самоорганизацию, самонастройку и самовосстановление систем. Изменится роль человека: он будет задавать требования и правила, система — синтезировать оптимальные решения. Люди будут привлекаться для ремонта и замены отказавшего оборудования.

Проектирование, наладка и управление эксплуатацией также будут выполняться интеллектуальными системами на основе применения методов ИИ без активного участия человека. Данные мониторинга и диагностики, поступающие непосредственно от силовых устройств, будут автоматически актуализировать состояние цифровых моделей и формировать объективную оценку надёжности и технико-экономической эффективности. Контроль состояния со стороны регуляторов и управление процессами развития и эксплуатации будут выполняться в автоматическом режиме с применением интеллектуальных программных комплексов без привлечения персонала для сбора и агрегации данных.

Так как количество контролируемого и управляемого оборудования будет исчисляться миллионами устройств, централизованный сбор и обработка данных для решения задач

диспетчерского и технологического управления станут практически невозможными. Системы управления примут распределённый характер: за счёт обмена информацией между отдельными узлами энергосистемы (в том числе принадлежащим разным собственникам) будут формироваться оптимальные управляющие воздействия. Централизованные операторы сетей и энергосистем превратятся в арбитров-верификаторов, контролирующих соответствие рассчитанных управляющих воздействий требованиям и нормам.

Информационная безопасность в таких условиях будет обеспечиваться на этапе разработки технологических решений путём применения рационального состава встроенных и наложенных средств защиты информации.

Помимо искусственного интеллекта, наиболее перспективными решениями с точки зрения обеспечения новых качеств электроэнергетических систем являются технологии накопления электроэнергии. Их развитие позволит создавать распределённые СОПТ с собственной системой гарантированного питания для каждого элемента силового оборудования. Подзарядка батарей при этом будет осуществляться как от основных токоведущих частей, так и от локальных ВИЭ.

Благодаря высокому уровню технического совершенства информационной инфраструктуры системы РЗА приоритет будет отдан функциям защиты с абсолютной селективностью. Их выполнение будет реализовано в микропроцессорных устройствах, входящих в комплектацию силового оборудования. Срок службы таких устройств соответствует сроку службы силового устройства, также они не потребуют обслуживания в течение всего жизненного цикла.

Выполнение резервных защит с относительной селективностью, действующих с выдержками времени, а также автоматики управления электрическими сетями и противоаварийной автоматики, будет реализовано в удалённых от энергообъектов центрах обработки данных. В этих же центрах будут выполняться функции АСУ ТП, мониторинга и диагностики, для информационного обмена будут использоваться общие информационные модели, полностью описывающие все объекты, элементы, их свойства и атрибуты, технологические и бизнес-процессы.

При этом параметры настройки защит с абсолютной селективностью будут зависеть только от параметров силового оборудования, а с относительной — адаптивно пересчитываться, исходя из текущих и прогнозируемых режимных параметров.

В распределительных электрических сетях применяются защиты с абсолютной селективностью с использованием беспроводных защищённых каналов связи для передачи данных в реальном времени между энергообъектами (ТП, РП и/или отпайками). Внутри энергообъекта данные также будут передаваться преимущественно по беспроводным каналам связи, что снизит объём работ по ТОиР и ускорит самовосстановление, самонастройку и самоорганизацию.

Так выглядит целевой образ развития технологий релейной защиты и автоматизации энергосистем на горизонте до 2050 года. Задача отрасли — обеспечить достижение таких перспективных характеристик и свойств технологий РЗА для устойчивой и надёжной работы электроэнергетических систем.

10. СИСТЕМЫ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, УПРАВЛЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ

10.1. ООО «СИГМА»: Система сбора и хранения информации с измерительных устройств и комплексов, оснащённых цифровыми интерфейсами для обмена данными (СИГМА: ССПТИ)

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	промышленная эксплуатация
Платформа:	СИГМА: ССПТИ
Применяемые СЦТ:	технологии анализа больших данных и машинного обучения

Решение **СИГМА: ССПТИ** обеспечивает консолидацию всей технологической информации и способствует расчёту технико-экономических показателей работы электростанции в режиме онлайн.

Актуальность проекта. Одна из главных задач Энергетической стратегии России на период до 2035 года — сокращение объёмов промышленного потребления электричества и тепла. Это необходимо для снижения энергоёмкости и сохранения конкурентоспособности предприятий. Расчёт технико-экономических показателей (ТЭП) работы электрической станции — один из ключевых производственных процессов АО «Интер РАО — Электрогенерация». Он связан с большим объёмом операций, выполняемых вручную,

и ежемесячно требует значительных затрат времени и трудовых ресурсов. Для повышения эффективности использования топлива и оперативности предоставления расчётной информации на электростанциях, находящихся в ведении АО «Интер РАО — Электрогенерация», были внедрены современные автоматизированные системы технического управления. Одна из них — СИГМА: ССПТИ.

Цели проекта:

- обеспечение унифицированного автоматизированного сбора и обработки сырых данных с нижнего уровня;
- минимизация ручного ввода значений, повышение точности и объёма расчётов ТЭП;
- автоматизация расчёта фактических, номинальных, нормативных и прогнозных ТЭП;
- повышение достоверности расчётной информации, сокращение числа ошибок, в том числе благодаря минимальному влиянию человеческого фактора на результаты расчётов;
- повышение эффективности технологического управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятия.

Ранее расчёт ТЭП выполнялся сотрудниками компании в ручном режиме и передавался в сторонние системы с помощью Excel-файлов. Сейчас процесс автоматизирован: решение СИГМА: ССПТИ осуществляет непрерывный сбор, хранение и контроль как «сырых», так и предобработанных данных, получаемых из систем АСУ, коммерческого учёта электроэнергии и газа, отдельных устройств полевого уровня. Данные консолидируются в защищённом хранилище, а затем передаются в систему СИГМА: АСР ТЭП.

В системе СИГМА: АСР ТЭП с помощью электронной модели станции обеспечивается автоматический расчёт показателей на 10-минутном интервале. Помимо этого, предусмотрена возможность передачи данных из СИГМА: ССПТИ в другие системы для решения задач ТОРО, трейдинга, мониторинга состояния оборудования. Также создан функционал ретроспективного анализа данных, что позволяет развивать систему ССПТИ как единую точку доступа к технологическим данным, повышая тем самым уровень информационной безопасности.

Решение даёт возможность оперативно получать релевантные данные о состоянии энергетического оборудования, а также контролировать их актуальность, целостность и достоверность. На основе данных принимаются более оперативные и точные решения по корректировкам работ, планированию сроков ремонта оборудования, прогнозированию потребности в ремонтах и заменах. Всё это позволяет снизить риски сбоев, оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт оборудования.

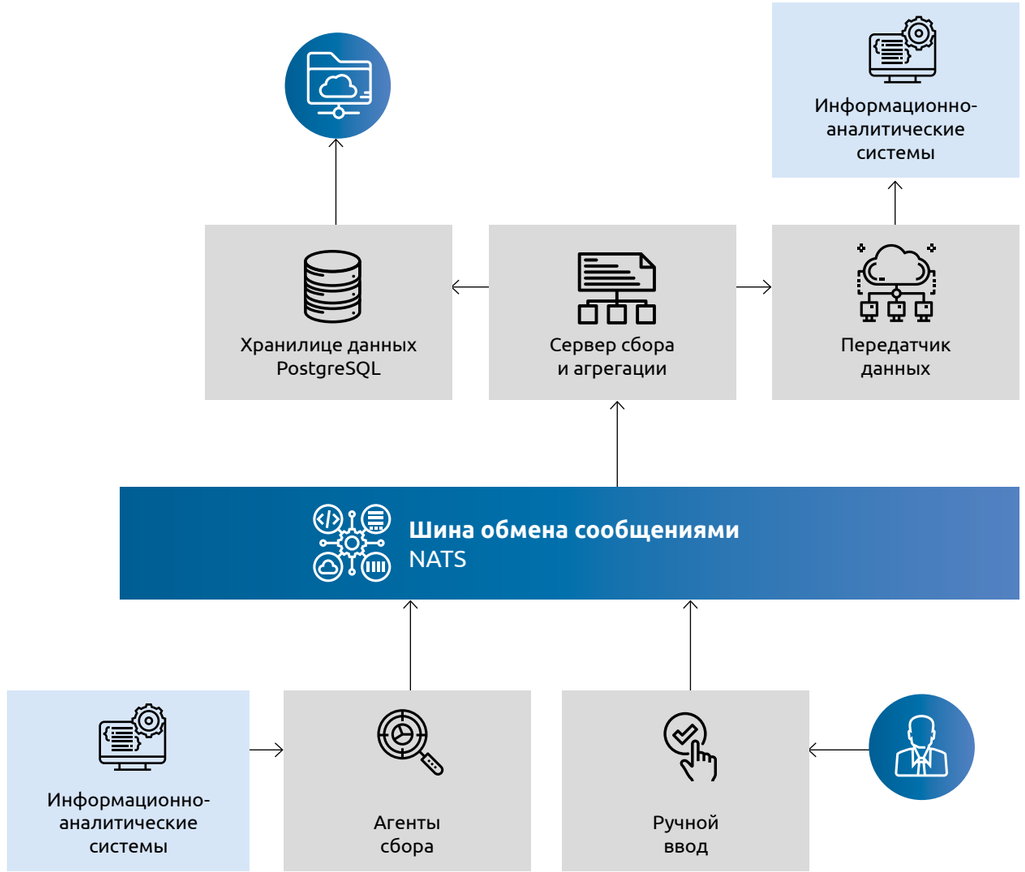


Рис. 10.1.1. Архитектура решения СИГМА: ССПТИ.

СИГМА: ССПТИ является кроссплатформенным программным комплексом с трёхуровневой архитектурой (см. рис. 10.1.1). В качестве централизованного архива данных системы используется открытая СУБД PostgreSQL. Решение основано на принципах микросервисной архитектуры, единой шины обмена данными, открытого по и возможности расширения функционала пользователем.

Ожидаемые эффекты от внедрения:

- оперативное предоставление руководству станции информации по всем видам расчётов;
- улучшение технологической дисциплины;
- снижение рисков влияния человеческого фактора;
- обеспечение оперативного контроля удельных расходов и потерь.

По экспертным оценкам, внедрение СИГМА: ССПТИ обеспечивает следующие показатели экономии времени и трудозатрат: до 90% на обработку данных и до 60% на документооборот.

10.2. ООО «Диджитал Спирит»: ПО Закрома Объектное Хранение. Электронный архив

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	внедрение / тиражирование / масштабирование
Платформа:	ПО Закрома
Применяемые СЦТ:	технологии анализа больших данных

ПО Закрома — это программный продукт для централизованного хранения и управления электронным контентом. ПО Закрома включено в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных[21].

По мере роста объёма и разнообразия неструктурированных данных (архивов документов и сканов, видео-, графического и статического контента веб-приложений и ИТ-систем, бэкапов, big data и т.д.) наиболее актуальными становятся задачи их безопасного, отказоустойчивого и масштабируемого хранения с использованием всех преимуществ современных технологий и подходов к реализации. **Актуальность проекта** заключается в необходимости реализации надёжных, масштабируемых и оптимальных по стоимости решений хранения и управления электронным контентом в условиях недостатка аппаратных решений хранения и требований к импортозамещению ПО. Объединив преимущества файловых и объектных технологий хранения с гибридными возможностями локального и/или облачного размещения данных и добавив функции электронного архива, компания ООО «Диджитал Спирит» создала российский программный продукт Закрома.

Цели проекта:

- обеспечение доступности и безопасности данных в виде единого корпоративного хранилища контента (файлов и документов) с функциями долговременного хранения, отказоустойчивости, георепликации, правил оптимизации хранения;
- повышение уровня цифровой трансформации отрасли.

Архитектура ПО Закрома показана на рис. 10.2.1. Компонент Закрома.Хранение позволяет разделить уровень приложений и слой хранения данных без влияния на процессы работы бизнес-пользователей и без дополнительных затрат на инфраструктуру.

21 https://reestr.digital.gov.ru/reestr/1613322/?sphrase_id=3440486

Основные функции:

- зеркалирование: копирование данных для реализации задач отказоустойчивости, CDN, миграции данных;
- расширение ёмкости: режим дополнения ёмкости нескольких хранилищ в единый пул без остановки приложений;
- маршрутизация/миграция данных между ресурсами хранения;
- версионирование данных и защита от удаления;
- интеграция/поддержка протоколов S3 REST API (включая преодоление ограничения на файлы >5Гб), (S)FTP, NFS, MQ и др;
- аналитика использования данных;
- безопасность и контроль: шифрование, история изменений, аудит доступа, разделение данных.

Реализация этих функций позволяет настроить хранение и управлять им наиболее оптимальным способом, обеспечивая диверсификацию (без остановки бизнес-приложений данные могут мигрировать между собственной и облачной инфраструктурой), расширение области хранения в любой момент и независимость от внешнего партнёра или сервиса (см. рис. 10.2.2).

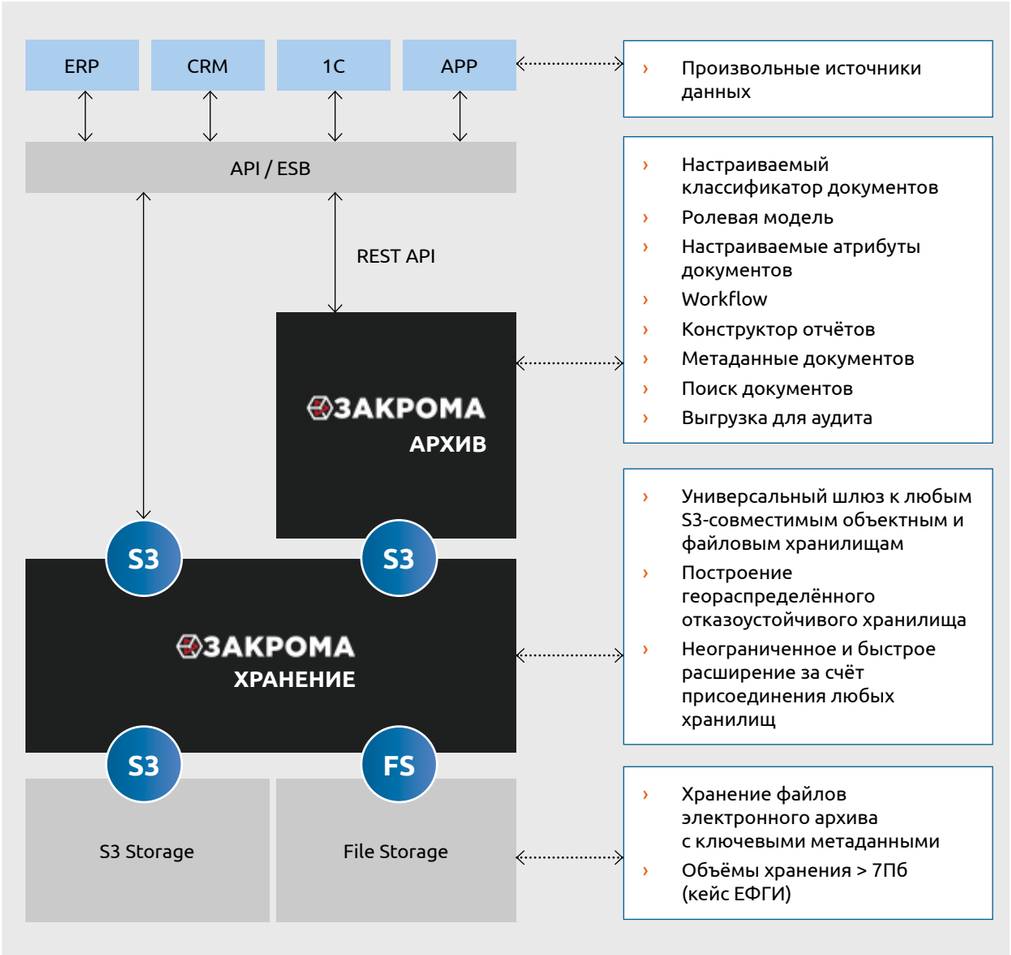


Рис. 10.2.1. Архитектура решения ПО Закрома

Компонент Закрома.Архив дополняет решение по хранению и закрывает потребности компании в организации единого электронного архива документов, включая каталогизацию, поиск, версионирование, историю изменений и защиту данных. Закрома.Архив, основанный на современной микросервисной архитектуре и хранении данных в надёжных S3-хранилищах, позволяет заменить ушедшие с рынка иностранные решения (см. рис. 10.2.3).

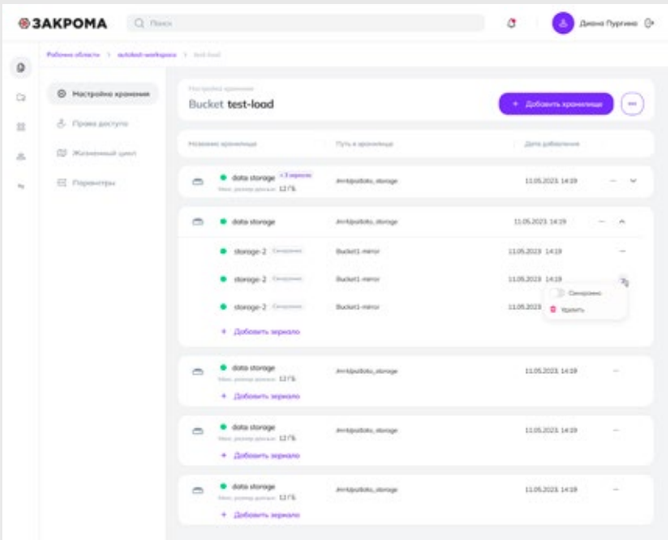


Рис. 10.2.2. Административная консоль Закрома.Хранение

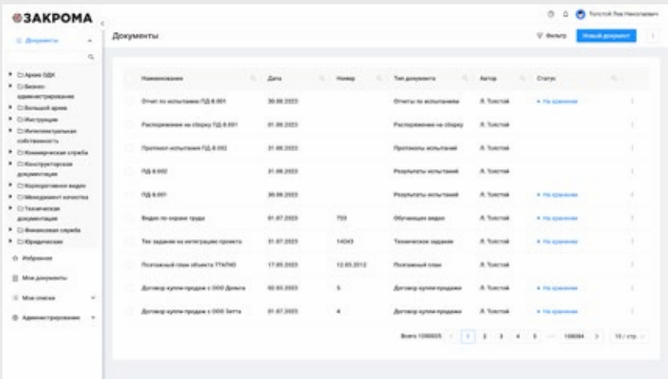


Рис. 10.2.3. Консоль Закрома.Архив

Платформа ПО Закрома уже подтвердила свою надёжность в продуктивном использовании: на данный момент с её помощью осуществляется хранение более 3 Пбайт данных, подключено более 10 тыс. пользователей.

11. СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕЙ, УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ПЕРСОНАЛА

11.1. ПАО «Т Плюс»: Мониторинг повреждения тепловых сетей

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	эксплуатация
Платформа:	PostgreSQL, PHP
Применяемые СЦТ:	платформенные решения

Информационная система мониторинга повреждения тепловых сетей (МПТС) предназначена для повышения качества и оперативности получения информации о состоянии тепловых сетей, улучшения контроля за устранением повреждений, моделирования и контроля отключений или ограничений в поставляемом ресурсе потребителям, планирования и проведения гидравлических испытаний, а также повышения эффективности планирования мероприятий ремонтов и технического перевооружения и реконструкции (ТПиР).

Информационная система МПТС реализует следующие **функции**:

- выявление очагов концентрации дефектов тепловых сетей;
- планирование ремонтов и мероприятий ТПиР;
- накопление статистики дефектов для принятия решений по ремонтам;
- контроль за деятельностью персонала при устранении повреждений;
- оценка убытков в натуральном и денежном выражениях по группам дефектов, связанных с потерями тепла;
- интеграция с системой, обеспечивающей уведомление потребителей об ограничениях и отключениях.

Архитектура информационной системы МПТС показана на рис. 11.1.1.

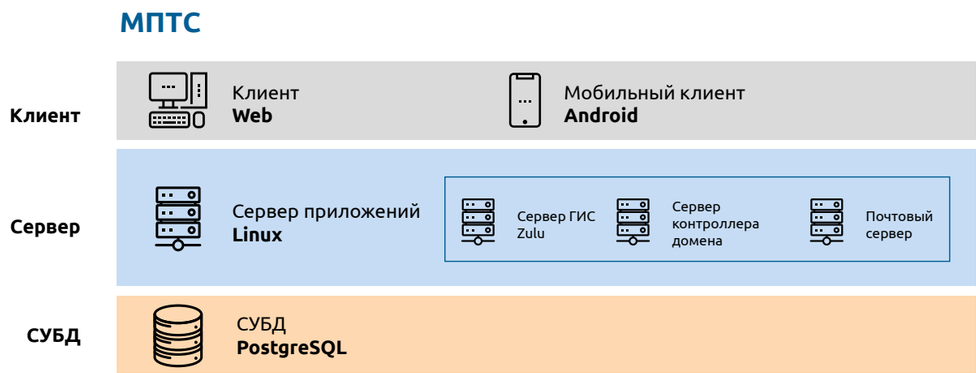


Рис. 11.1.1. Архитектура МПТС

МПТС разработана в соответствии с принципами модульной архитектуры — с выделением ролевой модели и набора полномочий для каждого модуля. Серверная часть состоит из сервера баз данных под управлением PostgreSQL и сервера приложений под управлением ОС Linux. Авторизация пользователей реализована через интеграцию с Microsoft Active Directory, а для организации рассылки уведомлений используется корпоративный почтовый сервер. В качестве единой базы геоинформационной системы используется GIS Zulu.

Клиентская часть реализована в двух вариантах: тонкий клиент для веб-браузера и мобильное приложение для телефонов с ОС Android (см. рис. 11.1.2). Архитектура приложения построена на открытом программном обеспечении и полностью соответствует требованиям по импортозамещению.

Рис. 11.1.2. Клиентская часть МПТС

Основные эффекты от внедрения информационной системы МПТС заключаются в уменьшении потерь тепловой энергии, а также улучшении качества поставляемых энергоресурсов путём минимизации количества отключений и сокращения срока проведения плановых ремонтов на тепловых сетях.

11.2. ООО «ИТ Плюс»: МИиМ — мобильные инспекции и мониторинг

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	промышленная эксплуатация, развитие функционала
Платформа:	МИиМ
Применяемые СЦТ:	платформенные решения, интернет вещей

Решение **«Мобильные инспекции и мониторинг» (МИиМ)** представляет собой комплексную программно-аппаратную платформу, предназначенную для автоматизации процессов обходов и осмотров оборудования предприятия с использованием мобильных устройств и средств измерений, мониторинга технического состояния оборудования электрических станций и тепловых сетей, интеграции собранных данных с корпоративными информационными системами предприятия для планирования и проведения ремонтов оборудования.

Актуальность проекта по разработке МИиМ обусловлена необходимостью применения современных цифровых решений для повышения эффективности и качества работ по обслуживанию энергооборудования станций и тепловых сетей.

Цели проекта:

- повышение оперативности и достоверности информации о состоянии оборудования;
- повышение трудовой дисциплины и качества обходов, контроль выполнения обходов с использованием технических средств;
- сокращение трудозатрат на отражение результатов измерений технологических параметров и визуального осмотра оборудования;
- ликвидация бумажного документооборота и двойного ввода данных в автоматизированные информационные системы;
- накопление и анализ данных по повреждениям и дефектам в целях планирования и проведения ремонтов.

Архитектура МИиМ показана на рис. 11.2.1. Основными элементами платформы являются:

- мобильный терминал (смартфон) с установленным мобильным приложением на базе ОС Android;
- универсальное измерительное устройство (виброметр, пирометр);
- серверный модуль составления маршрутов обходов, генерации заданий на обход, отчётности, электронный журнал дефектов;
- модуль интеграции со смежными информационными системами.

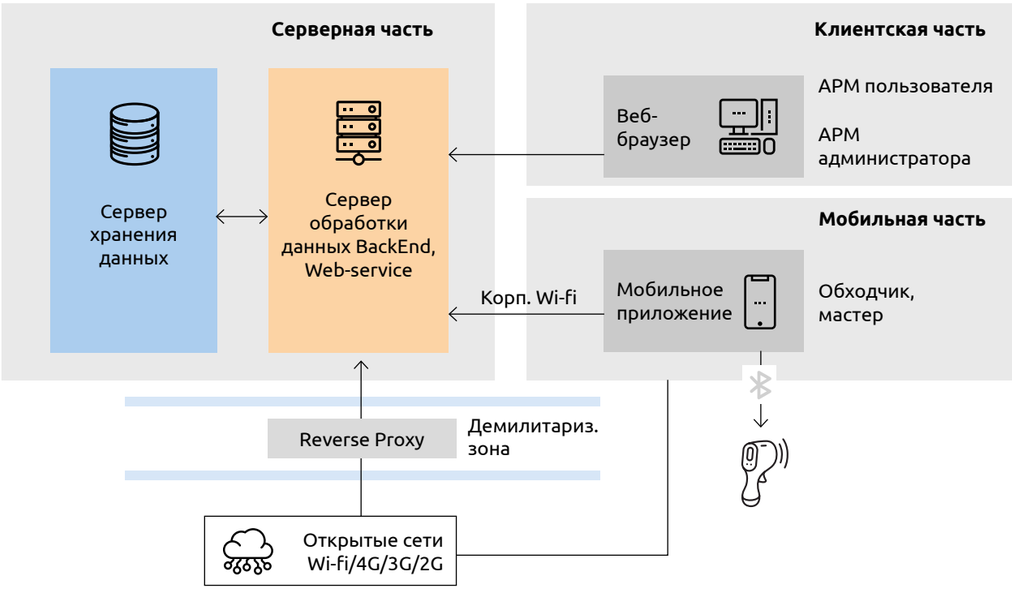


Рис. 11.2.1. Архитектура платформы МИиМ

В рамках реализации проекта оперативный персонал станций и тепловых сетей получил мобильные устройства с возможностью подключать универсальные измерительные приборы, оснащённые датчиками для экспресс-измерения технологических параметров работы оборудования. Платформа МИиМ обеспечивает ведение типовых маршрутов обходов, контроль графиков их выполнения, автоматическое формирование заданий на обход, а также при необходимости создание нетиповых заданий.

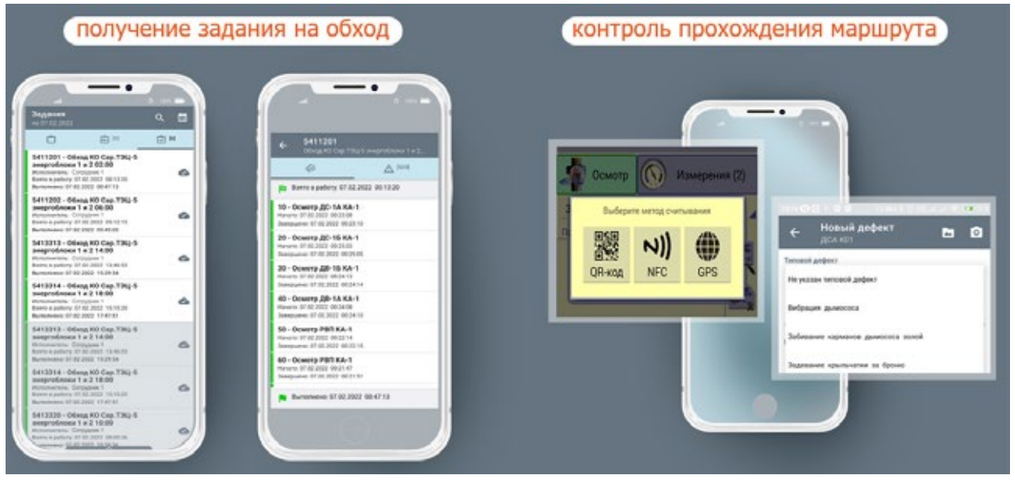


Рис. 11.2.2. Схема работы и интерфейс

Во время обходов мобильные устройства позволяют автоматически фиксировать результаты осмотра оборудования, показания приборов и результаты измерений, производить фото- и видеосъёмку выявленных дефектов (рис. 11.2.2). Контроль прохождения маршрута обходчиком обеспечивается через считывание NFC-меток, установленных на оборудовании (закрытые производственные помещения) или через определение GPS-координат (протяжённые объекты). Результаты осмотров и измерений передаются в электронный журнал дефектов и корпоративную информационную систему. Мобильное приложение может работать как в онлайн- (корпоративная и внешняя сеть Wi-Fi, сети 4G/3G/2G), так и офлайн-режимах.

До внедрения платформы МИиМ персонал вёл двойную работу по выполненным обходам и обнаружению дефектов (на бумаге и в электронном виде), что сказывалось на скорости отражения информации по обнаруженным дефектам и неисправностям, а также на информировании руководства. Работа в системе МИиМ дисциплинирует персонал и даёт руководству инструмент оперативного контроля, что особенно актуально как в условиях прохождения отопительного периода, так и в процессе проведения гидравлических испытаний и реализации летней ремонтной кампании.

Основные эффекты от внедрения платформы МИиМ:

- повышение качества проведения обходов и осмотров оборудования: четкая постановка задачи исполнителю за счёт формирования типовых маршрутов и перечня контролируемых параметров;
- сокращение трудозатрат на проведение осмотра за счёт использования NFC-меток и навигации в мобильном приложении, применения интегрированного измерительного устройства для оперативного замера показателей;
- оперативное информирование: получение информации о состоянии оборудования и оповещение о необходимости дополнительных работ в режиме реального времени;
- расширение аналитической базы: хранение в электронном виде истории осмотров, измерений параметров, а также дефектов оборудования, переход на электронный документооборот;
- повышение качества планирования ремонтных воздействий за счёт анализа информации о накопленных дефектах с привязкой к справочникам оборудования и топологии тепловой сети.

11.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Система информационной поддержки оперативного персонала энергообъектов на базе применения технологий дополненной реальности ПТК «Умный вид 2.0»

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	Разработка
Платформа:	ПТК «Умный вид 2.0»
Применяемые СЦТ:	дополненная реальность, искусственные нейронные сети

Программно-технический комплекс (ПТК) «Умный вид 2.0» — это система информационной поддержки оперативного персонала на базе применения технологий дополненной реальности.

Актуальность проекта обусловлена тем, что в настоящее время в электроэнергетике наблюдается дефицит кадров. Поэтому необходимы специализированные системы, которые позволят снять часть когнитивной нагрузки на персонал для повышения производительности труда и уровня безопасности. Таким образом системы информационной поддержки персонала позволят быстрее, безопаснее и эффективнее выполнять задачи оперативного управления на энергообъектах в условиях дефицита кадров.

Цели проекта:

- повышение уровня безопасности персонала на энергообъектах;
- снижение числа ошибок, происходящих из-за человеческого фактора;
- повышение надёжности и безаварийности работы энергосистем.

Конструктивно **система состоит** из носимого устройства — шлема дополненной реальности и серверной части. Шлем дополненной реальности снабжён цифровыми камерами, тепловизором, вычислительным устройством, очками дополненной реальности, микрофоном и динамиками, системой беспроводной передачи данных (рис. 11.3.1).

Рис. 11.3.1.
Индивидуальный комплекс отображения информации:
1) шлем,
2) оптический модуль,
3) микро-дисплей,
4) тепловизор,
5) камера обзора,
6) лазерный 3D-сканер,
7) микрофон,
8) наушники,
9) микрокомпьютер,
10) модем 4G/Wi-Fi,
11) приёмник/передатчик GPS/Glonass,
12) акселерометр,
13) гироскоп,
14) батарея,
15) камера для регистрации оперативных действий

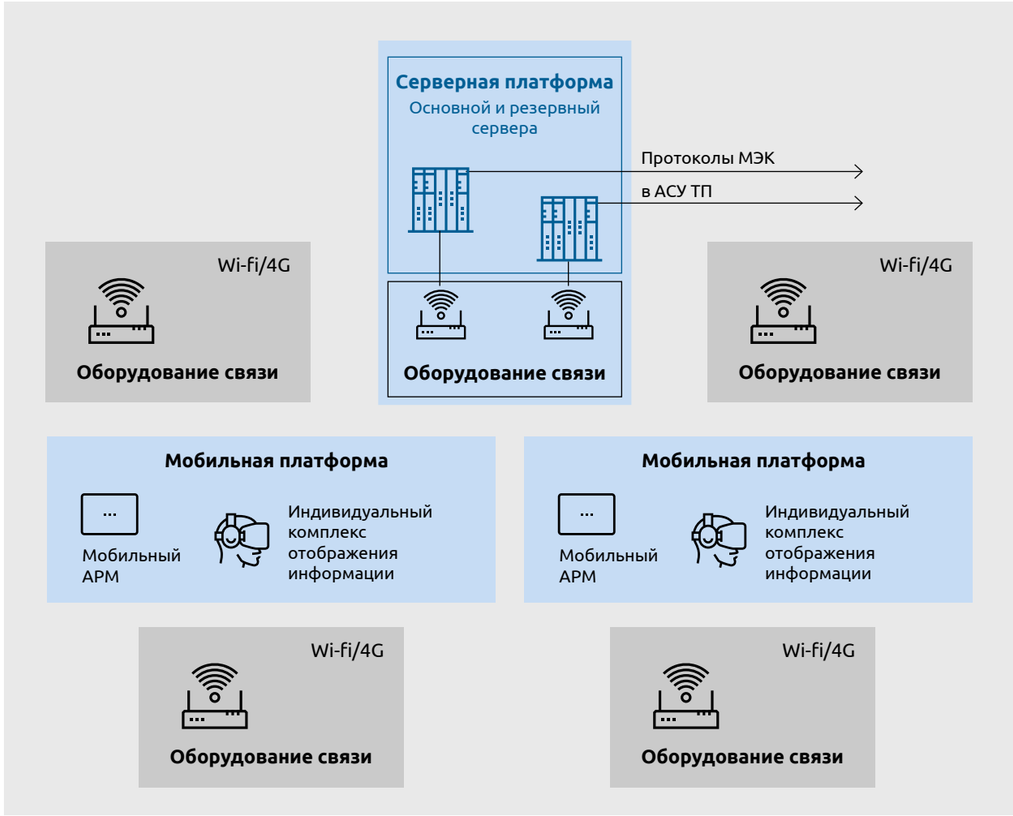


Рис. 11.3.2. Структурная схема ПТК «Умный вид 2.0»

Серверная часть (рис. 11.3.2) обеспечивает сбор и обработку данных, а также передачу данных на шлем дополненной реальности от систем АСУ ТП и систем мониторинга и диагностики (СМиД). Оперативный персонал, выполняя свои трудовые функции, перемещается по территории энергообъекта. Система отслеживает эти перемещения, при помощи распознавания образов из видеопотока идентифицируются элементы первичного оборудования, их узлы и агрегаты. Из баз данных извлекаются паспортные параметры оборудования, находящегося в поле зрения человека, а также текущие измерения из си-

стем АСУ ТП и СМиД. Кроме того, идентифицированные элементы оборудования, их технологические параметры и оперативное состояние органов управления сравнивается с выданным заданием на выполнение работ. Система подсказывает оперативному персоналу, какое действие с каким элементом нужно выполнить. Если персонал выполняет ошибочные действия, система выдаёт предупредительные сигналы.

При проведении пусконаладочных, ремонтных, плановых и иных работ на энергообъекте ПТК «Умный вид» играет роль экспертной системы. Система может выполнять такие задачи, как:

- обеспечение быстрого доступа к электронному архиву рабочей и эксплуатационной документации;
- автоматизация инжиниринга при пусконаладке: использование технологий дополненной реальности для выполнения монтажа оборудования, кабельной продукции и прочих работ;
- оказание экспертной помощи при нормальной эксплуатации, при возникновении неисправностей и аварий — поиск неисправного оборудования с точностью до панели (единицы оборудования), навигация в помещениях и на открытых площадках, указание путей эвакуации и пр. (рис. 11.3.3);
- осуществление функции тренажёра оперативного персонала;
- обеспечение функции наблюдающего при проведении работ на электроустановках;
- первичный контроль состояния здоровья оперативника: измерение пульса, мониторинг усталости, внимания.

Рис. 11.3.3. Демонстрация прототипа ПТК «Умный вид 2.0»

Для реализации данных функций на серверах ПТК «Умный вид 2.0» создаётся электронный архив необходимой рабочей, эксплуатационной, нормативной документации с поддержкой системы классификации документации по технологическим системам, единицам оборудования, помещениям и пр. Система классификации позволяет осуществлять быстрый поиск необходимой документации при помощи интерфейса индивидуального мобильного комплекса отображения информации либо интерфейса мобильных АРМ. Запрошенные данные при этом подгружаются на средства индивидуального отображения информации по беспроводным каналам связи. Для этих целей нашлемные комплексы, например, располагают средствами хранения информации, которые выполнены на базе твердотельных накопителей.

12. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ, СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ

12.1. АО «Россети Управление имуществом»: ИЛЦС — интеллектуальная лаборатория цифровых сетей

Тип проекта:	инфраструктурный
Стадия зрелости:	строительно-монтажные и пусконаладочные работы, запуск пилотных проектов
Применяемые СЦТ:	цифровой двойник, BIM-моделирование

Интеллектуальная лаборатория цифровых сетей (ИЛЦС) — это современный лабораторный комплекс в структуре ПАО «Россети», позволяющий проводить комплексные сертификационные испытания инновационного оборудования, технологий и программного обеспечения с применением инструментов моделирования электрической сети, а также обучать сотрудников электросетевого комплекса и апробировать результаты НИОКР.

Актуальность проекта заключается в создании единого центра для проведения полного цикла комплексных испытаний оборудования.

Цели проекта:

- обеспечение прорывного научно-технологического развития отрасли;
- формирование национальной системы сертификации оборудования для электросетевого комплекса;
- формирование условий для эффективной реализации Концепции «Цифровая трансформация 2030».
- ИЛЦС представляет собой единый комплекс из нескольких лабораторных центров и испытательной сети (рис. 12.1.1).

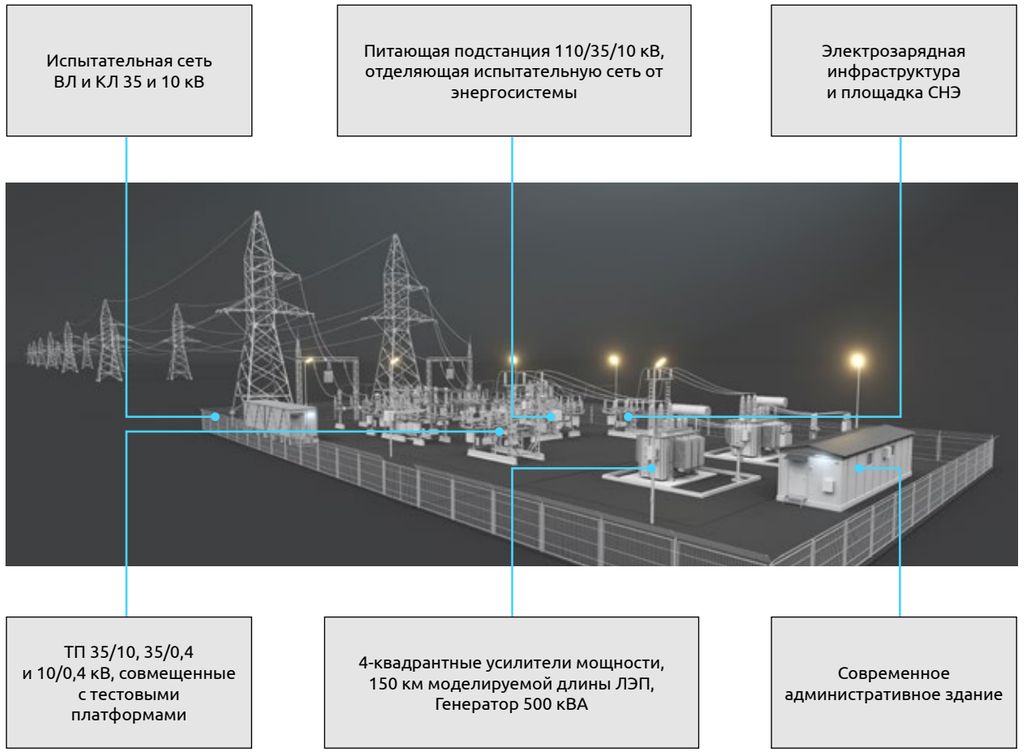
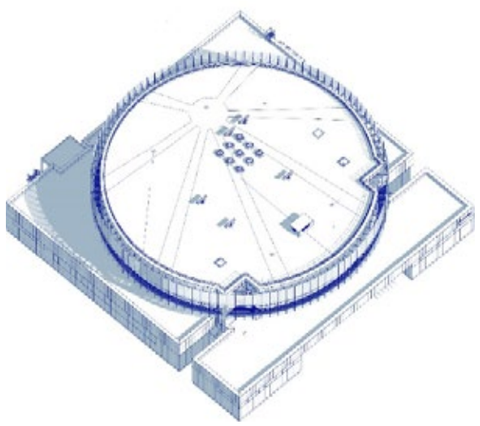


Рис. 12.1.1. Структура лаборатории

Испытательная сеть представляет собой участок электросети 35/10/0,4 кВ, позволяющий смоделировать сеть любой топологии в условиях различных нагрузочных, аномальных и аварийных режимов. Участок электросети подключён к энергосистеме через собственную подстанцию 110 кВ, что полностью исключает влияние на работу действующей электросети.

Лаборатория оснащена уникальными для России 4-квадрантными усилителями, способными подавать и поглощать активную и реактивную мощности до 200 кВА и обеспечивать сопряжение цифровой модели в составе комплекса моделирования реального времени с испытуемым оборудованием.



Управление всеми производственными и испытательными процессами осуществляется из единого *центра комплексных испытаний*. Этот центр обеспечивает функциональные испытания вторичного оборудования и программного обеспечения подстанций и электросетей. Комплекс моделирования, которым оснащён центр, станет самым мощным в России и войдёт в двадцатку мировых комплексов.

В состав *Центра распределённой энергетики* входят станции для зарядки электротранспорта, имитаторы электромобилей и зарядных станций, солнечная электростанция, инфраструктура для систем накопления энергии, имитатор солнечного излучения.

Центр коммуникационных решений обеспечивает проведение испытаний оборудования связи. Центр имеет в своём составе комплект исследовательского и измерительного оборудования для испытаний современных и перспективных систем проводной и беспроводной связи.

В оснащённом по требованиям ФСТЭК *Центре информационной безопасности* доступен полный функционал поиска уязвимостей и недокументированных возможностей оборудования. Также на площадке доступно обучение — отработка практических навыков защиты объекта от кибератак как в режиме имитации, так и с использованием реального оборудования.

Лаборатория электромагнитной совместимости позволяет проводить полный комплекс испытаний на ЭМС в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов.

Лаборатория климатических испытаний позволяет воспроизводить различные климатические условия (тепло, холод, влажность) для испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов.

Лаборатория МЭК 61850 позволяет осуществлять испытания и исследования по направлению международного коммуникационного протокола МЭК 61850. Планируется, что лаборатория станет организационным звеном рабочей группы по развитию Корпоративного профиля МЭК 61850 ПАО «Россети».

Межотраслевые эффекты от запуска ИЛЦС заключаются в снижении технологической зависимости от импорта, развитии фундаментальной науки, создании и развитии востребованных образовательных программ.

Эффекты для электросетевого комплекса состоят в следующем:

- повышение надёжности электросетевого комплекса;
- реализация отраслевых программ импортозамещения;
- оптимизация инвестиционных ремонтных программ;
- открытие возможностей для оказания новых услуг;
- повышение квалификации работников сетевого комплекса.

Эффекты для производителей оборудования и разработчиков технологий:

- проведение исследований, апробация, пилотирование и внедрение технологий в электросетевом комплексе;
- сокращение затрат: отсутствует необходимость проведения испытаний на различных площадках, в том числе зарубежных;
- повышение экспортного потенциала.

12.2. ПАО «Россети Урал»: Система управления дополнительным профессиональным образованием «Россети.Знания»

Тип проекта:	организационный / новые рынки
Стадия зрелости:	тиражирование / масштабирование
Платформа:	СУБД MariaDB, сервер Nginx+PHP8, клиент HTML5+JS, .Net, редактор отчетов FastReport
Применяемые СЦТ:	новые модели и инновации на оптовых и розничных рынках

Актуальность проекта. Учебный центр компании ПАО «Россети Урал» оказывает услуги по дополнительному профессиональному образованию в сфере энергетики на двух учебных площадках в Екатеринбурге и Челябинске, имеет 26 оборудованных лабораторий и реализует более 200 учебных программ. Существующие системы автоматизации и управления деятельностью учебных центров не решали возникающие проблемы, такие как высокие трудозатраты на ручной ввод в различные информационные системы, низкая автоматизация процессов, отсутствие инструментов формирования отчётности, отсутствие синхронизации для передачи сведений в Федеральный реестр сведений документов об образовании (ФРДО) и отсутствие целостной интеграции. В связи с этим актуальной стала разработка собственного решения — системы управления дополнительным профессиональным образованием «Россети.Знания».

Основные цели проекта:

- сокращение расходов за счёт снижения дополнительных затрат на сопровождение;
- снижение трудозатрат персонала к 2024 году за счёт интеграции с информационными системами ПАО «Россети» и работы в едином пространстве;
- получение прибыли от продажи лицензий сторонним организациям.

В **результате реализации** проекта создана комплексная информационная система для управления процессами образовательной организации (учебного центра), которая позволяет реализовать на единой платформе все бизнес-процессы по оказанию услуг обучения и формированию отчётности. Система обеспечивает (см. рис. 12.2.1):

- подготовку учебных программ;
- учёт контрагентов и преподавателей;
- планирование и организацию учебного процесса;
- автоматизацию взаимодействия с корпоративными и государственными системами (не менее десяти на организацию).

Рис. 12.2.1. Автоматизируемые процессы в системе «Россети.Знания»

Система управления образовательным учреждением дополнительного профессионального образования «Россети.Знания» свободно интегрируется с 1С, ФРДО, SAP, рекламными сервисами и сайтами (рис. 12.2.2).

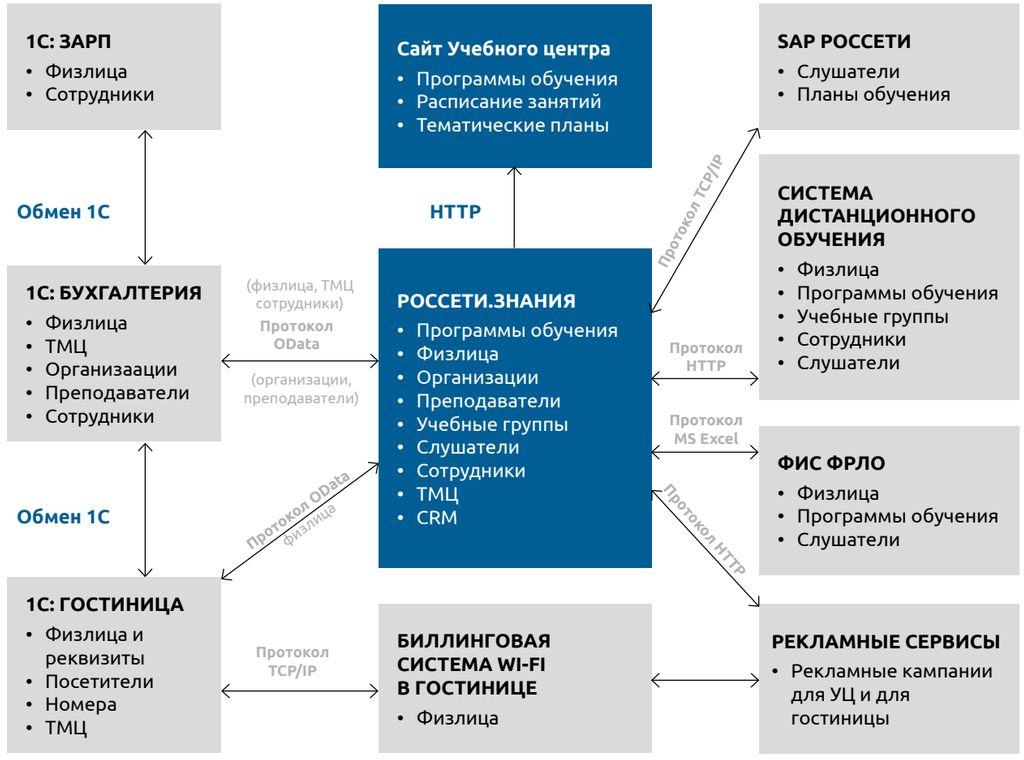


Рис. 12.2.2. Интеграция «Россети.Знания» со смежными системами

Интерфейс программы является интуитивно понятным. Возможности системы позволяют формировать готовые отчеты и планы (рис. 12.2.3).

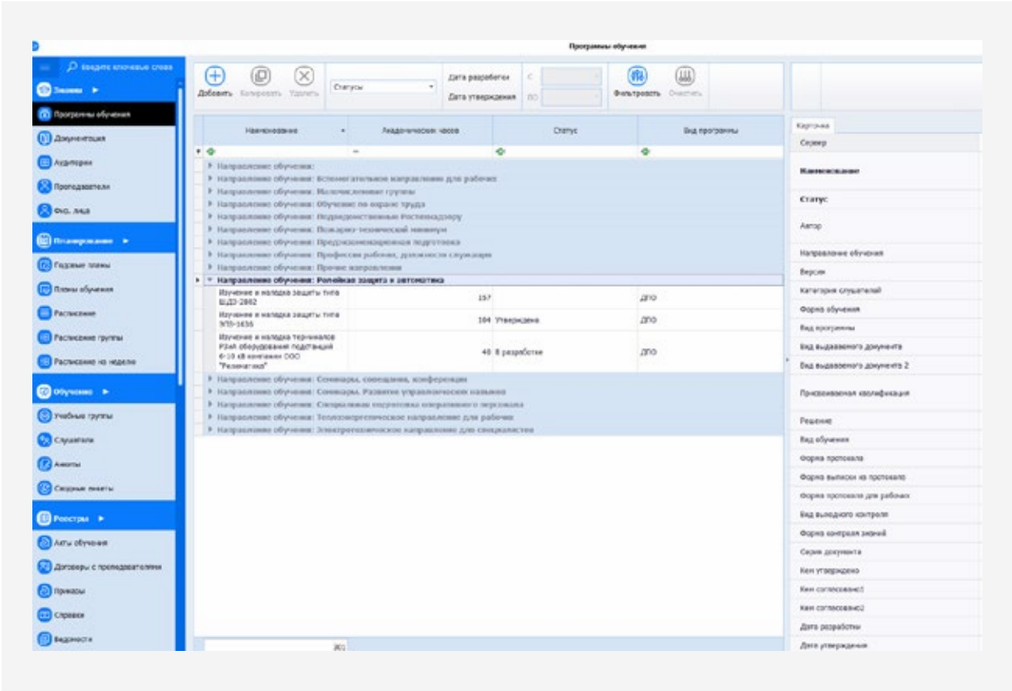


Рис. 12.2.3. Интерфейс «Россети.Знания»

Продукт используется во всех подразделениях ПАО «Россети Урал». К **основным эффектам** от внедрения системы можно отнести то, что на 30% снизились трудозатраты персонала по планированию, обучению и формированию отчётности; до 80% увеличилась автоматизация формирования отчётных форм ПАО «Россети Урал», ПАО «Россети» и Росстата. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ на программный комплекс «Система управления дополнительным профессиональным образованием».

12.3. АО «Россети Янтарь»: Применение технологий дополненной реальности и VR-тренажёров для обучения и повышения квалификации производственного персонала электросетевых компаний

Тип проекта:	новые рынки / цифровая трансформация HR-системы
Стадия зрелости:	введено в эксплуатацию
Платформа:	отечественная межплатформенная среда разработки Unreal Engine
Применяемые СЦТ:	дополненная и виртуальная реальности

VR-тренажер — тренажёрный комплекс с использованием средств виртуальной реальности для подготовки персонала к производству технического обслуживания и ремонта электротехнического оборудования.

Актуальность проекта заключается в возможности отрабатывать сложные технологические задачи на цифровых двойниках конкретных объектов в виртуальном пространстве без приближения персонала к реальному оборудованию, находящемуся в работе. Это позволяет снизить число несчастных случаев и технологических нарушений, а также повысить эффективность подготовки персонала при обучении практическим навыкам выполнения оперативных переключений в нормальных и аварийных режимах работы, обслуживания и ремонта оборудования.

Цели проекта:

- повышение квалификации ремонтного персонала с использованием технологий виртуальной (дополненной) реальности;
- повышение конкурентоспособности компании путём снижения операционных расходов;
- рост нетарифной выручки от предоставления дополнительных сервисов.

На рис. 12.3.1 представлен состав аппаратной части программно-аппаратного комплекса Виртуальной реальности, АРМ персонала и АРМ преподавателя.

Тренажёр включает многопользовательский режим работы (возможность одновременной работы и взаимодействия двух пользователей в смоделированной виртуальной реальности), акустическое подобие звукового сопровождения тренировок, возможность трансляции речи одного тренирующего другому, взаимодействие с виртуальными объектами. Работа персонала осуществляется в режиме «Обучение» с возможностью использования голосового помощника и подсказок, а также в режиме «Экзамен» для проверки правильности действий персонала. Реализована возможность прохождения пользователем всех сценариев как последовательно, так и выборочно. Сценарии и выбор режима

прохождения доступны в главном меню программного комплекса. Интерфейс пользователя показан на рис. 12.3.2.

Рис. 12.3.1. Структура тренажёрного комплекса

Рис. 12.3.2. Интерфейс пользователя при реализации сценариев

VR-оборудование тренажёра сертифицировано и доступно на территории РФ и СНГ, использование системы обучения производится в закрытом архитектурном контуре без вмешательства со стороны сети Интернет, что обеспечивает автономность и бесперебойность работы тренажёра.

Ожидаемые эффекты от внедрения VR-тренажёра:

- снижение уровня травматизма электротехнического персонала;
- сокращение сроков обучения электротехнического персонала;
- оптимизация технологических процессов;
- снижение числа технологических нарушений;
- автоматизированное фиксирование уровня полученных и проверенных знаний в программном обеспечении.

12.4. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: ПАК РВ «Цифровой двойник энергосистемы» и облачная платформа предоставления цифровых сервисов на его основе

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	разработка, внедрение
Платформа:	ЦДЭС
Применяемые СЦТ:	цифровой двойник, мультиагентные системы, технологии машинного обучения, промышленный интернет вещей, облачные технологии, распределённые вычисления, операционные системы реального времени, CIM

Программно-аппаратный комплекс реального времени «Цифровой двойник энергосистемы» (ЦДЭС) — это программно-аппаратный комплекс моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах в режиме реального времени. На базе ПАК РВ «ЦДЭС» разработана облачная платформа для предоставления цифровых сервисов предприятиям электроэнергетической отрасли.

Актуальность проекта ПАК РВ «ЦДЭС» заключается в необходимости использования доверенных систем моделирования, расчёта и анализа схем и режимов энергосистем в условиях усиления санкций и открытого информационного противодействия со стороны недружественных стран. В последнее время для решения различных расчётных задач энергетические компании широко использовали западные технологии (RTDS, PSCAD, PowerFactory, ETAP, Matlab/Simulink, Sincal и др.). Практически все указанные вендоры и продукты ушли с российского рынка. Однако западные технологии до сих пор лежат в основе проведения многих сертификационных и аттестационных процессов. Поэтому создание и внедрение доверенных отечественных комплексов моделирования в реальном времени является актуальной задачей.

Цели проекта:

- обеспечение технологического суверенитета в области создания цифровых систем защиты, автоматики и оперативно-технологического управления электроэнергетическими системами;
- повышение надёжности и эффективности работы энергосистем за счёт повышения качества и эффективности проектных решений, а также решений по оперативно-технологическому управлению;
- повышение уровня подготовки кадров и уровня выполнения научно-исследовательских работ.

Архитектура ПАК РВ «ЦДЭС» и облачной платформы на его основе приведена на рис. 12.4.1 и 12.4.2.

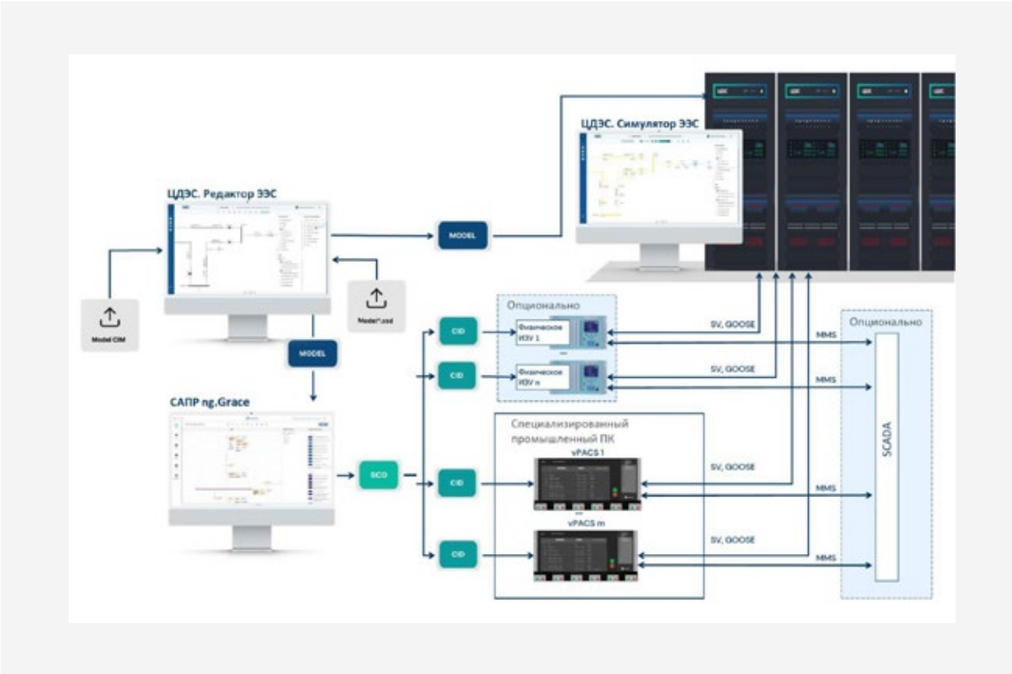


Рис. 12.4.1. Архитектура ПАК РВ «ЦДЭС»

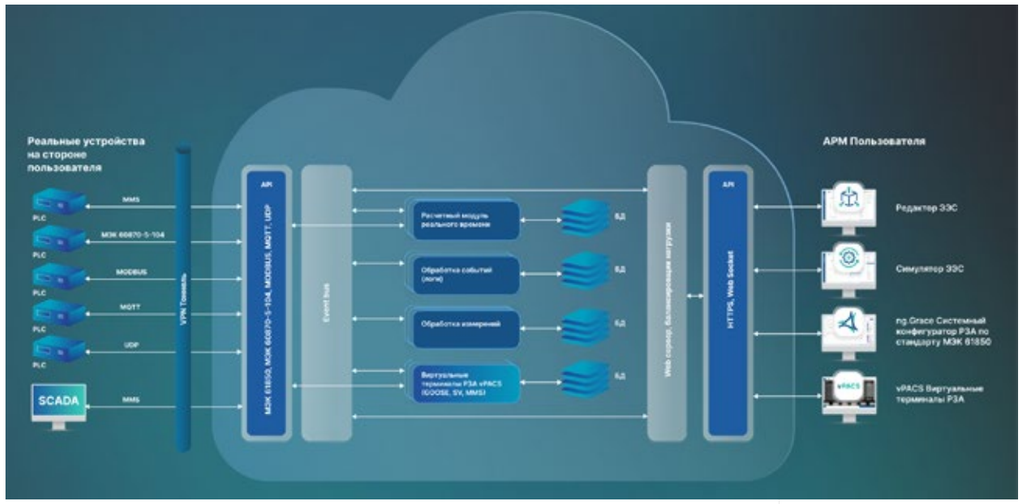


Рис. 12.4.2. Архитектура облачной платформы

ПАК РВ «ЦДЭС» и облачная платформа предоставления цифровых сервисов на его основе позволяют обеспечить выполнение следующих **функций**:

- исследование электромагнитных и электромеханических переходных процессов;
- разработка новых алгоритмов защиты и автоматики;
- разработка новых алгоритмов автоматики распределительных сетей;
- испытания реальных устройств РЗА с поддержкой протоколов GOOSE, SV, MMS по стандарту МЭК 61850 (HIL);
- испытания реальных устройств УСВИ и СМПР (HIL);
- испытания силовых устройств (PHIL);
- моделирование микроэнергосистем с ВИЭ и СНЭЭ;
- создание киберполигонов для оценки киберустойчивости ЭЭС к компьютерным атакам, анализ последствий компьютерных атак;
- создание цифровых двойников ЭЭС = ЭЭ инфраструктура + цифровые системы защиты и автоматики;
- прогнозирование и оптимизация режимов энергосистем в режиме онлайн;
- автоматический адаптивный расчёт уставок РЗА;
- автоматический синтез тестовых сценариев и автоматическая проверка правильности работы функций/устройств РЗА;
- автоматизированное проведение обучения и курсов повышения квалификации;
- оптимальное планирование ТОиР на основе риск-ориентированного подхода;
- мультиагентное моделирование коммерческого взаимодействия субъектов.

12.5. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: САПР «ng.Grace» на базе применения методов искусственного интеллекта для проектирования РЗА и АСУ ТП

Тип проекта:	инфраструктурный / новые рынки
Стадия зрелости:	разработка, внедрение
Платформа:	ng.Grace
Применяемые СЦТ:	искусственный интеллект: методы логического вывода, онтологии, базы знаний

Система автоматизированного проектирования ng.Grace — это программный продукт, предназначенный для автоматического синтеза оптимальных проектных решений по созданию цифровых систем РЗА с разными архитектурами.

Актуальность проекта обусловлена тем, что для разработки оптимальных проектных решений по созданию цифровых систем РЗА и АСУ ТП, особенно при внедрении новых технологий, требуется прорабатывать большое количество возможных вариантов. Экстремальная гибкость и многовариантность применения цифровых технологий делает практически невозможным поиск оптимального решения методом «ручного перебора». Для решения этой задачи требуется создание специального программного комплекса для синтеза оптимального варианта с учётом заданных ограничений и требований НТД. Именно автоматический учёт требований НТД в алгоритмах оптимального синтеза потребовал создания нового способа применения онтологий, баз знаний и методов логического вывода.

Цели проекта:

- снижение количества ошибок и повышение качества проектных решений по созданию цифровых систем защиты и автоматики энергосистем за счёт применения методов искусственного интеллекта;
- реализация на практике концепции порождающего проектирования (generative design);
- создание глобально конкурентоспособного высокотехнологичного продукта с высоким экспортным потенциалом, превосходящего по своим качествам современные и перспективные разработки мировых лидеров отрасли (Siemens, ABB, GE и др.), создание нового отраслевого стандарта.

Отличительной особенностью САПР ng.Grace является применение таких методов искусственного интеллекта, как базы знаний и методы логического вывода для автоматического синтеза алгоритмов, структурно-функциональных схем (схем информационно-технологических систем — ИТС), а также топологии локальных вычислительных сетей (ЛВС) для создания цифровых систем РЗА и АСУ ТП в соответствии с требованиями НТД. При работе с САПР ng.Grace инженеру нужно лишь ввести исходные данные о главной схеме энергообъекта (подстанции), далее САПР ng.Grace автоматически синтезирует состав функций РЗА, выполнит назначение функций РЗА на элементы первичного оборудования, обеспечит привязку функции к трансформаторам тока и трансформатором напряжения, а также к силовым выключателям, автоматически подберёт нужные микропроцессорные терминалы РЗА, разместит в них функции РЗА (рис. 12.5.1), подберёт необходимое сетевое оборудование и построит топологию ЛВС (рис. 12.5.2). После ввода исходных данных, например, путём импорта из CIM-файла, процесс синтеза займёт всего несколько минут. В результате инженер-проектировщик получает набор файлов SCD и CID, а также все необходимые чертежи и спецификации в редактируемых форматах. САПР ng.Grace доступен также в виде веб-сервиса по подписке.

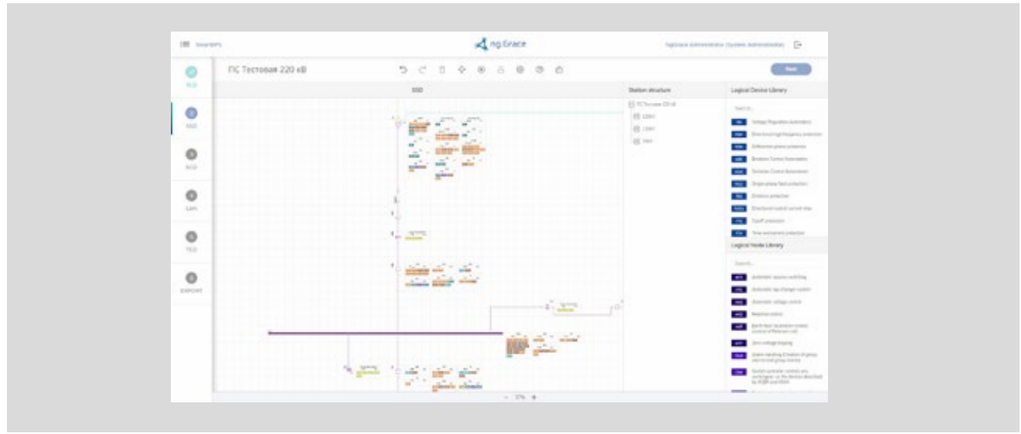


Рис. 12.5.1. Распределение функций РЗА по элементам первичного оборудования

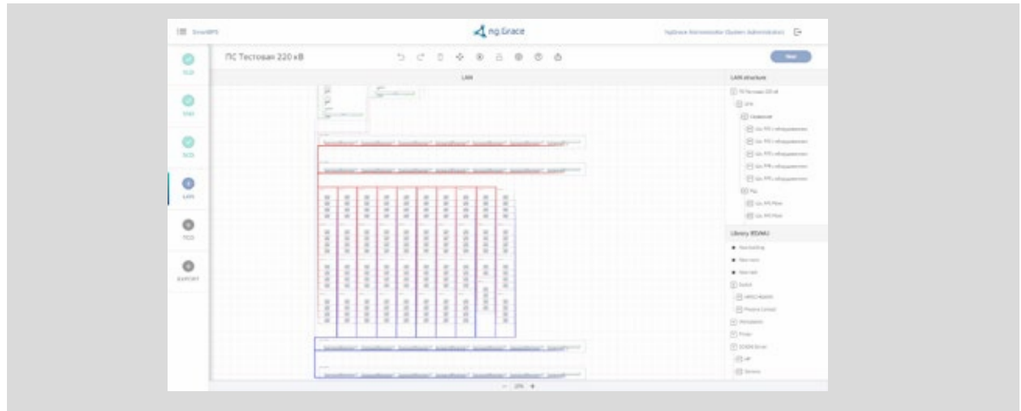


Рис. 12.5.2. Структурная схема ЛВС системы РЗА и АСУ ТП

Важной особенностью ng.Grace является возможность расчёта проектных показателей надёжности и экономичности (CAPEX, OPEX) разрабатываемых проектов. Кроме того, разработанные проектные решения могут быть использованы для создания цифровых двойников терминалов РЗА в ПАК РВ «ЦДЭС», с помощью которого можно провести оценку правильности проектных решений с точки зрения функционирования алгоритмов РЗА в разных схемно-режимных ситуациях и при разных технологических нарушениях (рис. 12.5.3).

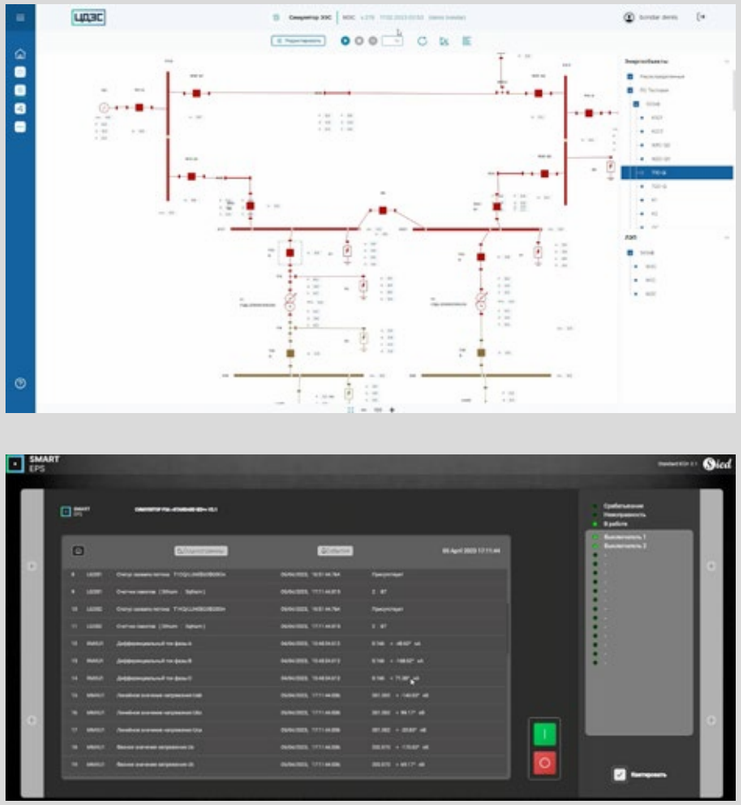


Рис. 12.5.3. Испытание проектных решений, разработанных в ng.Grace, в виде виртуальных терминалов на платформе ПАК РВ «ЦДЭС»

12.6. АО «Концерн Росэнергоатом»: Создание полнофункционального тренажёра для обучения персонала АЭС с применением технологии виртуальной реальности

Тип проекта:	организационный
Стадия зрелости:	тиражирование
Платформа:	Unity
Применяемые СЦТ:	цифровой двойник, виртуальная реальность, дополненная реальность

Актуальность проекта заключается в необходимости повышения безопасности эксплуатации АЭС за счёт повышения качества обучения персонала и снижения затрат на обучение.

Цель проекта — создание эффективной системы обучения технического персонала АЭС на основе технологии виртуальной и дополненной реальности.

Основные цели проекта:

- повышение наглядности и интерактивности инструктажа по программе поддержания квалификации персонала атомной станции и подрядных организаций на технических средствах обучения;
- повышение заинтересованности в прохождении инструктажа (по результатам опроса работников и их руководителей);
- контроль выдачи допусков к работе на электрооборудовании (только после прохождения инструктажа);
- экономия на закупке полномасштабных тренажёров и кастомизация инструктажа под форм-фактор оборудования, действующего на каждой конкретной АЭС.

Архитектура VR-решения приведена на рис. 12.6.1. Практическая реализация осуществляется на базе Unity — кроссплатформенной среды разработки, позволяющей создавать приложения, работающие на различных платформах, включая персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства и другие.

Основные эффекты от внедрения тренажёров с применением технологии виртуальной реальности:

- снижение уровня затрат: сокращение затрат на обучение (VR-тренажёр в 5 раз дешевле физического), возможности масштабирования на разные категории оборудования и тиражирования на все станции дивизиона;
- повышение скорости реакции на изменения (проще поддерживать укомплектованность учебно-тренировочного центра), оперативная модернизация при изменениях в оборудовании или учебных требованиях, возможность разработки тренажёров для любых типов оборудования;
- повышение уровня безопасности: снижение рисков несчастных случаев на производстве, повышение безопасности эксплуатации АЭС и личной безопасности работников, в том числе за счёт отработки сценариев аварийных ситуаций, работы с опасными материалами.

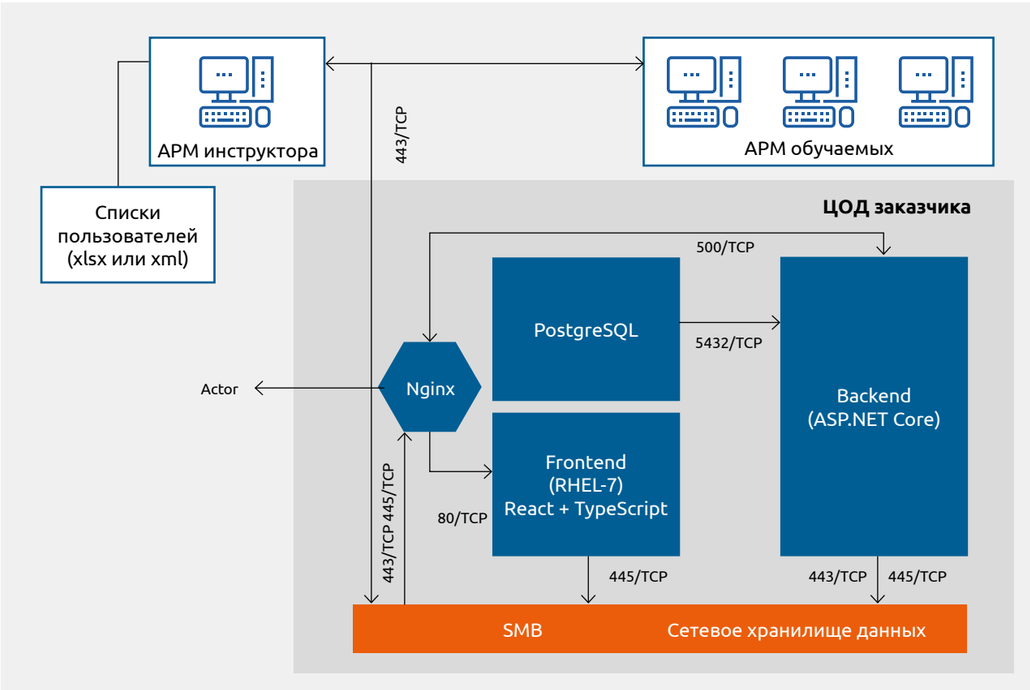


Рис. 12.6.1. Архитектура VR-решения

Кроме того, для оценки эффективности внедрения виртуального тренажера разработан ряд метрик. Измеряются показатели качества обучения (отношение количества ошибок при прохождении сценария в VR-тренажёре и при теоретическом тестировании), успешности интеграции решения в процесс обучения (частота использования тренажёра, количество часов обучения и количество сотрудников, прошедших обучение), а также показатели безопасности и охраны труда (TRIR, LTIF) до и после внедрения виртуального тренажера.

Перспективой развития проекта является создание единой отраслевой VR-платформы. Основные преимущества создания платформы:

- создание единой платформы Росатом VR для обучения персонала;
- замещение физических тренажеров виртуальными (проект VR-тренажёр);
- применение импортонезависимых элементов оборудования и программного обеспечения;
- возможность интеграции с другими корпоративными системами.

Создание единой отраслевой платформы позволит снизить себестоимость обучения за счёт применения новых технологий вместо закупки оборудования технических средств обучения (ТСО) для каждого учебно-тренировочного подразделения (УТП), а также создать централизованную базу ТСО для всех УТП АЭС.

Таким образом, создание единой отраслевой платформы призвано предотвратить острую нехватку ТСО в УТП АЭС, риски срыва обучения персонала АЭС, а также дублирования закупок и расходования средств при оснащении одинаковыми ТСО разных УТП АЭС.

Пример интерфейса VR-платформы показан на рис. 12.6.2.

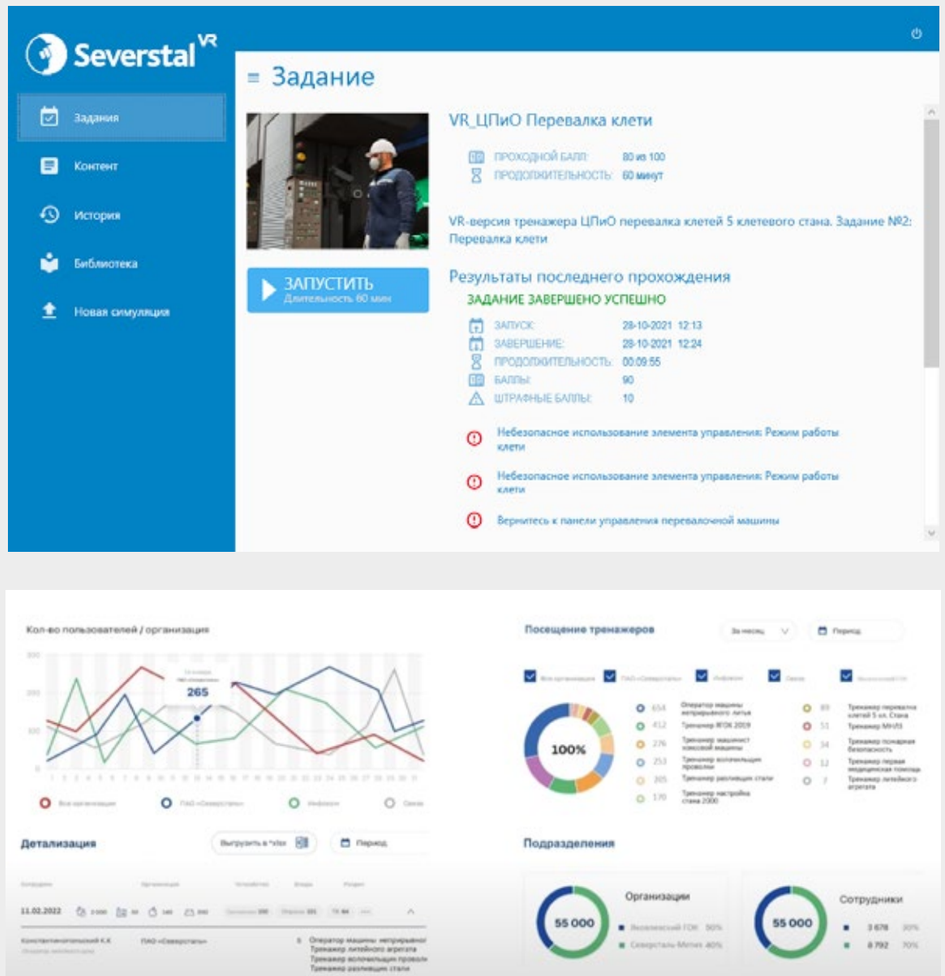


Рис. 12.6.2. Пример интерфейса VR-платформы

12.7. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: Цифровая трансформация образования в электроэнергетике. Опыт подготовки кадров

В 2018 году для магистрантов кафедры РЗА Московского энергетического института стала доступна новая образовательная программа «Интеллектуальные системы защиты, автоматики и управления энергосистемами». Она основана на результатах изучения прогрессивных технологий, которые могут понадобиться отрасли на горизонте до 2030 года.

Работа над образовательной программой велась в течение трёх лет. В первую очередь был сформирован предполагаемый образ будущего и определены технологии, необходимые для его достижения.

Знания, которые вошли в программу, находятся на фронтире прикладной науки. Для их формирования преподаватели проводили поисковые НИОКР, в ходе которых сами получали компетенции, необходимые для дальнейшей работы со студентами.

По сравнению с традиционной программой кафедры РЗиАЭ НИУ «МЭИ» по подготовке специалистов по проектированию, наладке и эксплуатации РЗА, новое направление обеспечивает выпуск разработчиков программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов для цифровых систем защиты и автоматики. Образ выпускника трансформировался из электромонтажника в ИТ-специалиста, обладающего пониманием электроэнергетических процессов.

В рамках программы студенты изучают архитектуру микропроцессорных устройств РЗА, цифровые АСУ ТП, общие информационные модели (CIM), вычислительные комплексы и мультиагентные системы в электроэнергетике.

Особый фокус сделан на дисциплинах, связанных с искусственным интеллектом, машинным обучением, нейронными сетями. Чаще всего выпускники работают над такими объектами, как микроэнергосистемы, где без методов ИИ реализовать многие задачи практически невозможно.

Для нового профиля подготовки потребовались новые методы обучения — более эффективные, чем привычные лекции и лабораторные работы, которые не гарантируют высокий уровень остаточных знаний у выпускников. Кафедра РЗиАЭ перешла к практике учебных «хакатонов»: в начале семестра учащимся ставится задача, и результатом освоения дисциплины является разработка функционирующего прототипа.

Некоторые экзамены также проходят в формате хакатонов. Это означает, что студент должен не просто ответить на ряд теоретических вопросов, а за три-четыре часа разработать программное обеспечение, выполняющее заданную задачу.

Заинтересованные и способные студенты активно вовлекаются в НИОКР, проводимые кафедрой. Таким образом магистры получают опыт практической работы над реальными проектами.

В данный момент профиль подготовки обновляется на горизонте до 2050 года: выработка образа будущего, формирование образовательной программы, обучение студентов — это части единого и постоянного процесса.

Стало очевидным, что в программу должны войти практики информационной безопасности, безопасной разработки ПО, анализа уязвимостей. Основы кибербезопасности энергосистем преподавались с самого начала, однако сейчас выпускникам требуются углублённые знания и дополнительные компетенции, так как на рынке нет специалистов, готовых «под ключ» разрабатывать и внедрять решения и системы обеспечения информационной безопасности для энергообъектов.

В этой связи планируется включение задач по обеспечению информационной безопасности практически во все дисциплины магистерской программы.

Также МЭИ открыт для стажировок преподавателей из сторонних вузов. Предполагается, что этой практикой будут пользоваться учебные заведения, у которых налажено сотрудничество с компаниями электроэнергетической отрасли, заинтересованными во внедрении новейших технологий и интеллектуальных систем РЗА.

Кроме того, ряд дисциплин, входящих в программу, может реализовываться в корпоративных университетах и на курсах повышения квалификации.

Опыт кафедры РЗиАЭ НИУ «МЭИ» был рассмотрен на заседании экспертной группы Ассоциации «Цифровая энергетика». Новая образовательная программа института получила высокие оценки экспертной группы АЦЭ, а доклад был рекомендован к включению в Альманах лучших цифровых практик Ассоциации. Эксперты особо отметили возможность распространения новейших преподавательских компетенций на сторонние вузы.

13. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

13.1. «Лаборатория Касперского»: Решения для выполнения требований регуляторов по защите объектов критической информационной инфраструктуры

Тип проекта:	инфраструктурный, практико-ориентированный
Стадия зрелости:	массовое внедрение
Применяемые СЦТ:	промышленный интернет вещей, технологии машинного обучения, эвристические и поведенческие методы анализа

Актуальность проекта. Устойчивое развитие промышленных предприятий и объектов критической инфраструктуры напрямую зависит от стабильности производственных и бизнес-процессов и защиты важных активов. В эпоху четвёртой промышленной революции число атак на промышленные системы, в частности на системы АСУ ТП, продолжает расти. При этом традиционные решения не способны защитить промышленные среды от новых киберугроз. Постоянно меняющаяся ИБ-реальность и необходимость соответствовать требованиям регулирующих органов побуждают организации к внедрению специализированных средств киберзащиты промышленных инфраструктур. Лаборатория Касперского предлагает набор расширенных защитных технологий на стыке промышленной и корпоративной кибербезопасности для организации защиты объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) и выполнения требований регуляторов.

Цели проекта:

- повышение уровня информационной безопасности АСУ ТП;
- выполнение требований регуляторов по защите объектов КИИ на базе интегрированных продуктов от одного вендора;
- защита как от массовых угроз, так и от целенаправленных атак;
- сертификация решений вендорами АСУ ТП и регуляторами;
- предоставление решений, которые не влияют на технологический процесс.
- Для реализации вышеописанных целей Лаборатория Касперского предлагает три основных продукта (см. рис. 13.1.1):
- SIEM-система Kaspersky Unified Monitoring and Analysis Platform (KUMA);
- решение для мониторинга промышленной сети и анализа трафика на уровне проприетарных протоколов (KICS for Networks);
- решение для защиты рабочих мест в промышленной сети (KICS for Nodes).

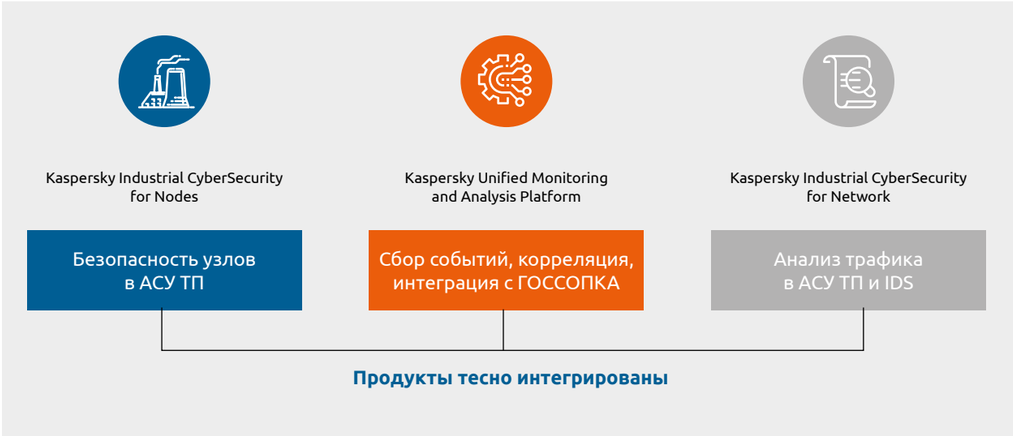


Рис. 13.1.1. Решения Лаборатории Касперского для КИИ

Kaspersky Industrial CyberSecurity (KICS) — это специализированная промышленная XDR-платформа, разработанная для комплексной защиты основных компонентов систем автоматизации и управления производством на всех уровнях. Благодаря нативной интеграции компонентов платформы друг с другом можно централизованно контролировать все разрозненные промышленные сети, рабочие места и системы автоматизации. Это способствует повышению осведомлённости о ситуации и более эффективному противодействию сложным угрозам.

XDR-платформа состоит из двух взаимодополняющих компонентов. KICS for Nodes защищает промышленные рабочие места, в то время как KICS for Networks следит за безопасностью промышленных сетей. Пассивный мониторинг помогает собирать данные, не перегружая сеть и не оказывая нежелательное воздействие на чувствительные компоненты АСУ ТП. Возможность активного опроса сети позволяет быстро и точно собирать данные о топологии сетей и настройках. Функция аудита рабочих мест помогает гарантировать соблюдение политик безопасности, включая безопасность текущих настроек, и организацию процесса выявления и митигации уязвимостей.

Благодаря тесной интеграции с SIEM-системой Kaspersky Unified Monitoring and Analysis Platform (KUMA) платформа Kaspersky Industrial CyberSecurity позволяет реализовывать больше сценариев взаимодействия с решениями сторонних поставщиков и расширить действия по расследованию и реагированию. Это также позволяет защищать бизнес не только в промышленной среде, но и в той части, где промышленная среда пересекает-

ся с корпоративной, за счёт тесного взаимодействия с корпоративной XDR-платформой Kaspersky Symphony XDR.

Применение XDR-платформы KICS и SIEM-системы KUMA (совместно с организационными мерами) позволяет реализовать **80% всех мер** приказа ФСТЭК №239 и приказа ФСТЭК №31, а также **84% базового набора мер** для объектов КИИ **третьей** категории значимости (см. рис. 13.1.2).

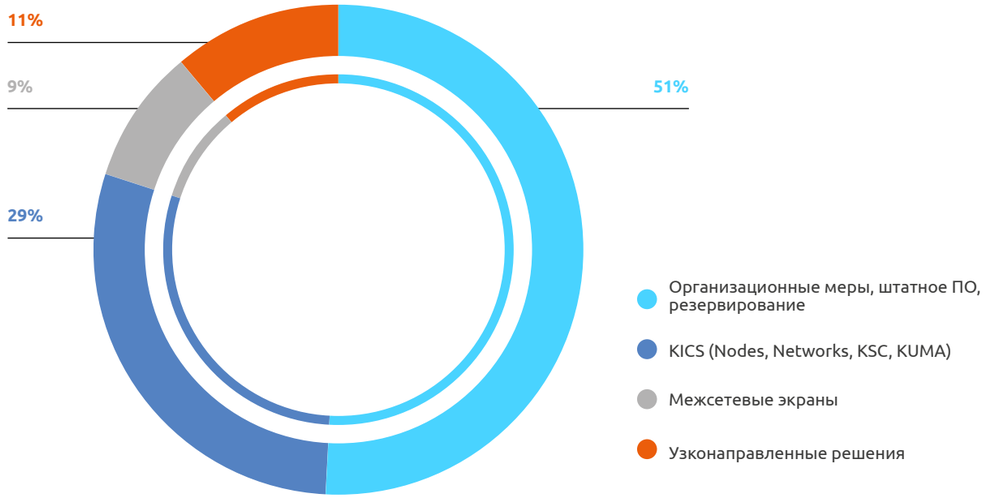


Рис. 13.1.2. Закрытие мер приказа ФСТЭК № 239

Ожидаемые эффекты от внедрения:

для бизнеса:

- выполнение требований регулятора в части защиты КИИ, покрытие мер Приказов ФСТЭК России №239 и №31;
- предотвращение отказов, аварий, незапланированных простоев промышленного оборудования;
- снижение трудозатрат сотрудников ИБ на работу со средствами информационной безопасности от одного поставщика за счёт нативной интеграции решений и автоматизации рутинных процессов;

для населения:

- стабильное качество обслуживания населения, то есть предотвращение незапланированных остановок промышленных объектов, защита от кибератак и действий внутренних нарушителей;
- *общий эффект:* повышение уровня информационной безопасности производственных объектов.

13.2. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: роль и место международных стандартов в разработке технологий доверенных и технологически независимых программно-аппаратных комплексов объектов критической информационной инфраструктуры электроэнергетики

В.Г. Карантаев

Проблема обеспечения кибербезопасности и устойчивости функционирования автоматизированных систем управления (АСУ) субъектов электроэнергетики обусловлена результатами исследований[22], в которых оценивались возможности *нарушения устойчивости функционирования и наступления киберфизических последствий*, а также актуальной моделью угроз и нарушителя.

Учитывая поставленную задачу по разработке доверенных и технологически независимых программно-аппаратных комплексов (ПАК), решение которой должно привести к выбору иных по отношению к текущему периоду набору аппаратных и программных технологий, актуальным представляется рассмотреть в качестве основной концепции для построения устойчивых к компьютерным атакам отраслевых АСУ подход, называемый «нулевое доверие» (zero trust).

Модель «нулевого доверия» предоставляет набор концепций и идей, предназначенных для уменьшения неопределённости при принятии точных решений о доступе по запросу в системах и услугах в условиях сети, *рассматриваемой как скомпрометированная*. Концепция «нулевого доверия» является отражением принятой высокоуровневой модели угроз, которая имеет следующие основные положения:

- внутри любого логического периметра компьютерная, технологическая телекоммуникационная сеть (среда) является *по умолчанию недоверенной;*
- существует *актуальность наличия внутреннего нарушителя* в любой информационной, информационно управляющей, автоматизированной, автоматической системе.

С практической точки зрения реализация данного подхода возможна за счёт применения принципа многоуровневой защиты и эффективного комбинирования наложенных и встроенных средств защиты информации (СЗИ):

- реализации модели безопасности на уровне объекта (цифровой подстанции, ЦПС);
- реализации модели безопасности на уровне каждого типа EndPoint: АРМ, сервер, терминал РЗА, контроллер присоединения, активное сетевое оборудование всех уровней;
- обеспечения доверенных коммуникаций, в том числе внутри логического периметра объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ);
- массового внедрения разработчиками систем и комплексов практик безопасной разработки (Security Development Lifecycle, SDL);
- разработки и внедрения эффективных и достоверных методик оценки соответствия.

В процессе разработки доверенных и технологически независимых ПАК как минимум необходимо применить:

- российские центральные процессорные устройства (ЦПУ) и микроконтроллеры (МК);

22 Карантаев В.Г., Карпенко В.И. Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики вследствие кибератак // Connect Wit. 2020. № 1–2. С. 11–12.

- защищённые встраиваемые операционные системы реального времени;
- аутентификацию устройств;
- идентификацию и аутентификацию пользователей устройств;
- доверенную загрузку устройств;
- доверенные обновления;
- встроенный межсетевой экран;
- журналирование событий безопасности;
- контроль целостности ПО устройства;
- защищённые протоколы обмена (TLS, защищённый МЭК 104, OPC UA);
- обеспечение неотказуемости для данных, передаваемых устройством;
- удалённую аттестацию устройств.

Практическая реализация или хотя бы апробация предлагаемой концепции «нулевого доверия» сопряжена со следующим рядом ограничений:

- отсутствие нормативных и организационно-технических предпосылок к использованию концепции «нулевого доверия» на уровне технологических систем;
- отсутствие нормативно-технического регулирования на уровне национальных стандартов в областях:
  - *проектирования и разработки встроенных механизмов защиты в компоненты АСУ и систем автоматического управления (САУ) объектов КИИ электроэнергетики на уровнях модулей ЦПУ и МК, встроенного системного ПО и ПО, осуществляющего доверенную загрузку, а также системного ПО уровня защищённой встраиваемой операционной системы (ОС);*
  - *проектирования и разработки криптографически защищённых отраслевых протоколов МЭК 61850, МЭ 60870-5-104 и др.;*
- недостаточность отраслевых требований и практических рекомендаций в области разработки безопасного ПО;
- отсутствие апробированных технических решений по созданию высокоавтоматизированных объектов электроэнергетики с развитыми встроенными механизмами защиты, включая криптографически защищённые протоколы;
- дефицит отраслевых специалистов, способных разрабатывать и эксплуатировать системы и комплексы с указанными свойствами, в том числе с использованием криптографических средств, а также отраслевых специалистов в области разработки безопасного ПО.

Меры, способствующие формированию технических требований по реализации концепции «нулевого доверия», заключаются в критическом анализе международных нормативно-технических документов МЭК и ИСО, апробации предлагаемых подходов с использованием отечественных технологий безопасности.

В первую очередь, необходимо сосредоточиться на анализе и апробации положений нормативно-технических документов (НТД), ориентированных на разработчиков доверенных и технологически независимых ПАК (см. рис. 13.2.1).

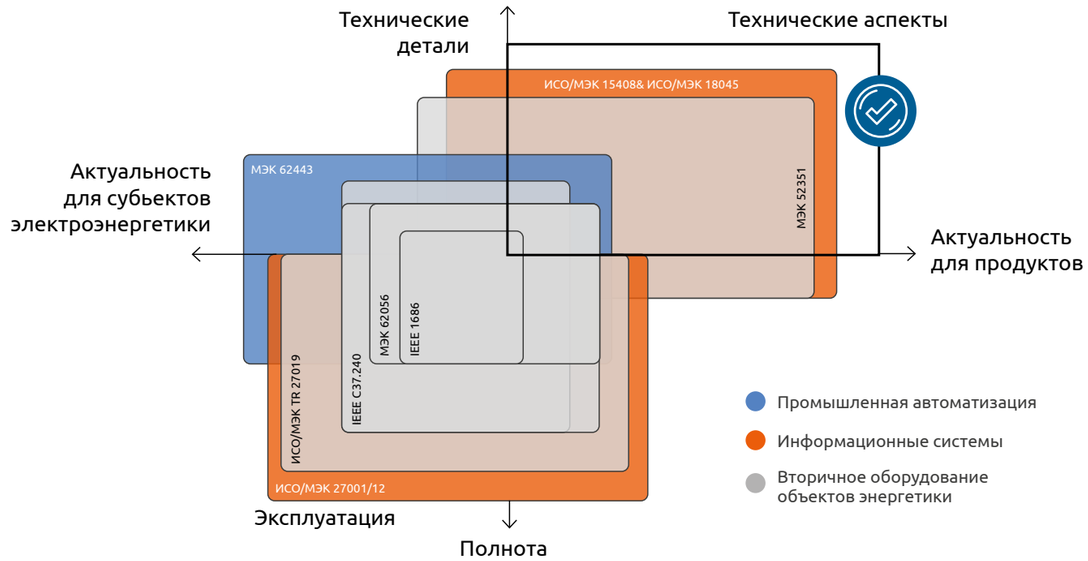


Рис. 13.2.1. НТД для разработчиков доверенных и технологически независимых ПАК

Наибольшее влияние на построение доверенных объектов КИИ могут оказать следующие стандарты:

- серия МЭК 62443;
- серия МЭК 62351;
- IEEE 1686;
- ISO/IEC 11889-1:2015.

Оценка соответствия функциональности в соответствии с МЭК 62351 может быть реализована несколькими способами.

Первый вариант — оценка соответствия на уровне библиотек индустриальных протоколов МЭК 61850, МЭК 60870-5-101/104, IEEE 1815 (DNP3).

Второй вариант — совместная оценка соответствия требованиям МЭК 62443-4-1/2 как техническая реализация конкретных требований технических условий.

Третий вариант — оценка соответствия на уровне отдельных частей МЭК 62351, которые напрямую не зависят от индустриальных протоколов (МЭК 62351-3, МЭК 62351-8, МЭК 62351-9, МЭК 62351-14).

К значимым ограничениям *при применении и адаптации международных НТД в России стоит отнести:*

- трудности технической реализации отраслевых криптографически защищённых протоколов с необходимым уровнем нефункциональных свойств (МЭК 61850 MMS и GOOSE);
- недостаточное финансирование работ по адаптации международных НТД в РФ;
- ограниченные возможности по апробированию технологий безопасности, встроенных в отраслевые АСУ и САУ: доступ к НИОКРам в энергокомпаниях по вопросам кибербезопасности организуется сложно.

В 2023 году Лабораторией практической кибербезопасности Центра компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ» был проведён ряд инициативных исследовательских работ по разработке криптозащищённых протоколов GOOSE и MMS стандарта МЭК 61850. Разработаны прототипы криптографически защищенных протоколов MMS (с использованием криптографического протокола TLS 1.2) и протокола GOOSE (с использованием крипто-

графической библиотеки OpenSSL). Прототипы защищённых протоколов протестированы на специально созданном стенде ИЭУ РЗА и АСУ ТП ЦПС. В результате установлено, что применение криптографических методов защиты *не оказывает отрицательного влияния* на работу MMS и GOOSE, отраслевые требования соблюдаются. В 2024 году планируется реализация прототипов криптографически защищенных протоколов MMS и GOOSE на базе отечественных криптографических алгоритмов.

Предпосылками к успешной реализации этих планов являются успехи в развитии отечественных криптографических алгоритмов и коммерческих продуктов ряда отечественных вендоров. В 2019 году криптонаборы для TLS 1.2, основанные на российских криптографических алгоритмах, получили официальные номера IANA (Internet Assigned Numbers Authority — администрация адресного пространства Интернет):

- TLS_GOSTR341112_256_WITH_KUZNYECHIK_CTR_OMAC – 0xC1, 0x00;
- TLS_GOSTR341112_256_WITH_MAGMA_CTR_OMAC – 0xC1, 0x01;
- TLS_GOSTR341112_256_WITH_28147_CNT_IMIT – 0xC1, 0x02.

Один из этих криптонаборов определен в методических рекомендациях МР 26.2.001-2013 «Использование наборов алгоритмов шифрования на основе ГОСТ 28147-89 для протокола безопасности транспортного уровня (TLS)». Этот криптонабор повсеместно используется в российском сегменте Интернет. Два других описаны в Рекомендациях по стандартизации Р 1323565.1.020-2018 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Использование криптографических алгоритмов в протоколе безопасности транспортного уровня (TLS 1.2)», введённых в действие с 1 февраля 2019 года приказом Росстандарта от 22.08.2018 № 511-ст.

В 2020 году криптонаборы для TLS 1.3, основанные на российских криптоалгоритмах, получили официальные номера IANA:

- TLS_GOSTR341112_256_WITH_KUZNYECHIK_MGM_L – 0xC1,0x03;
- TLS_GOSTR341112_256_WITH_MAGMA_MGM_L – 0xC1,0x04;
- TLS_GOSTR341112_256_WITH_KUZNYECHIK_MGM_S – 0xC1,0x05;
- TLS_GOSTR341112_256_WITH_MAGMA_MGM_S – 0xC1,0x06.

Данные протоколы описаны в Рекомендации по стандартизации Р 1323565.1.030-2018 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Использование российских криптографических алгоритмов в протоколе безопасности транспортного уровня (TLS 1.3)», введённых в действие с 1 июня 2020 года приказом Росстандарта от 27.02.2020 № 84-ст.

К основным выводам можно отнести следующее.

Анализ международных стандартов показал, что следующие стандарты серий МЭК 62351 и МЭК 62443 целесообразно адаптировать и применять в РФ при разработке экспортопригодных ИЭУ РЗА, а также в качестве лучших практик формирования требований к механизмам защиты:

- IEC 62351-4 Security for profiles including MMS and derivatives;
- IEC 62351-6 Security for IEC 61850 profiles;
- IEC 62351-8 Role-Based Access Control;
- IEC 62351-14 Cyber Security Event Logging;
- IEC 62443-4-1 Secure product development lifecycle requirements;
- IEC 62443-4-2:2019 Technical security requirements for IACS components.

Целесообразно подготовить документ, сравнивающий требования национального стандарта ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования» и МЭК 62443-4-1. Эту работу можно организовать во взаимодействии технических комитетов ТК 016, ТК 26, ТК 362, ТК 167 Росстандарта, включив в План национальной стандартизации Росстандарта.

13.3. Центр компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ»: системы искусственного интеллекта в вопросах управления устойчивостью функционирования высокоавтоматизированных объектов электроэнергетики

В.Г. Карантаев

В отечественной электроэнергетической отрасли наблюдается многолетняя тенденция роста числа высокоавтоматизированных объектов электроэнергетики и увеличения доли микропроцессорных устройств РЗА. При этом они подвергаются рискам компьютерных атак в условиях растущего потенциала нарушителей и дефицита специалистов в областях информационной и кибербезопасности. Таким образом, актуальным является проведение исследований и инициирование практических разработок рекомендательных и интеллектуальных систем поддержки принятия решений для управления надёжностью и кибербезопасностью данных устройств и объектов. Кроме того, такие исследования и разработки способствуют соблюдению требований нормативно-правовых актов:

- действующего нормативно-правового регулирования, направленного на обеспечение безопасности функционирования объектов критической информационной инфраструктуры РФ;
- приказа Минэнерго России от 13.02.2019 № 101 «Об утверждении требований к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики»;
- задач Национальной стратегии развития искусственного интеллекта и федерального проекта «Искусственный интеллект».

В рамках программы исследований Лаборатории практической кибербезопасности Центра компетенций НТИ на базе НИУ «МЭИ» были разработаны:

- комбинированный способ моделирования угроз кибербезопасности интеллектуальных электронных устройств РЗА цифровых подстанций (ЦПС);
- методика оценки показателей функциональной надёжности интеллектуальных электронных устройств РЗА ЦПС в условиях влияния компьютерных атак;
- способ управления уязвимостями программного обеспечения интеллектуальных электронных устройств РЗА ЦПС;
- структура программно-аппаратного комплекса для управления надёжностью и кибербезопасностью интеллектуальных электронных устройств РЗА ЦПС.

Разработанный программно-аппаратный комплекс интеллектуальной системы поддержки принятия решений «Управление надежностью и кибербезопасностью» (ИС СППР УНКБ) с применением семантических технологий искусственного интеллекта позволит на практике автоматизировать процесс использования полученных оригинальных способов моделирования угроз, методики оценки частных показателей функциональной надёжности и способа управления уязвимостями для максимизации коэффициента готовности интеллектуальных электронных устройств РЗА ЦПС при минимизации простоев силового оборудования и ресурсов ремонтных бригад.

Внедрение и применение ИС СППР УНКБ предполагается в существующем ландшафте отраслевых систем (см. рис. 13.3.1), таких как оперативно-информационные комплексы (ОИК), системы оперативного журнала (ОЖУР) и системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ).

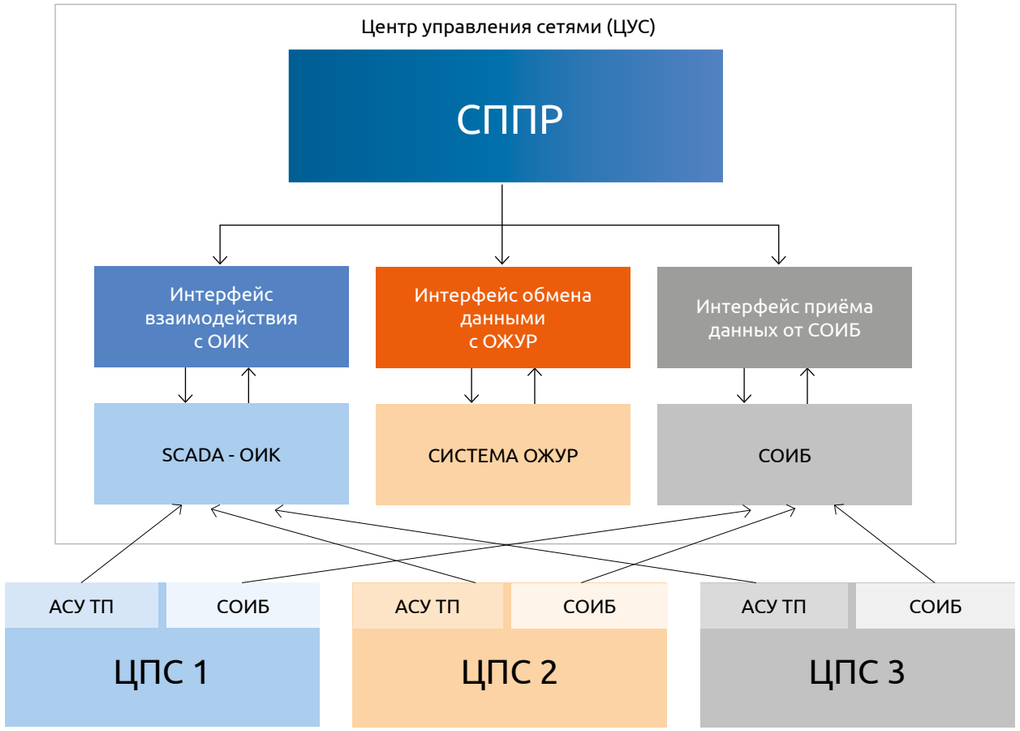


Рис. 13.3.1. Место ИС СППР УНКБ в существующем ландшафте отраслевых систем

По теме исследований и разработки ИС СППР УНКБ опубликовано две статьи в журнале «Релейная защита и автоматика» (входит в перечень ВАК) и две статьи в научных изданиях, индексированных в базе данных Scopus. Основные результаты также доложены на всероссийских и международных научно-технических конференциях «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики им. Ю.А. Руденко», РЕЛАВЭКСПО-2021, РЕЛАВЭКСПО-2023, Релейная защита и автоматика энергосистем — 2023, SUSE-2021, IEEE RPA — 2022. Оригинальность полученного результата подтверждается полученным патентом Российской Федерации на изобретение № 2798437 «Программно-аппаратный комплекс системы поддержки принятия решений по управлению подсистемой релейной защиты и автоматики цифровой подстанции в условиях проведения в отношении неё компьютерных атак».

Основные эффекты от применения ИС СППР УНКБ в электроэнергетической отрасли:

- сокращение длительности принятия решений о действиях инженерного персонала для работ по управлению уязвимостями опасных производственных объектов;
- повышение устойчивости интеллектуальных электронных устройств РЗА при проведении в отношении них компьютерных атак;
- сокращение ресурсов для обеспечения транспортировки инженерного персонала;
- повышение надёжности электроснабжения в подведомственном районе.

14. ВНЕДРЕНИЕ ОБЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ СТАНДАРТОВ CIM В ЕЭС РОССИИ

14.1. АО «СО ЕЭС»: CIM в задачах планирования и перспективного развития электроэнергетических систем

Введение. АО «СО ЕЭС» использует множество приложений и систем для решения задач оперативного, краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного планирования. В каждой из них до недавнего времени использовались собственные структура данных и информационная модель. Исторически сложилось так, что эти приложения и системы либо совсем не обменивались данными, либо использовали интеграцию «точка-точка».

Объём информации постепенно увеличивался, уточнялась методология расчетов и управления. Одним из примеров таких уточнений является использование больших массивов данных по зависимости предельного тока ЛЭП и оборудования от температуры, зависимости положений ответвлений устройств регулирования напряжения трансформаторного оборудования, а также зависимости предельных перетоков мощности от ряда других влияющих факторов.

В качестве альтернативы двухточечной интеграции в последние годы стали использоваться шина данных (Enterprise Service Bus) или мастер-модель (Master Data Model). По данным исследования Ассоциации системных операторов крупнейших энергосистем (GO15), на 2022 год 90% участников использовали мастер-модель, и у 50% из них эта модель основывалась на стандартах CIM[23] Методология планирования и соответствующая информационная инфраструктура особенно сложны в странах с иерархической структурой оперативно-диспетчерского управления, таких как Бразилия и Россия. В этом случае двухточечная интеграция не всегда возможна и, как правило, требуются дополнительные инструменты для снижения размерности мастер-модели под конкретные деловые процессы.

В 2016 году в АО «СО ЕЭС» создана единая мастер-модель ЕЭС России на базе стандартов CIM, которая используется для целей оперативного управления, анализа диспетчерских заявок и планов ремонтов, оценки состояния и других процессов в 57 диспетчерских центрах трёхуровневой иерархической структуры диспетчерского управления. Мастер-модель на основе стандартов CIM позволила упростить интеграцию внешних систем, обеспечить беспрецедентное качество данных и их одновременное обновление для всех основных приложений во всех диспетчерских центрах. Каждый из 57 диспетчерских центров имеет возможность использовать актуальную детализированную модель смежной энергосистемы, что повышает точность расчётов и избавляет от дополнительных запросов информации. Одновременно был разработан и внедрён инструмент, позволяющий уменьшить размер-

23 Working Group SWG-2 GO15 «Key studies in CIM usage among GO15 members». September, 2022.

ность модели под конкретную технологическую задачу. Такие инструменты работают на основе заранее разработанных правил и делают процесс построения расчётных моделей более автоматизированным, то есть не требующим регулярной поддержки.

В соответствии с изменениями в федеральном законодательстве, вступившими в силу 1 января 2023 года, АО «СО ЕЭС» стало ответственным за процесс планирования развития ЕЭС России, а с 1 января 2024 года — и территориально изолированных энергосистем. Немаловажными в новой модели перспективного развития электроэнергетики являются изменения в части разработки расчётных моделей и информационного обмена, рассмотренные ниже.

Новый процесс среднесрочного и долгосрочного планирования. С 1 января 2023 года вступила в силу новая система среднесрочного и долгосрочного планирования развития ЕЭС России. На место самостоятельной разработки программ развития каждым российским регионом пришёл централизованный процесс.

Вместо прежних трёх уровней планирования, теперь процесс состоит из двух: верхнего — Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики на 18 лет — и более детальной Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 6 лет.

Долгосрочная Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики на 18 лет является стратегическим документом, определяющим основные векторы развития отрасли и будущую рациональную структуру генерации в энергосистеме, включая вопросы интеграции ВИЭ и перехода к низкоуглеродной энергетике. Все проекты по строительству и реконструкции гидроэлектростанций и атомных станций длительностью более 10 лет также должны быть включены в Генеральную схему.

Среднесрочная Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 6 лет включает в себя планы развития генерации и сетей 110 кВ и выше по всей стране.

Процесс разработки документов перспективного развития достаточно сложен и включает в себя, помимо прочего, значительное количество технических расчётов, оценку и анализ технической целесообразности и экономической эффективности строительства новых объектов и вывода из эксплуатации старых. Как основной ответственный орган и ключевой центр компетенций по перспективному планированию энергосистемы, АО «СО ЕЭС» ставит перед собой важнейшую цель — непрерывно повышать согласованность, целостность и сбалансированность среднесрочных и долгосрочных планов для удовлетворения потребностей социально-экономического развития. Достижение этой цели практически невозможно без проведения расчётов технической целесообразности и экономической эффективности строительства новых и вывода из эксплуатации старых энергообъектов. Для проведения расчетов АО «СО ЕЭС» должно подготовить перспективные цифровые информационные модели (ПИМ) энергосистем на шестилетний период и соответствующие перспективные расчётные модели (ПРМ). ПИМ включает информацию о всех энергообъектах 110 кВ и выше и электростанциях установленной мощностью 5 МВт и более. ПРМ строятся на основе ПИМ с использованием топологического процессора и специальных алгоритмов, обеспечивающих ограничение размерности модели и эквивалентирование электрической сети под конкретную задачу.

CIM для среднесрочного и долгосрочного планирования. Важным изменением в новой модели перспективного развития электроэнергетики стала обязанность АО «СО ЕЭС» раскрывать в соответствии с Приказом Минэнерго РФ от 17.02.2023 №82 данные ПИМ и предоставлять ПРМ владельцам оборудования и проектным организациям для целей перспективного развития энергосистем. Для проектных организаций исключены процессы сбора информации, необходимой для формирования расчётных моделей, последующего согласования моделей с Системным оператором и устранения замечаний к ним.

Одним из вопросов для новой системы среднесрочного и долгосрочного планирования стал выбор оптимального открытого формата для обмена данными информационных и расчётных моделей. Согласно Постановлению Правительства РФ от 30.12.2022 №2557, в качестве унифицированной технологии обмена данными ПИМ были определены стандарты CIM (ГОСТ Р 58651). Однако, что касается расчётных моделей, то исторически сложилось, что эксплуатируемое в энергокомпаниях, а также в проектных организациях программное обеспечение, как правило, не поддерживает стандарты CIM. Кроме того, действующие в РФ стандарты CIM требуют дополнения сущностями, необходимыми для выполнения расчётов установившегося режима, токов короткого замыкания и динамической устойчивости. Такие дополнения запланированы программами национальной стандартизации на 2023–2024 годы. Поэтому переход на использование открытого и унифицированного формата передачи расчётных моделей отложен до 2027 года.

Согласно Приказу Минэнерго РФ от 17.02.2023 №82, Системный оператор обеспечил возможность раскрытия ПИМ в соответствии со стандартами CIM уже в 2023 году. В соответствии с Приказом Минэнерго РФ от 20.12.2022 №1340 владельцы объектов электросетевого хозяйства и объектов по производству электрической энергии будут участвовать в процессе подготовки ПИМ либо путём передачи информации в формате CIMXML, либо посредством использования специализированного веб-портала АО «СО ЕЭС». Процесс взаимодействия компаний при разработке ПИМ и ПРМ показан на рис. 14.1.1 (представлен вариант предоставления информации в формате CIMXML).

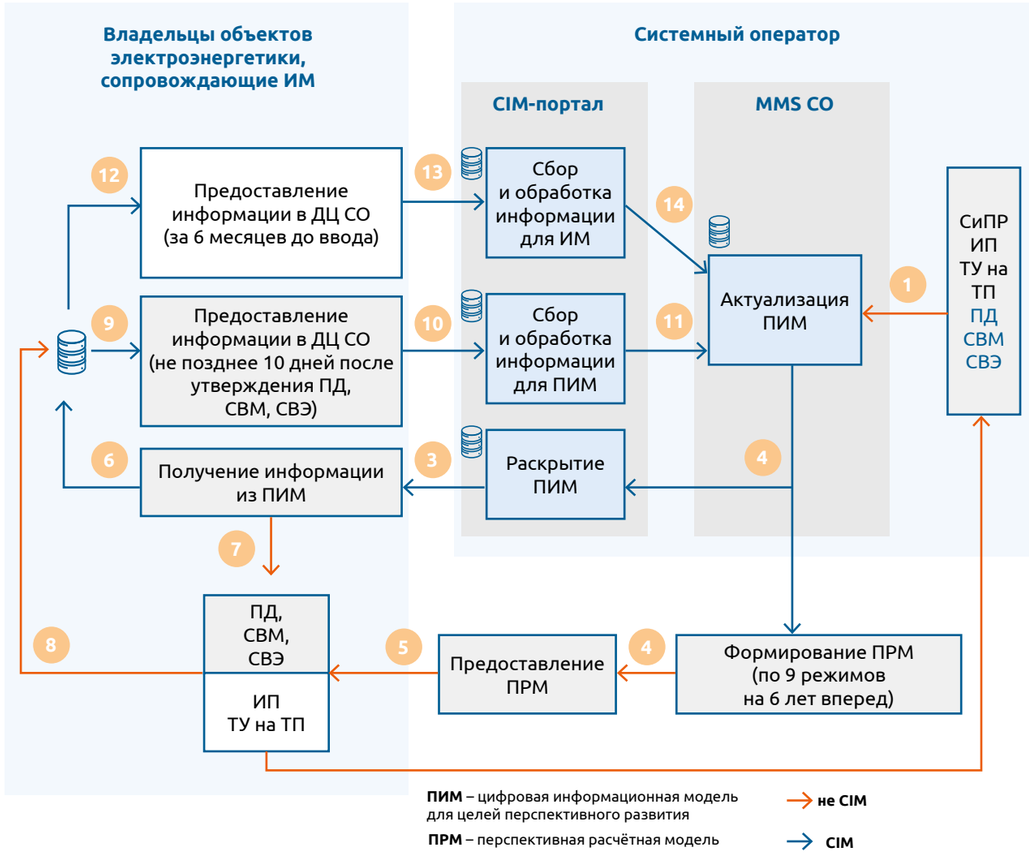


Рис. 14.1.1. Процесс создания моделей на период с 2024 до 2027 годы

Перспективные информационные модели для целей шестилетнего планирования. ПИМ были разработаны на основе Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 6 лет. Схема переутверждается только раз в год, однако достоверная информация необходима ежемесячно, например, при подготовке проектной документации на строительство электростанции. Таким образом, раз в год происходит детальный пересмотр ПИМ, а в течение года они раз в месяц обновляются в соответствии с актуальной поступающей информацией.

Процесс создания ПИМ включает три шага (показан на рис. 14.1.2). На первом шаге РДУ на основании поступившей в предыдущем месяце информации вносят изменения в части объектов электроэнергетики, расположенных в операционной зоне РДУ, и направляют эти изменения в ОДУ.

Рис. 14.1.2. Управление моделированием

На втором шаге ОДУ объединяют части модели, полученные от РДУ, и добавляют данные, полученные от системных операторов соседних стран. После верификации данных ОДУ направляют изменения в ЦДУ. На третьем шаге ЦДУ объединяет части модели, полученные от ОДУ, осуществляет верификацию и анализ целостности модели, распространяет обновления модели среди всех диспетчерских центров.

Обмен данными происходит в соответствии со стандартами CIM[24,25]. Для упрощения и автоматизации процесса все изменения в модели, планируемые на определённый год в прогнозном периоде, автоматически экстраполируются на последующие годы. Например, если АО «СО ЕЭС» получает информацию об оборудовании новой подстанции, которая планируется к вводу в 2024 году, то данные о ней будут включены в перспективную модель на 2024 год и экстраполированы на 2025, 2026 годы и т.д. При этом ответственные за внесение информации сотрудники должны только убедиться, что введённая информация не противоречит другим ранее внесённым изменениям.

24 Серия ГОСТ Р 58651.

25 IEC 61970-552 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 552: CIMXML Model exchange format ed2.0, 2016

ПРМ разрабатываются на основе ПИМ с использованием данных о прогнозном потреблении на каждый год, информации об актуальных режимах работы энергообъектов, времени года, погодных условиях. Так, например, для расчётов установившихся режимов разрабатывается по девять ПРМ на каждый год перспективного планирования в каждом из 57 диспетчерских центров на весь шестилетний период планирования. Всего только для расчётов установившихся режимов и статической устойчивости разработано и поддерживается в актуальном состоянии 810 расчётных моделей.

Выводы и перспективы. Одной из главных тенденций последних лет является цифровизация, которая в перспективе охватит все сферы промышленности и экономики. Рост цифровизации приводит к появлению всё более сложных информационных систем и приложений, использующих данные, относящиеся к одним и тем же объектам моделирования. Точечная интеграция таких систем и приложений не позволяет комплексно решить проблему разрозненности данных, особенно когда речь идет об информационном обмене между большим количеством независимых энергокомпаний и проектных организаций. В связи с этим возникает острый вопрос о необходимости стандартизации обмена информацией между системами и приложениями с целью обеспечения интеграции, уменьшения разнородности информации и задержки между её обновлениями, а также для обеспечения взаимозаменяемости приложений, разработанных независимыми производителями. В настоящее время многие проблемы могут быть решены путем использования стандартов МЭК, описывающих CIM. В России стандарты CIM представлены серией ГОСТ Р 58651, адаптирующей международные стандарты под нужды российских энергокомпаний.

Опыт Системного оператора по унификации обмена информацией между 57 диспетчерскими центрами подтверждает преимущества применения CIM. Реализованные проекты по унификации информационного обмена между Системным оператором и крупнейшими энергокомпаниями подтвердили возможность и целесообразность использования стандартов CIM в масштабах всей отрасли.

В 2022 году АО «СО ЕЭС» реализовало масштабный проект по построению цифровых информационных моделей энергосистем для среднесрочного и долгосрочного планирования, поддерживающих обмен информацией в соответствии со стандартами CIM. Для целей среднесрочного и долгосрочного планирования были разработаны ПИМ и ПРМ в 57 диспетчерских центрах на 6 лет вперед. В дополнение к реализации проекта были разработаны расширения стандартов CIM, необходимые для информационного обмена расчётными моделями для расчётов установившихся режимов и статической устойчивости, а также расчётов токов короткого замыкания.

В будущем АО «СО ЕЭС» планирует расширить сферу применения моделей, основанных на CIM, и создать модели для процессов оперативного планирования: выбора состава включённого генерирующего оборудования, конкурентного отбора на рынке на сутки вперед и балансирующем рынке.

Цифровизация позволяет по-новому взглянуть на стандартизацию обмена информацией. Обмен паспортами оборудования, разрабатываемыми производителем, может быть заменен цифровыми решениями, а стандартная процедура обмена документами по возможности должна заменяться взаимодействием между программными комплексами.

14.2. АО «Концерн Росэнергоатом»: Опыт внедрения общей информационной модели

До недавнего времени в электроэнергетике не было общепринятого подхода к моделированию элементов электроэнергетических систем (ЭЭС): каждый разработчик программного обеспечения мог использовать тот или иной подходящий вариант для решения конкретных прикладных задач.

По мере разрастания информационных систем стало всё сложнее совмещать по-разному устроенные модели, эта практика приводила к увеличению трудозатрат и повышению вероятности возникновения ошибок и потерь данных.

Приказ Минэнерго России от 20.12.2022 №1340 «Об утверждении Правил предоставления информации, необходимой для осуществления оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике» ввёл унифицированный способ обмена данными на основе общей информационной модели (common information model, CIM).

Все субъекты электроэнергетики обязаны перейти на этот формат в срок до 1 января 2024 года. В том числе это относится к АО «Концерн Росэнергоатом» — оператору российских атомных электростанций и одному из членов-учредителей Ассоциации «Цифровая энергетика». Проект реализуется Концерном совместно с ещё одним членом Ассоциации — АО «Системный оператор ЕЭС».

CIM — цифровая модель системы, описывающая её основные элементы, их свойства и связи между ними в виде общепринятых и одинаково понимаемых определений и понятий. В России CIM описывается серией национальных стандартов «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электротехники», основанных на стандартах Международной электротехнической комиссии МЭК 61970 и МЭК 61968.

Модель верхнего уровня включает в себя всю электроэнергетическую систему: электростанции, линии электропередачи, подстанции и так далее. Эта общая картина составляется из более мелких моделей, которые формируются отдельными субъектами при помощи специализированного программного обеспечения. Информация экспортируется в виде XML-файла и загружается на специальный CIM-портал, которым ведает АО «СО ЕЭС».

Главный параметр элементов CIM — идентификатор mRID (master resource identifier), уникальный ключ, который указывает на конкретный объект для его однозначного распознания каждой организацией и информационной системой. Кроме того, в модель вносятся данные о производителе и марке оборудования, годе ввода в эксплуатацию, паспортных параметрах и другая специфическая информация.

Всё это позволяет «Системному оператору» в любой момент понимать состояние Единой энергетической системы России.

Для оптимизации процесса перехода на CIM в АО «Концерн Росэнергоатом» было принято решение на первом этапе реализовать пилотные проекты на базе Калининской и Ленинградской АЭС, а на следующем — разделить оставшиеся девять подведомственных станций на три очереди. В первую вошли Балаковская, Белоярская и Билибинская станции, во вторую — Кольская, Курская и Нововоронежская, в третью — Ростовская, Смоленская и ПАТЭС.

Центральный аппарат Концерна обучил ответственных сотрудников атомных станций работе с платформой СК-11 — программным обеспечением, применяемым для ведения CIM-модели. Для персонала АЭС провели семинары в формате видеоконференцсвязи и на конкретных примерах объяснили механизм формирования моделей.

Первичные модели оборудования атомных электростанций, предоставленные «Системным оператором», были расширены и дополнены параметрами и характеристиками, что позволило привести модель к актуальному состоянию.

Разделение станций на очереди, создание таблицы сопоставления и тщательная систематизация данных на этапе подготовки позволили провести работы максимально оперативно.

Актуализированная модель была загружена на CIM-портал для проверки АО «СО ЕЭС». Пока она верифицировалась, Концерн со своей стороны получил время для детального тестирования и обкатки системы.

Примененная методология позволила реализовать проект совместно с «Системным оператором» в течение года.

В декабре 2023 года после проработки замечаний АО «СО ЕЭС» стороны начнут регулярный обмен данными CIM в соответствии с приказом Минэнерго № 1340.

В будущем Концерн переведёт на CIM-основу и другие элементы взаимодействия с АО «СО ЕЭС», такие как предоставление информации о текущих и плановых заявках на вывод оборудования в ремонт, данных о релейной защите автоматики и лицах, которые могут осуществлять оперативные переключения на объектах. Это позволит «Системному оператору» иметь всю информацию, необходимую для ведения электроэнергетического режима, в одной программе.

При этом компания не только выполняет требования АО «СО ЕЭС» по предоставлению данных для оперативно-диспетчерского управления, но и стремится расширить использование принципов CIM в собственных внутренних процессах.

В настоящий момент разрабатывается общая библиотека моделей всего оборудования Концерна. Для её реализации планируется расширить существующие российские ГОСТы и распространить CIM-номенклатуру на специфическое оборудование АЭС, такое как ядерные реакторы, технологические защиты, стержни, парогенераторы.

Также ведётся работа над проектом централизованной системы планирования ремонтов, модернизаций и реконструкций, основанной на импортозамещённых программных решениях. В своих расчётах эта система будет опираться именно на данные CIM.

Подход с использованием единой мастер-системы, содержащей в качестве основы CIM, позволит снизить трудозатраты на интеграцию с существующими и вновь создаваемыми информационными системами, оптимизировать процесс актуализации данных в разных системах, а также минимизировать вероятность возникновения ошибок при сопровождении нормативно-справочной информации.

Внедряя единую информационную модель, АО «Концерн Росэнергоатом» не останавливается на достигнутом и расширяет применение CIM-подхода для создания единой доверенной цифровой среды.

15. ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПО КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

В 2022 и 2023 годах произошло значительное увеличение числа компьютерных атак на компании ТЭК[26]. Компьютерные атаки на инфраструктуру ТЭК имеют свою специфику в векторах и инструментарии, используемых злоумышленниками, и поэтому требуют выработки специфических мер противодействия. На базе Ассоциации «Цифровая энергетика» создан Центр экспертизы по вопросам информационной безопасности в электроэнергетике (Энерго ЦИБ). Основная задача Энерго ЦИБ — содействие обмену информацией о передовой практике в отношении киберугроз для отраслевого центра кибербезопасности Минэнерго России и компаний электроэнергетики. Дополнительными факторами создания Энерго ЦИБ стали запрос Минэнерго России на обеспечение отраслевой экспертизы в области информационной безопасности (ИБ) и необходимость повышения эффективности процессов обеспечения ИБ, направленных на усиление устойчивости энергетической системы к компьютерным атакам.

Как единая отраслевая площадка, Энерго ЦИБ позволит существенно экономить ресурсы компаний (организационные, финансовые, управленческие и административные) в части накопления практического опыта, распределения сервисов и информационных потоков и проведения совместных мероприятий в области ИБ, а также обеспечить качественный информационный обмен с «ECERT» (на базе Ситуационного аналитического центра Минэнерго России). В рамках работы Энерго ЦИБ на 2023–2024 годы запланировано:

- выстраивание партнёрской сети (формирование экосистемы для реализации перспективных задач и организации обмена информацией);
- обеспечение «профилирования» компаний электроэнергетики по результатам обмена информацией;
- повышение осведомлённости компаний электроэнергетики;
- формирование каталога услуг Энерго ЦИБ;
- обучение информационной безопасности непрофильных специалистов компаний электроэнергетики на базе собственных курсов и курсов партнёров для повышения культуры противодействия киберпреступникам;
- содействие формированию культуры безопасной разработки и доверенной среды у разработчиков отечественного ПО и оборудования телекоммуникаций и связи за счёт подготовки добровольного стандарта поддержки ПО на всех этапах жизненного цикла.

С 2019 года в Ассоциации «Цифровая энергетика» действует Экспертная группа по кибербезопасности. В 2022 и 2023 годах состав группы был расширен, в неё вошли представители НИУ «МЭИ», АО «НоваВинд», центра цифровых компетенций атомной отрасли «Цифрум». Укоренилась успешная практика организации встреч[27] с регуляторами ИБ на площадке Ассоциации, обеспечен постоянный обмен опытом между участниками ЭГ с привлечением экспертного сообщества ИБ. В рамках расширенных встреч экспертной группы рассмотрено множество важных вопросов, таких как:

- нормотворчество в области ИБ;
- эффективные меры по защите ИБ-систем в условиях возросшего числа компьютерных атак на предприятия электроэнергетики;
- ключевые факторы компьютерных атак и утечек информации;
- достижение технологического суверенитета;
- развитие кадрового ИБ-потенциала в электроэнергетике.

По итогам данных мероприятий сформированы и рассмотрены предложения по развитию технологий защиты информации компаний электроэнергетики, обеспечена кооперация экспертов компаний для противодействия угрозам информационной безопасности.

Например, актуальным стал цикл расширенных встреч, посвящённых достижению технологического суверенитета. Во исполнение Постановления Правительства РФ от 22.08.2022 № 1478, Методических рекомендаций, утверждённых Минцифры России приказом от 18.01.2023 № 21, и отраслевого плана перехода на использование российского ПО компаниями электроэнергетики составлены планы перехода к использованию российского ПО на значимых объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ). Эксперты выделили группу связанных с этим проблем, которые необходимо решить в ближайшее время:

- отсутствие нормативной базы по переходу на доверенные программно-аппаратные комплексы (ПАК), необходимость однозначного нормативного определения терминов «отечественный ПАК» и «доверенный ПАК», также отмечена сложность определения критериев доверенности ПАК;
- проблематичность качественной замены импортных средств защиты в установленный срок с учётом необходимости приостановки производственных процессов, проектирования, приёмки и опытной эксплуатации;
- проблемы с наличием элементной базы для доверенных ПАК российского производства, применяемых в АСУ ТП.

Участники встреч регулярно отмечают, что наличие уязвимых служб по защищаемому периметру приводит к увеличению числа успешных атак, а это свидетельствует о важности усиления мер безопасности. Время между выявлением уязвимости и целенаправленными атаками значительно сократилось, злоумышленникам хватает нескольких секунд для начала попыток использования уязвимости, поэтому необходимо быстро реагировать и принимать защитные меры. Исследования и отчёты компаний — участников рынка подтверждают растущие возможности злоумышленников в проведении компьютерных атак на технологические системы.

Основные рекомендации, сформулированные экспертами по итогам расширенных встреч, таковы:

- необходимо проработать создание отраслевой структуры требований в области разработки безопасного программного обеспечения, причём регулирование должно распространяться на всё программное обеспечение, раз-

26 https://jetcsirt.su/analytics/analiticheskiy-otchet-o-kiberugrozakh-2022

27 https://www.digital-energy.ru/activity/expert-group/cybersecurity/materials-syber/regulyatori/

рабатываемое в интересах электроэнергетической отрасли, включая объекты КИИ;

- для повышения уровня безопасности важно отслеживать информацию о потенциальных атаках на подрядные организации и иметь планы реагирования на случай их выявления;
- необходима синхронизация понятий и способов оценки свойств доверенных ПАК, киберимунных технологий с учётом позиций всех органов власти для качественной проработки сценариев их применения в ТЭК.

Высокая вовлечённость отраслевых регуляторов, органов власти и экспертов по информационной безопасности в деятельность экспертной группы свидетельствует об актуальности обсуждаемых вопросов и способствует эффективному взаимодействию участников в противодействии киберугрозам в электроэнергетике.

16. ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПРОВЁДЕННЫЕ АССОЦИАЦИЕЙ В 2023 ГОДУ

8–10 февраля

Участие в III Ежегодной конференции «CIM в России и мире».

14 февраля

Участие в форуме «Технологии безопасности»: панельная дискуссия «Управление информационной безопасностью АСУ ТП в условиях современных вызовов».

21 марта

Проведение круглого стола «Предсказательная аналитика в ЖКХ — опыт и эксперименты» с участием Минэнерго России, Минстроя России, Совета производителей энергии и др.

5 апреля

Участие в конференции «Российская энергетика: новые грани развития»: дискуссия «Цифровизация энергетики: разгон в новых условиях».

18 апреля

Участие в First Russian Data Forum: секция «Ключевые направления развития цифровой экономики».

17 мая

Проведение круглого стола «Направления развития Центра коммерческой диспетчеризации для компаний электроэнергетической отрасли».

20 июня

Выездное заседание экспертной группы по формированию Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики в Сколковском институте науки и технологий «Сколтех».

6–7 июля

Участие в Meet Up 2023 по электротранспорту и зарядной инфраструктуре.

11–13 июля

Участие в Объединённой конференции ИТ-служб энергокомпаний (ОКИТ): проведение круглого стола «Практика защищённых программных решений в cloud native подходе для электроэнергетики», круглый стол «Есть ли место этике во взаимоотношениях в ИТ».

29 августа

Участие в программе «ПриорИТет» Университета Иннополис.

5 сентября

Выездное заседание экспертной группы по формированию Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики на предприятии Ядро Фаб Дубна.

10 октября

Участие в конференции «Территория энергетического диалога»: панельная сессия «Развитие перспективных энергетических технологий — «окно возможностей» для развития собственного промышленного потенциала в рамках евразийской интеграции и выхода на новые рынки».

11–13 октября

Форум «Российская энергетическая неделя»: проведение круглого стола «Цифровая трансформация энергетики: новые возможности для укрепления индустриальной независимости», участие в круглых столах «Развитие энергетики: кто инвестор?» и «Электромобили: производство и инфраструктура».

19 октября

Участие в V Российско-Китайском бизнес-форуме.

27 октября

Проведение демо-дня индустриального центра компетенций «Электроэнергетика».

3 ноября

Проведение установочного совещания рабочей группы содействия развитию электротранспорта в России.

29 ноября

Конференция «Нефинансовая отчётность»: участие в дискуссии «Цифровые решения и платформы для устойчивого развития».

12 декабря

Участие в стратегической сессии «Горизонт 2035–2050».

15 декабря

Проведение конференции «Цифровая трансформация энергетики»: круглые столы «Цифровая трансформация энергетики как инструмент устойчивого развития» и «Обмен опытом участников электроэнергетической отрасли по реализации проектов с использованием предиктивной аналитики».

19 декабря

XV Международный энергетический форум Energyspace: участие в сессии «Технологический суверенитет в электроэнергетике».

20 декабря

Участие в вебинаре «Цифровая среда», посвящённом использованию генеративного искусственного интеллекта в электроэнергетике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Промежуточные результаты выполнения ключевых показателей эффективности Стратегии цифровой трансформации электроэнергетики России до 2030 г.

СТРАТЕГИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 Г. БЫЛА РАЗРАБОТАНА АССОЦИАЦИЕЙ «ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА» СОВМЕСТНО С КОНСАЛТИНГОВОЙ КОМПАНИЕЙ «РОЛАНД БЕРГЕР» В 2020 Г.[28]

Стратегия была одобрена в целом на совещании по развитию цифровизации в электроэнергетике, которое состоялось 17 марта 2020 г. под председательством министра энергетики Российской Федерации А. Новака. Стратегия прошла общественные слушания[29], на которых был, в частности, дан комментарий о том, что ключевые показатели эффективности (КПЭ) её реализации приняты в ходе совместного обсуждения компаниями-участниками Ассоциации и уже учитываются или будут учитываться в программных документах членов Ассоциации. Установленные КПЭ перекликаются или совпадают с показателями, заложенными в иные стратегические документы электроэнергетической отрасли. Для частных компаний разработанные КПЭ являются рекомендациями, ориентиром, позволяющим справиться с конкуренцией на меняющемся рынке электроэнергетики. В заключении альманаха мы хотели проследить изменения КПЭ, заложенных в Стратегии, за последние три года по данным открытых источников.

1. Рост производительности труда персонала относительно уровня 2020 года

Цифровые технологии обеспечивают персонал новыми инструментами, которые позволяют сократить рутинные операции и сконцентрироваться на работе с добавленной ценностью для компаний. Повышение эффективности производства за счёт роста производительности труда позволит в перспективе сдержать рост тарифов и стоимости оказания услуг. Показатель рассчитывается как рост производительности труда персонала относительно уровня 2020 года в процентах, целевое значение на 2030 год — 30%.

Для расчёта мы использовали индекс производительности труда, ежегодно публикуемый Росстатом[30]. Накопленным итогом за период с 2020 по 2023 годы производительность труда по статье «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» **выросла на 5,8%**. За прошедшие три года рост производительности труда в электроэнергетике опережает рост производительности труда в целом по экономике (где за тот же период она не изменилась). Целесообразно провести исследование на пятилетнем горизонте путём анализа выручки (в ценах 2020 года) и численности персонала крупнейших компаний электроэнергетики.

28 https://www.digital-energy.ru/activity/materials/strategy-for-digital-transformation-electric-power-industry/
29 https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/07/doklad-na-sayt-final-korr.pdf
30 https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Index_proizv_truda(06102023).xlsx

2. Перевод взаимодействия с потребителем в цифровой формат

Цифровые технологии позволяют автоматизировать взаимодействие потребителей и компаний-поставщиков энергоресурсов и услуг на рынке электро- и теплоэнергетики, а также предоставить всю необходимую информацию для повышения прозрачности взаимодействия, роста клиентоориентированности и снижения уровня ошибок и сбоев. Цифровая форма взаимодействия с клиентом также создаёт условия для расширения спектра услуг и роста количества торговых операций. Кроме того, цифровая прозрачность исключает условия для коррупции на местах. В дальнейшем в условиях цифрового взаимодействия с клиентом должен произойти рост качества услуг и снижение их стоимости. Показатель характеризуется долей услуг, предоставление которых возможно в цифровом формате, целевое значение к 2030 году — 100%.

За последние три года компании электроэнергетики значительно продвинулись на пути цифровизации предоставления услуг. ПО данным компании «Россети», на конец 2030 года **98% заявок** на технологическое присоединение осуществляются в электронном виде. С 2022 года возможность подключения к сетям введена на Едином портале государственных услуг[31]. Если говорить о сбытовых компаниях, то по данным АО «Мосэнергосбыт» (реализует около 8,6% всей потребляемой в стране электроэнергии), на 2023 год **более 90% услуг** потребители могут получить в дистанционном формате[32]. АО «Атомэнергосбыт» (гарантирующий поставщик в четырёх регионах) на конец 2022 года сообщает о том, что **73% заявок** обрабатываются через цифровые сервисы[33].

31 https://tass.ru/ekonomika/19008159
32 https://realty.ria.ru/20230309/mosenergosbyt-1856713904.html
33 https://eepir.ru/new/cifrovye-servisy-atomenergosbyta-polzujutsya-znachitelnoj-populyarnostju-u-nbsp-klientov-kompanii/

3. Развитие интеллектуальных систем учёта

Счётчик электроэнергии или тепла, подключённый к сети и способный принимать и отправлять данные (часть интеллектуальной системы учёта, ИСУ), является необходимым условием для внедрения разнообразных цифровых технологий и решений как для энергетических компаний, так и для конечных потребителей, а также для повышения эффективности энергокомпаний. Показатель характеризуется долей точек учёта конечных потребителей, включённых в ИСУ. В Стратегии заявлены целевые значения на уровне 75% к 2030 году и 100% к 2035 году.

По оценкам экспертов ФГБУ «РЭА», на начало 2030 года в России установлено около 7 млн приборов учёта электроэнергии, включённых в ИСУ[34]. К сожалению, компания «Россети» не публикует сводные данные по доле приборов учёта, включённых в ИСУ. Однако выводы можно сделать по данным отдельных сетевых компаний. Например, в Центральном федеральном округе и Поволжье поставлена цель достичь доли в **33%** «умных» приборов учёта на конец 2023 г.[35] на Урале к 2024 году планируется охватить до **50%** приборов учёта[36]. «Россети Ленэнерго» в начале 2023 года сообщали о включении в ИСУ **23,8%** приборов учёта[37]. «Россети Тюмень» в конце 2022 года оценивали в **70%** долю современных приборов, включённых в автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учёта[38]. В Московском регионе в 2023 году предполагается установить 70 тыс. интеллектуальных счетчиков, что на 60% больше, чем в 2022 году[39]. По оценкам, приведённым в совместном исследовании компаний «Билайн» и ONSIDE, доля интеллектуальных приборов учёта электроэнергии в 2024 году составит в среднем по стране **от 37 до 40%**.

4. Развитие новых услуг

Портфель новых сервисов (например, инфраструктура учёта потребления, P2P-продажи электроэнергии) на базе цифровых технологий может позволить электроэнергетическим компаниям лучше адаптироваться к меняющейся внешней среде за счёт получения дополнительных доходов и повышения качества обслуживания. В Стратегии предложены два показателя: доля выручки от новых услуг на базе цифровых технологий (не менее 5% к 2030 году) и объём мощности, участвующей в программе управления спросом (не менее 4 ГВт к 2030 году). В связи со сложностью оценки первого из этих показателей, целесообразно провести отдельное исследование вне настоящего альманаха. Второй показатель регулярно публикуется АО «Системный оператор ЕЭС». На ноябрь 2023 года совокупный объем снижения потребления по результатам отбора составил **581,47 МВт[40].**

В то же время 3 ноября 2023 года Президентом РФ подписан Федеральный закон, предусматривающий внедрение целевой модели управления спросом на электроэнергию. С принятием закона в качестве неотъемлемого механизма оптового рынка закрепляется инструмент оптимизации режимов работы энергосистемы путём замещения выработки наиболее дорогой генерации услугами потребителей по добровольной разгрузке. Эффективность этого рыночного механизма подтверждена в ходе реализации пилотного проекта АО «СО ЕЭС». Формируемая в настоящий момент нормативная база позволит увеличивать объём ресурсов управления спросом

34 https://eepir.ru/new/intellektualnyj-uchet-elektroenergii-webinar/
35 https://www.bel.kp.ru/daily/27482/4739121/
36 https://www.eprussia.ru/news/base/2023/4919297.htm
37 https://www.eprussia.ru/news/base/2023/5778878.htm
38 https://rg.ru/2022/08/09/reg-urfo/tiumenskie-energetiki-snizili-kommercheskie-poteri-elektroenergii-na-37-mln-rublej.html
39 https://rossetimr.ru/press/company_news/item248019.php
40 https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/23300/

и продолжительность использования механизма при сохранении экономического эффекта. По прогнозам АО «СО ЕЭС», при действующей структуре мощностей объём рынка управления спросом может составить порядка 4–6 ГВт[41].

5. Развитие цифровых компетенций в отрасли

Показатель, который отражает результаты усилий по переподготовке персонала в основных компаниях отрасли в целях развития цифровых компетенций. Повышение цифровых компетенций работников приводит к улучшению качества предоставления услуг, адекватному и своевременному реагированию на вызовы и запросы потребителей, повышению надёжности поставок.

Целевые значения показателя установлены отдельно для высшего менеджмента (не менее 90%) и для остального персонала компаний (не менее 70%). На момент разработки Стратегии предполагалось, что источником данных по этому показателю будут результаты реализации Федерального проекта «Кадры для цифровой экономики». Однако в 2020 году проект был переформатирован, и в настоящий момент он в основном ориентирован на поддержку подготовки и переподготовки в сфере информационно-коммуникационных технологий (проекты «Цифровые профессии», «Цифровые кафедры»). По данным АНО «Цифровая экономика», в рамках «Цифровых профессий» за 2021–2022 годы прошли обучение более 130 тыс. человек[42,43]. В рамках проекта по подготовке лидеров и команд CDO-менеджеров в 2021–2022 годах прошли обучение 6262 человека.

Как сообщает аналитический центр НАФИ, 69% населения России демонстрируют базовый уровень цифровой грамотности, а 29% — высокие компетенции в этой сфере[44]. По данным[45] Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, доля работников компаний, обладающих цифровыми навыками на уровне выше среднего в 2022 году, составила 16,6%.

По информации, доступной в открытых источниках, можно оценить планы отдельных компаний электроэнергетической отрасли по развитию цифровых компетенций кадров. Например, ПАО «Интер РАО» планирует обучить цифровым навыкам почти 22 тыс. работников до 2025 года[46] (при общей численности персонала порядка 49 тыс. человек на конец 2022 года). В отчёте об устойчивом развитии ПАО «Россети» за 2022 год указывается, что обучение персонала проводится с учётом внедрения новых технологий и развития у работников базовых цифровых компетенций. В 2022 году обучение прошли около 10 тыс. работников компании (9,8 тыс. — производственный персонал), что составляет примерно **50%** от среднесписочной численности[47]. В Концерне Росэнергоатом в 2022 году обучение прошли 85,2% руководителей, 95,5% специалистов и служащих и 79,9% рабочих[48]. Более 2 тыс. работников завершили обучение по программе «Электронная школа руководителя».

41 https://www.so-ups.ru/news/energy-news/energy-news-view/news/23349/

42 https://www.2035.university/experience

43 https://files.data-economy.ru/Docs/White_Book.pdf

44 https://nafi.ru/analytics/v-rossii-vyrosla-dolya-lyudey-s-prodvinutym-urovnem-tsifrovoy-gramotnosti/

45 https://issek.hse.ru/news/783750202.html

46 https://mostpp.ru/guilds_news/v-mtpp-obsudili-voprosy-podgotovki-kvalifitsirovannykh-spetsialistov1079/

47 https://rosseti.ru/upload/iblock/bd1/0lm3t5lkktxnpro039cdyoua56zqeii1/Otchet_Rosseti_%D0%A0%D0% A3%D0% A1%D0 %A1_%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93.pdf

48 https://report.rosatom.ru/go/2022/rea_2022.pdf

6. Наращивание опыта реализации цифровых решений

Показатель, отражающий готовность отрасли использовать цифровые решения. При этом предлагается учитывать не только пилоты в форме разработки и внедрения ИТ-решений, но и новые стандарты, технологии, методологию: так, внедрение стандартов CIM в информационных системах субъектов отрасли и развитие внутриотраслевого информобмена с использованием CIM формирует основу для цифровизации основных процессов в электроэнергетике. В Стратегии показатель разбивается на два: количество проектов в области цифровой трансформации, доведенных до стадии MVP (не менее 50), и количество проектов, развёрнутых в промышленном масштабе (не менее 15). Можно утверждать, что этот показатель **уже достигнут**, просто проанализировав три выпуска альманаха Ассоциации «Цифровая энергетика». В реальности цифровых проектов в высокой степени готовности в электроэнергетической отрасли гораздо больше.

7. Повышение безопасности работ и сокращение травматизма

Применение интеллектуальных/цифровых систем контроля наличия СИЗ, мониторинг нахождения производственного персонала и выполняемых работ, прохождение обучения и контроля знаний с использованием VR/AR-технологий, применение необслуживаемого оборудования и новых безопасных технологий, роботизация технологий и пр. могут сократить уровень травматизма производственного персонала в отрасли. В качестве индикатора используется LTIFR — коэффициент частоты травматизма, связанного с производством. Он состоит из двух независимых показателей — лёгкие травмы и травмы со смертельным исходом. Целевые значения к 2030 году — 0,1/0.

В годовых отчётах и отчётах об устойчивом развитии крупнейших компаний электроэнергетики приводятся следующие показатели за 2022 год:

- ПАО «Интер РАО»[49] — 0,17/0,04;
- ПАО «Россети»[50] — 0,0872;
- АО «Концерн Росэнергоатом»[51] — 0,12;
- ПАО «Русгидро»[52] — 0,215;
- ООО «Газпром энергохолдинг»[53] — 0,086.

Таким образом, четыре показателя из числа заложенных в Стратегию, скорее всего, будут достигнуты до 2030 года при сохранении темпов развития. Один показатель, касающийся реализации проектов по внедрению цифровых решений, уже можно считать выполненным. Ещё два показателя, связанных с обеспечением роста производительности труда и снижением травматизма, могут быть достигнуты при качественных изменениях за счёт роста цифровых компетенций и повсеместного внедрения цифровых технологий.

49 https://www.akm.ru/upload/akmrating/Inter_RAO-sustainability-report_2022.pdf

50 https://rosseti.ru/upload/iblock/bd1/0lm3t5lkktxnpro039cdyoua56zqeii1/Otchet_Rosseti_%D0%A0%D0% A3%D0% A1 %D0%A1_%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93.pdf

51 https://report.rosatom.ru/go/2022/rea_2022.pdf

52 https://ar2022.rushydro.ru/ru/company-profile/key-2022-figures

53 https://sustainability.gazpromreport.ru/2022/production-safety/labor-protection/

Авторский коллектив:
Антон Зубков
Александр Сухов
Александр Шавкун
Роман Тимофейчик
Александр Капустин
Евгений Юрищев
Екатерина Байбакова
Владимир Карантаев
Александр Горланов

Дизайн
Оксана Шулешко