

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

На правах рукописи

Кузьмин Павел Сергеевич

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РОЗНИЧНОГО РЫНКА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ
ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛИ

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика: экономика промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель

Трачук Аркадий Владимирович,
доктор экономических наук, профессор

Москва – 2024

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Теоретические, методологические и технологические основы внедрения моделей активного потребителя электроэнергии на розничном рынке электрической энергии.....	15
1.1 Основные подходы к организации текущих моделей взаимодействия субъектов розничного рынка электрической энергии	15
1.2 Современные технологии электроэнергетики: эффекты от распространения в условиях цифровой трансформации отрасли	32
1.3 Модели активного потребителя. Ключевые эффекты и потенциал внедрения для субъектов рынка электроэнергии Российской Федерации	45
Глава 2 Исследование эффективности внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка электрической энергии ...	65
2.1 Методология исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя.....	65
2.2 Результаты исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя при помощи CDM-модели	76
2.3 Целевая модель розничного рынка электроэнергии.....	90
Глава 3 Методика преобразования розничных рынков электроэнергии в условиях распространения моделей активного потребителя	107
3.1 Экономические эффекты, ожидаемые от внедрения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка	107
3.2 Инструменты оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя	116

3.3 Риски распространения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка.....	130
Заключение	146
Список литературы	150
Список иллюстративного материала.....	173
Приложение А Критерии отнесения объектов электросетевого хозяйства к единой национальной (общероссийской) электрической сети.....	177
Приложение Б Выявление факторов, влияющих на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя.....	179
Приложение В Результаты верификации моделей активного потребителя и положительных экономических эффектов от их внедрения ..	182
Приложение Г Модельный расчет скорректированного LCOE	184
Приложение Д Опросный лист оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя.....	186
Приложение Е Методология и расчетные формулы диффузионной модели Басса	196
Приложение Ж Анкета по определению уровня вероятности и последствий для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя	198
Приложение И Результат оценки для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя	202

Введение

Актуальность темы исследования. Мировые тренды, обусловленные внедрением технологий четвертой промышленной революции, такие как удешевление энергии, выработанной на возобновляемых источниках, развитие распределенной генерации и курс на децентрализацию энергетики [1; 2], удешевление и улучшение характеристик систем накопления электроэнергии, внедрение интеллектуальных систем учета и систем управления [3; 4], способствуют формированию новых моделей взаимодействия потребителей как с энергетическими компаниями, так и друг с другом.

Переход к новому технологическому укладу в энергетической отрасли также обуславливается распространением цифровых технологий: промышленного интернета вещей, киберфизических систем и платформенных решений и других – и приводит к трансформации отрасли за счет: изменения характера взаимодействия энергокомпаний с потребителями, изменения условий регулирования отрасли, формирования новых услуг, организационных моделей и бизнес-моделей [3; 5]. Совместное влияние технологий цифрового перехода в электроэнергетике создает предпосылки для изменения роли конечных потребителей на розничном рынке: они перестают быть пассивными потребителями энергоресурсов в ценопринимающей позиции и стремятся активно участвовать в торговле электроэнергией и управлении своей нагрузкой. Такие потребители получили название «активные потребители», или «просьюмеры» [6; 7; 8; 9].

Российские энергокомпании и органы власти принимают активное участие в разработке новых механизмов и инструментов функционирования энергорынков. В документах Правительства Российской Федерации, например в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г. (от 2020 г.), и федеральных органов исполнительной власти отмечается высокий

потенциал современных энергетических и цифровых технологий в создании качественно новых условий для развития конкурентного розничного рынка электроэнергии, основывающегося на автоматизированных локальных площадках, способного, во-первых, снизить темпы роста цен на электроэнергию, и, во-вторых, привлечь дополнительные инвестиции в развитие систем управления спросом на стороне потребителей [10].

Однако сложность для восприятия, большой объем и высокий темп вносимых изменений в нормативно-правовую базу отталкивают существенное число потребителей электроэнергии от внедрения новых моделей участия в торговле электроэнергией. В отличие от потребителей оптового рынка электрической энергии и мощности розничные потребители зачастую не обладают необходимыми компетенциями для глубокого понимания механизмов энергорынка, что приводит к задержке внедрения инновационных технологий или полному отказу от их внедрения.

В этой связи возникает необходимость рассмотрения вопросов, какие эффекты в части конечных потребителей – субъектов розничных рынков электроэнергии и мощности, а также в разрезе энергосистемы могут быть вызваны распространением энергетических технологий Индустрии 4.0, каков характер их влияния, какие факторы определяют принятие современных энергетических технологий и организационных моделей взаимодействия с субъектами розничного рынка, как изменится организационная структура розничного рынка при их распространении, а также какие рекомендации могут быть выработаны для вовлечения потребителей в активную торговлю электроэнергией. Совокупность изложенных выше вопросов формирует актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности темы исследования. Исследование носит комплексный характер и направлено на изучение проблематики, по которой существуют пробелы и в отечественной, и в зарубежной литературе, –

специфики распространения современных цифровых и энергетических технологий среди субъектов розничного рынка электроэнергии и мощности. Эти потребители обладают значимым потенциалом участия в активной торговле электроэнергией и мощностью, однако для большинства инновационное развитие в части электроснабжения не является приоритетным.

Большая часть отечественных исследований, например работы Трачука А.В., Линдер Н.В., Ховаловой Т.В., посвящена анализу эффектов от применения отдельных технологий Индустрии 4.0 в сфере электроэнергетики в разрезе крупной промышленности. Также данному вопросу посвящали внимание отраслевые эксперты, такие как Жолнерчик С.С. Другие исследователи и эксперты отрасли рассматривают эффекты от цифровой трансформации электроэнергетической отрасли в целом, фокусируясь преимущественно на оптовом рынке электроэнергии мощности и его субъектах: здесь необходимо отметить разработки Гительмана Л.Д., Зубакина В.А., Веселова Ф.В., Воропай Н.И., Мельникова Ю.В., Ратникова Б.Е., Ряпина И.Ю., Стенникова В.А., Хохлова А.А.

Теория принятия инноваций в сфере энергетики получила развитие и в российских работах, и в зарубежных. Среди отечественных можно выделить работы Трачука А.В. и Линдер Н.В., где рассматриваются факторы принятия энергетических технологий среди промышленности, а также Жолнерчик С.С. и Ховаловой Т.В., где показана классификация инноваций в энергетике. Данные вопросы также изучались в зарубежных исследованиях, например в публикациях Бауэна А., Брауна Д., Брэя Р., Пэрриша Б., Хансэна С. и иных ученых. При этом фокус внимания всех перечисленных исследований направлен на оптовый рынок электроэнергии и мощности и его субъекты.

По результатам анализа литературы можно утверждать, что субъекты розничного рынка электроэнергии и цифровой энергетический переход на нем не получили необходимого освещения в литературе. Недостаток изученности

цифровой трансформации электроэнергетической отрасли на уровне розничного рынка, а именно условий внедрения энергетических технологий Индустрии 4.0, факторов, способствующих или сдерживающих внедрение, а также эффектов, порождаемых в результате такой трансформации, определяет цель и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является разработка целевой модели розничного рынка электроэнергии, соответствующей условиям цифровой трансформации электроэнергетической отрасли, в том числе учитывающей внедрение моделей активного потребителя.

Для достижения поставленной цели в исследовании автором решены следующие **задачи**:

- выявлены ключевые эффекты от внедрения энергетических технологий Индустрии 4.0 для субъектов розничного рынка;

- определены основные типы моделей активного потребителя на розничном рынке, формирующиеся при внедрении технологий цифрового перехода в электроэнергетике;

- выявлены и систематизированы факторы, оказывающие воздействие на восприятие и последующее внедрение моделей активного потребителя покупателями электроэнергии на розничном рынке, а также на их распространение среди участников розничного рынка, определена степень влияния выявленных факторов;

- разработана целевая модель розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации, учитывающая внедрение моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка;

- оценен экономический эффект от внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка.

Объектом исследования в работе являются организации электроэнергетики и потребители электроэнергии – участники розничного рынка электроэнергии.

Предметом исследования выступает трансформация отношений между участниками розничного рынка электроэнергии в результате внедрения цифровых технологий в электроэнергетике.

Методология и методы исследования. В рамках исследования применен ряд общенаучных методов, в том числе конкретно-исторический и системный, позволивших рассмотреть изучаемые вопросы в динамике, определить тенденции развития процессов, а также провести комплексный анализ рассматриваемых вопросов.

Также в работе задействован ряд специальных методов:

- эконометрическое моделирование для исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка;

- метод интервью для изучения ключевых факторов принятия моделей активного потребителя субъектами розничного рынка и формирования балльной модели оценки зрелости субъектов для внедрения моделей активного потребителя;

- кейс-метод для проведения анализа эффекта от внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка.

Область исследования соответствует п. 2.5. «Формирование и функционирование рынков промышленной продукции» и п. 2.14. «Проблемы повышения энергетической эффективности и использования альтернативных источников энергии» Паспорта научной специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика: экономика промышленности (экономические науки).

Информационно-эмпирическая база исследования включает в себя нормативные правовые акты Российской Федерации, регулирующие энергетическую отрасль; статистические данные Федеральной службы государственной статистики, Федеральной антимонопольной службы, субъектов инфраструктуры оптового рынка электроэнергии и мощности, библиографическую базу Российского индекса научного цитирования

(далее – РИНЦ), международную информационную базу Web of Science; научные исследования российских и зарубежных авторов; данные российских и зарубежных электроэнергетических компаний, а также ассоциации «НП Совет рынка» и Министерства энергетики Российской Федерации.

Научная новизна исследования заключается в разработке авторской целевой модели розничного рынка электроэнергии, учитывающей как эффекты от ключевых энергетических технологий, внедряемых в процессе цифровой трансформации в электроэнергетике, так и результаты внедрения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка, позволяющих повысить их энергоэффективность, а также условия, необходимые для внедрения.

Положения, выносимые на защиту:

1) Выявлены эффекты от распространения технологий цифрового перехода в электроэнергетике для субъектов розничного рынка, проявляющиеся в рамках ключевых энергетических технологий, таких как распределенная генерация, системы накопления электроэнергии, интеллектуальные системы учета. Показано, что эффекты от внедрения данных технологий проявляются значительно сильнее в случае применения в комплексных решениях, учитывающих внедрение современных энергетических технологий и цифровых технологий. Помимо этого, распространение данных технологий может привести к трансформации пассивного потребителя электроэнергии в активного, что является дополнительным фактором повышения энергоэффективности потребителей на розничном рынке (С. 43-45).

2) Сформирована классификация моделей активного потребителя, применимых на российском розничном рынке электроэнергии, формирующихся в результате внедрения новых технологий и изменения поведения субъектов розничного рынка электроэнергии. Выделено пять типов моделей активного потребителя: «Базовая модель», «Активный

энергокомплекс», «Энергетическая ячейка», «Интернет энергии» и «Агрегатор нагрузки». Показано, что распространение моделей активного потребителя способствует формированию новых ценностных предложений как для конечных потребителей на розничном рынке, так и для компаний электроэнергетики (С. 45-61).

3) Впервые выявлен и обоснован перечень факторов, оказывающих воздействие на восприятие и готовность к внедрению моделей активного потребителя среди конечных потребителей – участников розничного рынка. Обосновано, что на решение о внедрении модели активного потребителя наиболее сильное влияние оказывают факторы готовности инфраструктуры организации, уровня ее цифровых компетенций, взаимодействия потребителей с энергокомпаниями, а также органами-регуляторами (С. 80-82; 85-86).

4) Предложена целевая модель розничного рынка электроэнергии, учитывающая внедрение моделей активного потребителя, соответствующих условиям цифровой трансформации электроэнергетической отрасли. Сформирована схема взаимодействия в целевой модели розничного рынка, подразумевающая появление нового функционала (цифровой оператор активного потребителя), сфокусированного на организации взаимоотношений активного потребителя с инфраструктурными и иными компаниями электроэнергетики (С. 90-101), направленная на повышение энергоэффективности и создание новой ценности как для потребителей, так и для самих компаний отрасли электроэнергетики (С. 112-115).

5) Разработана методика оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя, направленная на ускорение внедрения данных моделей среди субъектов розничного рынка, позволяющих повысить их энергоэффективность. С учетом ранее выявленных факторов методика позволяет оценить уровень зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя (С. 121-129).

Теоретическая значимость работы состоит в формировании классификации эффектов от распространения технологий цифрового перехода в электроэнергетике для субъектов розничного рынка, проявляющихся в рамках ключевых энергетических технологий: распределенной генерации, систем накопления электроэнергии и интеллектуальных систем учета.

Предложена новая типология моделей активного потребителя; также для каждого типа моделей описаны потенциальные эффекты от внедрения с учетом оборудования, применяемого в них. Обоснован технологический базис, необходимый для реализации каждой модели, включая оборудование, а также выделены потенциальные эффекты, создаваемые каждой из моделей.

Практическая значимость работы. На концептуальном уровне предложена целевая модель розничного рынка электроэнергии, учитывающая внедрение моделей активного потребителя; также с учетом выявленных в работе факторов разработана методика оценки готовности субъектов розничного рынка к успешному внедрению модели активного потребителя.

Разработанная методика позволяет оценить уровень зрелости субъектов розничного рынка исходя из оценки степеней зрелости по пяти направлениям и соотнести оценки с рекомендуемыми требованиями для успешного внедрения различных типов моделей активного потребителя, что будет способствовать достижению положительных экономических эффектов от распространения моделей активного потребителя.

Методика может быть применима в практической деятельности потребителей электроэнергии на розничном рынке для выбора оптимального типа внедряемой модели активного потребителя и, как следствие, ускорения распространения технологий цифрового перехода в электроэнергетике.

Степень достоверности, апробация и внедрение результатов исследования. Достоверность полученных выводов и результатов обеспечивается использованием научных исследований отечественных и зарубежных авторов, определивших признанные в мировом научном

сообществе теоретические концепции распространения цифровых технологий, концепций их применения в электроэнергетической отрасли. Также достоверность достигается посредством полноты и применимости используемых методик математико-статистической обработки эмпирических материалов исследования и проведенной экспертной верификации полученных результатов.

Ключевые положения и результаты настоящего диссертационного исследования представлены на российских и международных научно-практических конференциях: на VIII Международной научно-практической конференции «Управленческие науки в современном мире» (Москва, Финансовый университет, 10-11 ноября 2020 г.); на VI Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы государственного и муниципального управления» (Москва, Финансовый университет, 15 декабря 2020 г.); на II Международной научно-практической конференции «Операционный и проектный менеджмент: стратегии и тенденции» (Москва, Финансовый университет, 19 мая 2021 г.); на IX Международной научно-практической конференции «Управленческие науки в современном мире» (Москва, Финансовый университет, 9-10 ноября 2021 г.); на III Международной научно-практической конференции «Операционный и проектный менеджмент: стратегии и тенденции» (Москва, Финансовый университет, 19 апреля 2021 г.); на II Всероссийской научно-практической конференции «Стратегии бизнеса и их интернационализация» (Москва, Финансовый университет, 27 сентября 2022 г.); на Международной конференции «Лучшие бизнес-практики 2022» (Москва, Финансовый университет, 21 декабря 2022 г.); на IV Международной научно-практической конференции «Операционный и проектный менеджмент: стратегии и тенденции» (Москва, Финансовый университет, 12-13 апреля 2023 г.).

Материалы диссертации использованы при выполнении научно-исследовательской работы по теме «Цифровизация промышленности как инструмент повышения эффективности производства» (Государственное задание (первый этап фундаментальной НИР, приказ Финуниверситета от 20.04.2021 № 0891/о); (второй этап фундаментальной НИР, приказ Финуниверситета от 12.07.2022 № 1762/о) в части подготовки разделов:

- «Результаты проведения опросов российских промышленных предприятий (самооценки) с детализацией по аспектам цифровой трансформации внутри направлений»;

- «Результаты оценки цифровой зрелости на выборке промышленных предприятий»;

- «Результаты оценки рисков цифровой трансформации для рыночных позиций промышленных предприятий»;

- «Методика обеспечения информационной безопасности при использовании цифровых платформ промышленными предприятиями».

Материалы диссертации используются в практической деятельности ООО «Инстамарт Сервис», в частности используется разработанная в диссертации методика преобразования, позволяющая оценить зрелость компании для внедрения модели активного потребителя и способствующая выбору оптимального типа внедряемой модели. Выводы и основные положения диссертации способствуют снижению расходов компании на энергоснабжение.

Материалы диссертации используются в практической деятельности АО «Синтез Групп», в частности используется разработанная в диссертации методика преобразования, позволяющая оценить зрелость компании для внедрения модели активного потребителя и способствующая выбору оптимального типа внедряемой модели. Выводы и основные положения диссертации используются компанией в решении вопросов по снижению расходов на энергоснабжение.

Материалы исследования применяются Департаментом менеджмента и инноваций Факультета «Высшая школа управления» Финансового университета в преподавании учебной дисциплины «Интеллектуальное управление энергосистемой (Smart Grid)» по направлению подготовки 27.03.05 – Инноватика, образовательная программа бакалавриата «Управление цифровыми инновациями».

Апробация и внедрение результатов исследования подтверждены соответствующими документами.

Публикации. Основные положения и результаты исследования отражены в 7 работах общим объемом 11,13 п.л. (весь объем авторский). Все работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации обусловлены целью, задачами и логикой проведенного исследования. Диссертация содержит введение, три главы, заключение, список литературы из 142 наименований, список иллюстративного материала и 8 приложений. Текст диссертации изложен на 204 страницах, включает 27 таблиц и 22 рисунка.

Глава 1

Теоретические, методологические и технологические основы внедрения моделей активного потребителя электроэнергии на розничном рынке электрической энергии

1.1 Основные подходы к организации текущих моделей взаимодействия субъектов розничного рынка электрической энергии

Электроэнергетическая отрасль является одной из базовых инфраструктурных отраслей и играет важную роль в функционировании экономики и жизнеобеспечении России.

Согласно информации Федеральной службы государственной статистики (Росстата), в структуре потребления электроэнергии с разбивкой по отраслям большая часть – 51,6% – приходилась в 2022 г. на добывающую и обрабатывающую промышленность, снабжение ресурсами, такими как электроэнергия, газ, пар, а также на водоснабжение и водоотведение и прочие коммунальные услуги. Потребление электроэнергии городским и сельским населением составило 15,7%, транспортной и логистической деятельностью – 8,2%, сельским, лесным, охотничьим и рыболовным хозяйствами – 2,0%, строительством – 1,1%. При этом на потери в электросетях пришлось 8,5% суммарного объема энергопотребления [11].

В разрезе по субъектам Российской Федерации максимальная доля от общего объема энергопотребления приходится на Центральный федеральный округ (далее – ЦФО) – 20,4%. Доля Сибирского федерального округа (далее – СФО) составила 19,1%, Приволжского (далее – ПФО) – 17,6%, Уральского (далее – УрФО) – 17,4%, Северо-Западного (далее – СЗФО) – 10,2%, Южного (далее – ЮФО) – 7,0%, Дальневосточного (далее – ДФО) – 6,0%, Северо-Кавказского (далее – СКФО) – 2,3% [12].

Согласно Отчету о функционировании Единой энергетической системы (далее – ЕЭС) России в 2022 г. потребление электроэнергии составило 1 106,3 млрд кВт·ч, а общая установленная мощность электростанций ЕЭС России достигла 247 601,8 МВт [13].

При этом энергоемкость российского ВВП является достаточно высокой и превышает мировой уровень на 46%, но наблюдается снижение энергоемкости ВВП, что отражено в Государственном докладе о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации [14].

В Федеральном законе «Об электроэнергетике» приводится следующее определение понятия электроэнергетической системы: «совокупность объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, связанных общим режимом работы в едином технологическом процессе производства, передачи и потребления электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике» [15].

Технологическая архитектура нынешней российской энергетической системы сформирована к середине XX в. и до настоящего момента не подвергалась существенным изменениям, основываясь на трех взаимосвязанных стадиях:

- генерация (производство) электроэнергии на электрических станциях;
- передача (распределение) электрической энергии на большие расстояния при помощи электросетевого оборудования;
- использование (потребление) электроэнергии конечными потребителями (трансформация электрической энергии в другие виды энергии) [16].

В роли *генерации* выступают электростанции – энергоустановки для производства электроэнергии или совмещенной выработки электроэнергии и тепла [17].

Наибольшая доля в выработке электроэнергии также приходится на тепловые электростанции (далее – ТЭС), гидроэлектростанции (далее – ГЭС) и атомные электростанции (далее – АЭС) [13]. Более подробная информация о структуре установленной мощности и выработке электроэнергии представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Доля установленной мощности и доля в энерговыработке электростанций в ЕЭС России

Тип генерации	В процентах	
	Доля установленной мощности	Доля в энерговыработке
ТЭС	66,05	62,92
ГЭС	20,24	17,61
АЭС	11,93	19,32
СЭС	0,85	0,03
ВЭС	0,93	0,12

Источник: составлено автором по материалам [13].

Тепловые электростанции по большей части представлены в виде:

- КЭС – конденсационных электростанций, производящих электрическую энергию в конденсационном режиме;
- ТЭЦ – теплоэлектроцентралей, применяющих комбинированную выработку тепловой и электрической энергии;
- ГТУ – газотурбинных установок;
- ПГУ – парогазовых установок [16].

АЭС в России представлены в виде 11 электростанций, где эксплуатируются 38 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР, РБМК, реакторами на быстрых нейтронах, двумя реакторами типа КЛТ-40С (на плавучей электростанции) [18].

ГЭС в энергетике России по большей части представлены в виде плотинных, в предгорных реках могут применяться деривационные схемы. Также имеются гидроаккумулирующие станции (далее – ГАЭС), способные не только производить электрическую энергию, но и запасать ее путем преобразования в потенциальную энергию поднятой водной массы [19].

Наиболее маневренными видами генерации являются ГЭС, ПГУ и ГТУ, способные быстро и в широком диапазоне изменять свою мощность и обладающие возможностью использоваться как в базовом режиме, так и для покрытия пиковых нагрузок. АЭС являются наименее маневренными электростанциями и используются для покрытия базовых нагрузок. КЭС, как правило, являются установками большой мощности средней маневренности и могут быть использованы как в базовой, так и полупиковой областях графика нагрузки [20].

Передача электроэнергии от электростанций осуществляется при помощи единой национальной (общероссийской) электрической сети (далее – ЕНЭС), а также территориальных распределительных сетей [15].

Отнесение объектов электросетевого хозяйства к ЕНЭС регулируется Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.01.2006 № 41 «О критериях отнесения объектов электросетевого хозяйства к единой национальной (общероссийской) электрической сети» и осуществляется согласно критериям, приведенным в приложении А [21].

Территориальные распределительные сети принадлежат территориальным сетевым организациям – коммерческим организациям, которые оказывают услуги по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства, не относящихся к ЕНЭС.

Оперативно-диспетчерское управление осуществляется субъектом технологической инфраструктуры – акционерным обществом «Системный оператор Единой энергетической системы» (далее – АО «СО ЕЭС»), основной целью которого является обеспечение надежного и качественного снабжения электрической энергией, а также управление технологическими режимами работы ЕЭС [4].

Рыночная система российской электроэнергетики основывается на торговле двумя товарами: электроэнергией и мощностью. По уровню рынки делятся на оптовый и розничный.

Субъектами оптового рынка являются крупные генерирующие компании – в качестве поставщиков электроэнергии и мощности, энергосбытовые компании (а также гарантирующие поставщики) и крупные промышленные предприятия – в роли покупателей, а также субъекты технологической и коммерческой инфраструктур оптового рынка.

Субъектами технологической инфраструктуры оптового рынка являются Системный оператор, представленный АО «СО ЕЭС», и организация по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью – ПАО «ФСК ЕЭС».

Субъектами коммерческой инфраструктуры оптового рынка являются ассоциация «Некоммерческое партнерство Совет рынка по организации эффективной системы оптовой и розничной торговли электрической энергией и мощностью» (далее – НП «Совет рынка»), Коммерческого оператора, представленного акционерным обществом «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии» (далее – АО «АТС»), а также Центр финансовых расчетов – АО «ЦФР» [15].

Основными механизмами оптового рынка электрической энергии являются рынок на сутки вперед (далее – РСВ), балансирующий рынок (далее – БР) и рынок системных услуг (далее – РСУ). Торговля на РСВ производится посредством подачи ценовых заявок поставщиками, то есть генераторами, и потребителями электрической энергии, а цена устанавливается в точке пересечения кривых спроса и предложения. Торги на БР производятся за 3 часа до часа поставки и построены таким образом, чтобы участники, допустившие отклонения от плановых объемов производства и потребления, получали «штрафы» за отклонение, а субъекты, выполнившие команды системного оператора, – положительный экономический эффект [22].

Механизмы торговли электроэнергией направлены на формирование наиболее рациональной загрузки мощностей электростанций, обеспечение краткосрочной экономической эффективности и надежности, а также на подачу ценовых сигналов в качестве предпосылок для энергоэффективного потребления [15; 23].

В свою очередь, рынок мощности призван обеспечить долгосрочную развитие единой энергосистемы. Механизмы рынка мощности способствуют формированию наиболее эффективной структуры генерации, а также обеспечивают строительство генерирующих мощностей, востребованных в будущем [24].

Рынок мощности представлен несколькими механизмами – это: конкурентный отбор мощности (далее – КОМ) [15; 23], мощность, поставляемая в вынужденном режиме [23; 25], договоры о предоставлении мощности (далее – ДПМ) [26; 27], конкурентный отбор проектов модернизации (далее – КОММОД), представляющий собой механизм покупки мощности, отобранной в рамках проектов модернизации генерирующего оборудования тепловых электростанций, и свободные двусторонние договоры и регулируемые договоры [28].

Следующим важным элементов оптового рынка является рынок системных услуг, основная задача которого – формирование экономических механизмов, направленных на привлечение субъектов оптовых рынков к участию в обеспечении системной надежности [15].

Можно выделить четыре основных вида системных услуг:

- услуги, обеспечивающие готовность генерирующего оборудования к регулированию частоты в энергосистеме (нормированное первичное регулирование частоты, далее – НПРЧ);

- услуги по автоматическому вторичному регулированию частоты и перетоков активной мощности (далее – АВРЧМ); представлены в виде

процесса автоматического или оперативного изменения активной мощности генераторов для восстановления заданного значения частоты;

- услуги по регулированию реактивной мощности с использованием генерирующего оборудования электростанций, на котором в течение периода оказания соответствующих услуг не производится электрическая энергия (далее – РРСК).

- услуги по управлению спросом на электрическую энергию [29].

Однако не все желающие могут получить статус субъекта оптового рынка электроэнергии и мощности. Для его получения организация должна удовлетворять критериям, приведенным в Постановлении Правительства Российской Федерации № 1172 [23].

Сфера обращения электрической энергии вне оптового рынка с участием потребителей электроэнергии получила название розничного рынка электрической энергии (далее – РРЭ).

На розничном рынке в качестве продавцов представлены энергосбытовые компании (гарантирующие поставщики), а также малая генерация с установленной мощностью менее 25 МВт. Покупатели – организации, не являющиеся участниками оптового рынка, население и категории, приравненные к нему, например садовые товарищества и гаражные кооперативы. Так же, как и на оптовом рынке, на розничном присутствуют механизмы как нерегулируемого ценообразования, так и регулируемого (для населения и категорий, приравненных к нему) [30].

Взаимоотношения субъектов розничных рынков регулируются Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации от 04.05.2012 № 442 [31].

К субъектам розничных рынков относятся:

- потребители;

- исполнители коммунальной услуги [32];

- поставщики электрической энергии (мощности) – энергосбытовые, энергоснабжающие организации, гарантирующие поставщики;
- производители электрической энергии (мощности) на розничных рынках;
- субъекты, обеспечивающие технологическую инфраструктуру розничных рынков – сетевые организации, осуществляющие услуги по передаче электрической энергии, субъекты оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, осуществляющие указанное управление на розничных рынках [16].

Электросетевые организации. Основными видами деятельности электросетевых организаций являются оказание услуг по передаче электроэнергии, а также оказание услуг по технологическому присоединению.

Услуги по передаче электрической энергии – комплекс организационно и технологически связанных действий, в том числе по оперативно-технологическому управлению, которые обеспечивают передачу электрической энергии через технические устройства электрических сетей в соответствии с обязательными требованиями.

Так как услуги по передаче электроэнергии относятся к сфере естественной монополии [33], доход от услуг по передаче электроэнергии формируется при помощи тарифа на передачу, утверждаемого органом-регулятором исходя из экономически обоснованных затрат на осуществление регулируемого вида деятельности – передачи электроэнергии [34; 35; 36].

Следующим основным видом деятельности электросетевых компаний является *технологическое присоединение* – присоединение к объектам электросетевого хозяйства энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам [15].

Стандартизированные тарифные ставки для расчета платы за технологическое присоединение к электросетям также устанавливаются органами-регуляторами в сфере тарифообразования [37].

Также электросетевые компании предоставляют дополнительные услуги для формирования альтернативных источников дохода:

- переустройство электросетевых объектов в интересах клиента;
- организация систем наружного освещения;
- энергоаудит и энергоконсалтинг;
- установка и замена приборов учета;
- технологическое обслуживание и ремонт электрических сетей и электрооборудования и т.д. [38].

Необходимо отметить, что электросетевая организация осуществляет покупку электроэнергии у гарантирующего поставщика в целях компенсации потерь. В связи с этим электросетевые организации заинтересованы в совершенствовании электросетевого оборудования, своевременном выявлении безучетного и бездоговорного потребления и уменьшении случаев применения расчетных методов определения полезного отпуска электроэнергии.

Гарантирующие поставщики и энергосбытовые компании.

Гарантирующий поставщик – это коммерческая организация, обязанная заключить договор энергоснабжения (купли-продажи) с любым обратившимся к ней потребителем либо с покупателем, действующим от имени и в интересах потребителя. Каждый гарантирующий поставщик действует в таком качестве в рамках своей зоны деятельности. Зоны деятельности гарантирующих поставщиков не пересекаются.

Плата за услугу энергосбытовой компании называется «сбытовая надбавка». Размер сбытовой надбавки для гарантирующего поставщика является величиной, регулируемой государством, и устанавливается для следующих категорий потребителей:

- население и категории, приравненные к нему (гаражные кооперативы, садовые участки и т.д.);
- территориальные сетевые организации (покупающие электроэнергию с целью компенсации потерь в сетях);
- прочие потребители (с разбивкой по категориям, определяемым размером присоединенной мощности энергопринимающих устройств) [39].

Энергосбытовые компании в отличие от гарантирующих поставщиков свободны в заключении договоров с потребителями и определении цены, за исключением поставки электрической энергии (мощности) населению и приравненным к нему категориям потребителей.

Ключевым видом деятельности энергосбытовых компаний и гарантирующих поставщиков является покупка электрической энергии и мощности на оптовом или розничном рынке у компаний генерации с последующей продажей ее потребителям на розничном рынке. Также энергосбытовая компания заключает договоры на оказание услуги по передаче электроэнергии с территориальной сетевой организацией [31].

Доход гарантирующего поставщика формируется исходя из сбытовой надбавки, утверждаемой органами регулирования [40]. Сбытовая надбавка призвана обеспечить покрытие расходов организации на обслуживание потребителей: затраты на содержание офисов, клиентских центров, информационных систем, развитие биллинговых систем и т.д.

Принцип формирования дохода независимой энергосбытовой организации несколько отличен. За исключением продажи электроэнергии населению и категориям, приравненным к нему, при заключении договора энергосбытовая компания вправе установить свободную нерегулируемую цену, тем самым привлекая клиентов путем скидок или более выгодных условий расчета.

Финансовые потоки, аккумулируемые энергосбытовой компанией или гарантирующим поставщиком, далее распределяются между генераторами

электроэнергии, субъектами коммерческой инфраструктуры и оперативно-диспетчерского управления, а также электросетевыми компаниями.

В связи с этим энергосбытовые компании несут ответственность за своевременность оплаты электроэнергии потребителями, что вынуждает энергосбытовой бизнес уделять отдельное внимание работе с дебиторской задолженностью.

С целью избегания снижения доходности на розничных рынках, а также формирования дополнительных денежных потоков энергосбытовые организации реализуют ряд дополнительных видов деятельности, таких как:

- монтаж и обслуживание автоматизированная система коммерческого учета;
- электромонтажные работы;
- продажа сопутствующих электротехнических товаров;
- биллинговые услуги в сфере коммунальных услуг и мобильной связи;
- услуги энергетического консалтинга и т.д. [41].

Также гарантирующие поставщики и энергосбытовые компании не исключают для себя выходы и на новые рынки. Например, АО «Мосэнергосбыт» в качестве перспективных рассматривает следующие виды деятельности: монтаж, поверка и техническое обслуживания систем тепловой энергии, систем учета расхода горячей и холодной воды, обслуживание потребителей в сфере ЖКХ, а также в сфере управления многоквартирными домами [42].

Розничная генерация. Производители электроэнергии имеют право работать на розничном рынке, если объект производства электроэнергии соответствует приведенным ниже критериям:

- объект генерации принадлежит ЕЭС;
- в отношении объекта на оптовом рынке электроэнергии и мощности (далее – ОРЭМ) не зарегистрированы группы точек поставки;

- установленная мощность объекта генерации меньше 25 МВт;
- установленная мощность объекта генерации больше или равна 25 МВт, но на него не распространяется требование о реализации электроэнергии на ОРЭМ [23];
- объект генерации используется для реализации электроэнергии на розничном рынке [31].

Основным видом деятельности розничного генератора является продажа выработанной электроэнергии гарантирующим поставщикам, энергосбытовым компаниям, конечным потребителям и сетевым организациям.

Производители в отношениях по купле-продаже электрической энергии (мощности) на розничных рынках могут выступать как продавцами электроэнергии, так и покупателями.

В случаях приобретения ими электроэнергии (мощности) для собственных производственных нужд розничные генераторы выступают в роли потребителей.

При этом для энергопринимающих устройств, в отношении которых с производителем на розничном рынке заключен договор, также должен быть заключен договор энергоснабжения с гарантирующим поставщиком, в границах зоны деятельности которого расположены указанные энергопринимающие устройства.

Таким образом, конечная цена для потребителя электроэнергии складывается из следующих элементов [16; 30; 31; 39]:

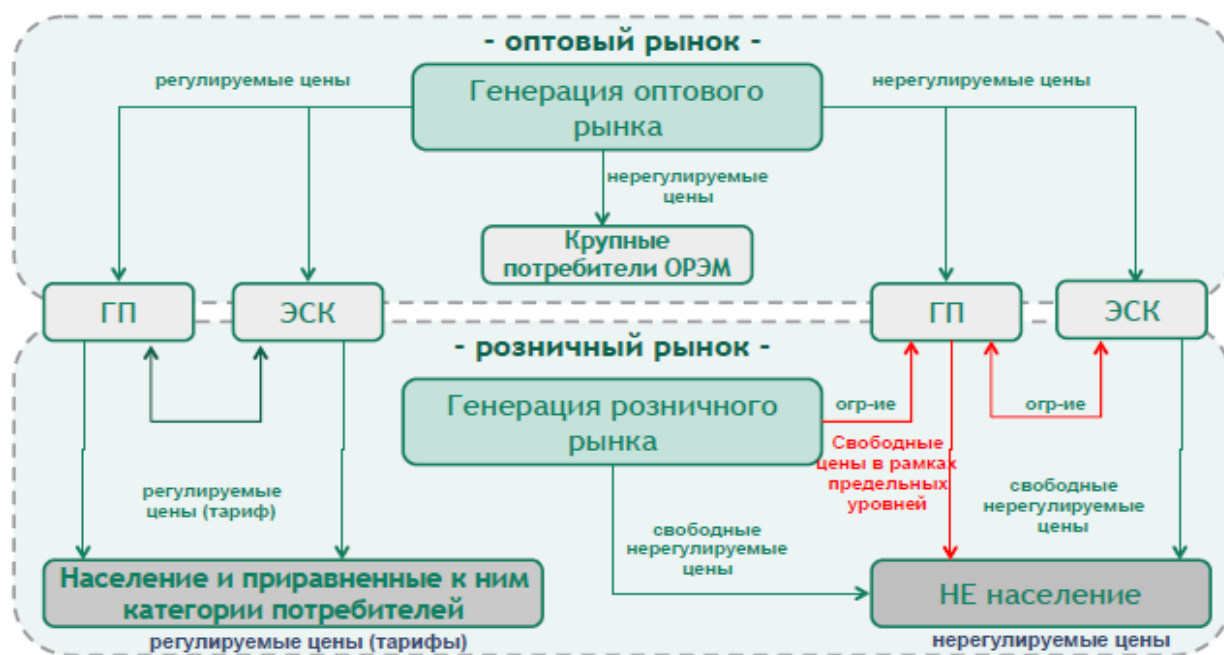
- стоимость электрической энергии – оплата расходов на покупку электрической энергии на оптовом рынке, выраженная в виде средневзвешенных нерегулируемых цен;
- стоимость мощности – оплата расходов на покупку мощности на оптовом рынке, выраженная в виде средневзвешенных нерегулируемых цен;

- тариф на передачу электроэнергии – оплата услуг электросетевых компаний, устанавливаемая органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации в сфере регулирования тарифов (тариф на передачу для ПАО «ФСК ЕЭС» устанавливается Федеральной антимонопольной службой (далее – ФАС);

- инфраструктурные платежи – оплата услуг Коммерческого оператора, Системного оператора (устанавливаются ФАС) и Центра финансовых расчетов (устанавливается НП «Совет рынка»);

- сбытовая надбавка – плата за услуги сбытовой компании, устанавливаемая органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации в сфере регулирования тарифов.

Система рынков и регулирование построены таким образом, чтобы конечному потребителю транслировались цены, сформированные как на оптовом рынке, так и на розничном. На рисунке 1 отображена принципиальная схема взаимодействия субъектов электроэнергетики на оптовом и розничном рынках.



Источник: составлено автором по материалам [16; 31].

Рисунок 1 – Схема взаимодействия субъектов электроэнергетики на оптовом и розничном рынках

Таковы ключевые элементы моделей взаимодействия энергокомпаний и потребителей на розничном рынке электроэнергии на сегодняшний день. Однако большое число исследований свидетельствует о существовании тенденций и трендов, сулящих скорые перемены в моделях поведения как потребителей, так и энергокомпаний и, как следствие, влекущих за собой трансформацию их моделей взаимодействия.

Исследователи Линдер Н.В. и Трачук А.В. отмечают пять видов перекрестного субсидирования населения в рыночной энергетике Российской Федерации, представленного регулируемыми договорами, межтерриториальным субсидированием, перекрестным субсидированием между одноставочным и двуставочным тарифами и т.д. [24; 43; 44]. При этом отмечается, что наличие перекрестного субсидирования искажает ценовые сигналы в отрасли, вынуждает потребителей строить собственную генерацию и уходить из ЕЭС. К тому же большая часть нагрузки по субсидированию приходится на субъекты малого и среднего предпринимательства (далее – МСП) [45; 46].

По данным, представленным в отчете КПМГ [47], с 2015 г. по 2020 г. объемы перекрестного субсидирования увеличились примерно на 220%, при этом вклад перекрестного субсидирования в конечную цену электроэнергии варьируется от 17 до 30%.

В исследовании НТИ «Энерджинет» обозначен ряд вызовов, стоящих перед компаниями российской энергетике:

- относительно невысокая плотность электрических сетей, обусловленная высокими расстояниями;
- высокая величина капитальных затрат при строительстве, недостаточно высокая производительность труда при последующей эксплуатации;
- коэффициент используемой установленной мощности в среднем по всем видам генерации относительно низок [48].

Однако помимо обозначенных выше проблем существует и ряд технологических трендов, приводящих к изменению облика энергосистем, например рост доли энерговыработки на установках, использующих возобновляемые источники энергии (далее – ВИЭ), трансформация потребителей из пассивных в активных [1], а также тренд на децентрализацию за счет использования распределенных энергетических ресурсов: децентрализованной малой генерации и интеллектуальных энергетических сетей, реализующих механизмы управления спросом (demand response) [49]. Данные изменения усиливаются снижением стоимости и более широким применением систем накопления электроэнергии (далее – СНЭ) [3; 50; 51], а также развитием систем учета электроэнергии [52].

В качестве перспективной модели взаимодействия развивается управление спросом на электроэнергию – метод взаимодействия энергокомпаний с потребителями, направленный на регулирование объемов и режимов энергопотребления с целью снижения цены на электроэнергию [53]. При этом в экспертном докладе Инфраструктурного центра «Энерджинет» отмечается высокий потенциал России в управлении спросом (от 4 до 6 ГВт управляемой мощности) с потенциальным эффектом от управления от 67 до 105 млрд руб. [54].

Помимо этого, эффекты от внедрения новых энергетических технологий проявляются значительно сильнее при комплексном внедрении совместно с цифровыми решениями, такими как интернет вещей, машинное обучение и аналитика больших данных, а также технология распределенных реестров, то есть технологиями Индустрии 4.0, и позволяют охарактеризовать такие энергетические системы как киберфизические [55; 56].

Совокупность данных технологий и эффектов от их внедрения могут привести к тому, что у розничных потребителей не только возникнет возможность снижать свою нагрузку в более дорогие часы, но и использовать свои электрогенерирующие или накопительные мощности как для

собственных нужд, так и для поставки мощности в единую энергосистему или иным розничным потребителями [6; 7; 57]. При этом изменение поведения не ограничивается единичными случаями: при помощи современных цифровых технологий потребитель может управлять своим объемом энергопотребления или взаимодействовать с иными потребителями для управления совокупной нагрузкой [3; 5]. Таким образом, влияние технологий Индустрии 4.0 на розничных потребителей может привести к появлению нового, ранее не существовавшего типа потребителя, участвующего в активной торговле электроэнергией и обладающего большей энергоэффективностью, – активного потребителя, или просьюмера [3; 4; 57].

В стратегических документах Правительства Российской Федерации и федеральных органов исполнительной власти также отмечается высокий потенциал технологий, таких как распределенная и микрогенерация, технологии управляемого энергопотребления, технологии виртуальной электростанции для трансформации облика розничного рынка и создания на нем условий, способных повысить конкуренцию и привести к замедлению повышения цен и тарифов, а также вовлечения инвестиций во внедрение систем агрегирования нагрузки и управления спросом [10]. С целью реализации данного потенциала основана Национальная технологическая инициатива «Энерджинет», утверждены пилотные проекты по созданию агрегаторов нагрузки [58] и активных энергокомплексов [59].

Необходимо отметить, что в зарубежной литературе также обозначается ряд трендов, таких как распространение цифровых технологий в энергетике и вовлечение конечных потребителей на розничном рынке в активную торговлю. Так, в исследовании, посвященном итальянскому розничному рынку электроэнергии [60], делается вывод, что взаимодействия на розничном рынке достаточно продвинулись вперед, чтобы успешно интегрировать в себя растущую долю распределенной генерации, широко внедрить интеллектуальные счетчики и развить распределительную инфраструктуру

таким образом, чтобы между субъектами рынка происходил не только энергетический обмен, но и информационный.

Исследователи в статье [61] отмечают, что последовательное повышение вовлеченности потребителей на розничном рынке способно повысить эффективность ценообразования и снизить рыночную концентрацию.

В работе, посвященной развитию розничных рынков Великобритании [62], приводятся схожие выводы о том, что ключевую роль в распространении децентрализованной малой (распределенной) генерации, в том числе использующей ВИЭ, и повышении гибкости энергосистемы за счет реализации управления спросом могут сыграть розничные потребители.

На розничных рынках Европы, США, Австралии, Новой Зеландии и Японии также проводятся всесторонние исследования, посвященные разворачиванию рыночных механизмов, вовлекающих конечных потребителей на розничном рынке в активную торговлю электроэнергией при помощи различных механизмов динамического ценообразования, ценообразования в режимах реального времени или моделей, основанных на вознаграждениях за выполнение команды регулятора рынка [63].

Однако непосредственное внедрение в России успешно зарекомендовавших себя на зарубежных рынках моделей и пилотных проектов не представляется возможным, так как в различных странах различаются механизмы, структура и распределение обязанностей на оптовом и рынке. В свою очередь, взаимодействие на розничном рынке напрямую зависит от взаимодействия на оптовом. В рамках данной работы не разрабатывается переработка модели функционирования оптового рынка Российской Федерации, в связи с чем преобразование розничного рынка электроэнергии в России будет рассматриваться со стороны его совершенствования в условиях цифровой трансформации в рамках текущей парадигмы.

Таким образом, технологические тренды, выраженные распространением современных энергетических технологий, а также технологий Индустрии 4.0, внутренние вызовы, стоящие перед энергосистемой России и ее рыночной системой, и трансформация поведения конечных потребителей на розничном рынке приводят к трансформации энергосистемы, в том числе за счет преобразования взаимодействий на розничном рынке. Для выявления эффектов от распространения технологий цифрового перехода в электроэнергетике для субъектов розничного рынка, проявляющихся в рамках ключевых энергетических технологий, и анализа их способности трансформировать пассивного потребителя электроэнергии в активного далее будет рассмотрен ряд современных технологий электроэнергетики.

1.2 Современные технологии электроэнергетики: эффекты от распространения в условиях цифровой трансформации отрасли

В ряде зарубежных исследований отмечается, что с усилением конкурентоспособности децентрализованных энергетических систем, построенных на распределенной генерации (в том числе с использованием ВИЭ), централизованные энергосистемы, использующие ископаемое топливо в качестве первичного энергетического ресурса, будут претерпевать трансформацию [64; 65; 66].

Помимо этого, ожидается существенный рост количества электромобилей, причем к 2030 г. в мире ожидается 750 млн, а к 2050 г. – почти 3 млрд, что в двадцать раз больше нынешнего уровня [66], что также способно привести к необходимости изменения конфигурации электрических сетей.

Распределенная генерация. На сегодняшний день среди исследователей нет единого понимания термина «распределенная генерация». В зарубежных исследованиях [67; 68] распределенная генерация описывается как малая

генерация, расположенная в технологически изолированных от единой энергосистемы районах. В других источниках распределенная генерация представляется в виде генераторов, расположенных или на стороне конечного потребителя, или на уровне распределительных электросетей. В отечественной нормативно-правовой базе под распределенной генерацией подразумеваются источники электроэнергии с установленной мощностью меньше 25 МВт (включая ВИЭ) вследствие правил отнесения генерирующих объектов к субъектам ОРЭМ [23].

Для целей данного исследования решено остановиться на определении Энергетической школы СКОЛКОВО, так как оно дает максимально полное представление, не отсылая к числовым границам малой генерации, характерным для каждого конкретно взятых рынков электроэнергии различных стран: «Распределенная генерация – это совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько)» [4].

В исследованиях [69; 70] основными видами распределенной генерации определяют газовые и парогазовые турбины, а также малые газопоршневые генераторы. К распределенным генераторам могут относиться установленные на стороне конечного потребителя ветряные вышки и солнечные панели, а также иные генераторы на основе ВИЭ [71]. К децентрализованным генераторам часть исследователей также относит когенерационные установки, производящие электроэнергию и тепловую энергию одновременно, а также малые атомные реакторы или модульные реакторы [70; 72].

Ключевым драйвером распространения ВИЭ является тренд на снижение его стоимости. По данным исследования [3], стоимость установок ветряной генерации снизилась в 10 раз с 1980 г. по 2013 г., а стоимость солнечных генераторов сократилась на 75% к 2014 г. относительно 2009 г.

Необходимо отметить, что, несмотря на это, доля ВИЭ в российской энергосистеме весьма невелика (1,1%).

По данным Global Energy Statistical Yearbook за 2020 г., доля ВИЭ (включая гидрогенерацию) в мировой выработке электроэнергии составляла 28%, при этом относительный прирост установленной мощности оценивается в 6% [73]. Необходимо отметить, что доля гидрогенерации в энергоснабжении составляет примерно 16%.

Подходы к применению распределенной генерации, предложенные в работе 2018 г. Налбандяна Г.Г. и Жолнерчик С.С. позволяют выделить спектр эффектов от ее внедрения [74]:

- бесперебойное снабжение производства, энергетическая безопасность и автономность;
- переключение потребления электроэнергии из ЕЭС на внутреннюю выработку (в том числе продажа избытков выработки в сеть) и наоборот, исходя из ценовых сигналов;
- новый поток доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг;
- оптимизация энергетических режимов;
- уменьшение относительной величины выбросов углекислого газа.

В отличие от крупной генерации, строительство распределенной генерации способно более точно покрывать локальные потребности в генерирующих мощностях, тем самым более эффективно распределяя инвестиции [4]. Расположение распределенной генерации на стороне конечного потребителя или на уровне распределительной сети также приводит к снижению необходимости вложения денег в строительство электросетей, покрывающих пики перетоков электроэнергии [1]. Помимо этого, при сопоставимом с крупными генерирующими мощностями КПД распределенная генерация находится ближе к конечному потребителю, что снижает уровень

технологических потерь в электросетевом комплексе, а также приводит к большей устойчивости к авариям и отключениям [74; 75].

Распределенная генерация является основой построения интеллектуальных энергетических сетей [4; 76]. Архитектура таких сетей, учитывающая «распределенность» генерации, применение интеллектуальных систем учета электроэнергии, возможность оперативного участия всех субъектов при помощи цифровых технологий, а также двунаправленного потока мощности, получила названия «интернет энергии» [77].

При этом в моменты, когда у предприятий или домохозяйств потребление оказывается ниже потенциальной выработки на собственной генерации, открывается возможность продать излишки энергоснабжения в сеть, тем самым вовлекая конечного потребителя в активную торговлю электроэнергией и переводя потребителя из статуса пассивного в статус активного [78].

Системы накопления электроэнергии. Следующая технология, оказывающая серьезное воздействие на трансформацию розничного рынка электроэнергии и мощности, – это системы накопления электроэнергии (далее – СНЭ).

Так как на сегодняшний день электроэнергию невозможно накапливать и хранить в промышленных масштабах, то существует необходимость содержать в энергосистеме генерирующие и электросетевые мощности, использующиеся только в часы наибольшего потребления электроэнергии. Системы накопления электроэнергии могут в том числе быть использованы в качестве пиковых генерирующих мощностей [79].

Также СНЭ могут найти применение в энергетических системах, в энергобалансе которых значимую долю занимают ВИЭ. Стохастический характер энергоснабжения на солнечных панелях и ветряных генераторах может быть сбалансирован за счет систем накопления: в солнечные или ветряные часы, когда выработка превышает потребление, СНЭ будут

накапливать электроэнергию, а когда выработка на ВИЭ прекратится, накопитель отдаст энергию обратно в сеть [80].

Как отмечает консалтинговое и исследовательское агентство Navigant Research, популярность и применяемость СНЭ возрастает по мере снижения их стоимости и с каждым годом их применение становится все более экономически обоснованным [81]. Дополнительным стимулом использования СНЭ является удешевление стоимости генераторов, использующих возобновляемые источники энергии, а также тренд на переход от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на электромобили, которые в большинстве своем оснащены Li-ion батареями, которые при подключении к электросетям также могут выступать в роли систем накопления и реализовывать все их преимущества [82].

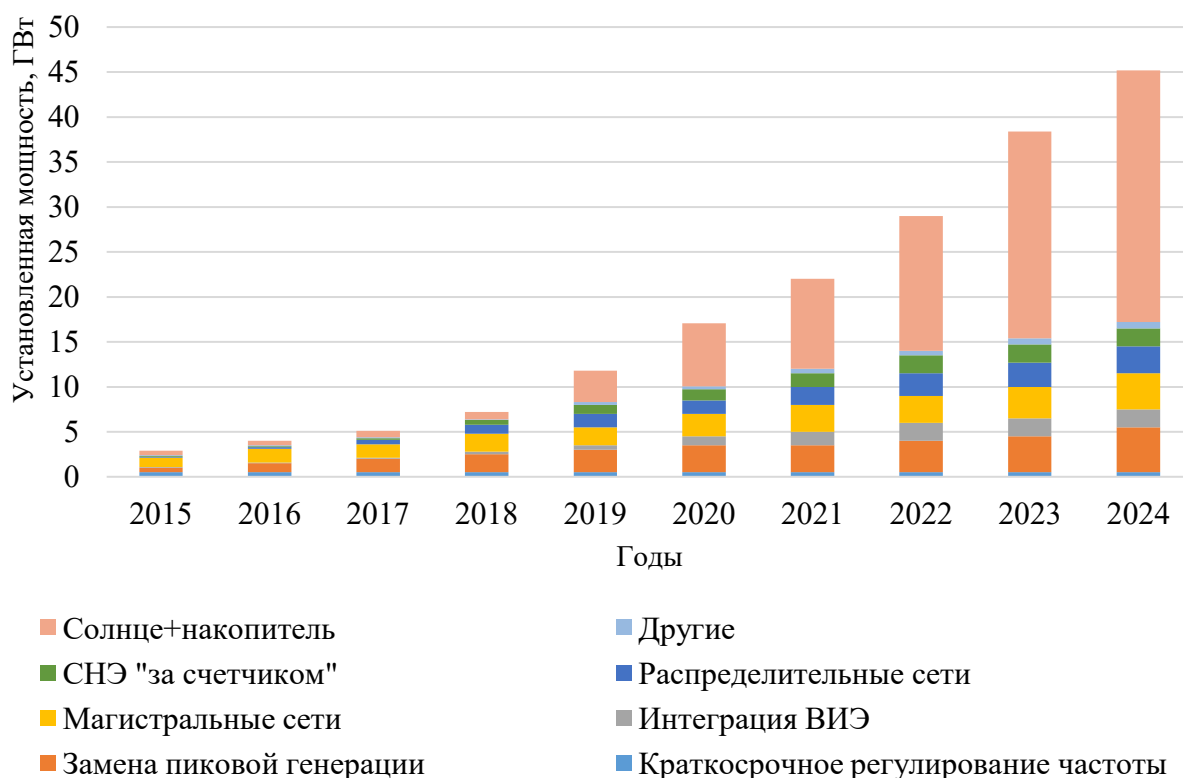
Согласно исследованию [50], общемировой рынок СНЭ с 2009 г. по 2019 г. вырос в 48 раз, а среднегодовой тем роста составил 47%. На 2019 г. построено порядка 2,5 ГВт накопителей, при этом порядка 1 ГВт установлено на стороне конечного потребителя – «за счетчиком»; прогнозируется, что в ближайшем будущем количество СНЭ на стороне потребителей достигнет 50%.

Согласно прогнозу Global Energy Storage Forecast, к 2025 г. установленная мощность СНЭ достигнет 50 ГВт [50]. На рисунке 2 представлен среднесрочный прогноз распространения СНЭ с разбиением по способам применения.

В исследовании Министерства энергетики Российской Федерации выделяется ряд способов применения СНЭ:

- обособленный источник электрической энергии, способный снабжать объект, не подсоединенный к электрическим сетям, продолжительное время;
- аварийный источник бесперебойного питания, временно компенсирующий выбывшие в результате аварии генерирующие мощности и

электросетевые источники поставки до восстановления основного энергоснабжения;



Источник: составлено автором по материалам [50; 83].

Рисунок 2 – Среднесрочный прогноз распространения СНЭ с разбиением по способам применения

- сглаживание пиков энергопотребления в суточном графике;
- исполнение системных услуг в части первичного или вторичного частотного регулирования [80].

В исследовании Инфраструктурного центра «Энерджинет» [50] представлен более широкий спектр применения СНЭ и потенциальных эффектов от их внедрения. Также в данной работе предложен подход по классификации СНЭ на четыре класса.

К классу «системные накопители» отнесены крупные накопители, расположенные на уровне магистральных электрических сетей или распределительных сетей на уровне высокого напряжения. Данные накопители оказывают системные услуги (регулирование частоты и

удержание напряжения в определенном коридоре), снижают потребность в строительстве электросетевых мощностей, используемых только в часы пик, а также обеспечивают дополнительную гибкость энергосистемы для размещения в ней больших долей генераторов, использующих ВИЭ.

Исходя из описываемого функционала, основным конкурентом системного накопителя является пиковая генерация, и конкурентоспособность СНЭ в данном контексте будет в большей степени обусловлена разницей в экономических показателях в сравнении с традиционными пиковыми генераторами.

Следующий класс – это «накопители, установленные в распределительных сетях». Помимо описанного выше функционала они смогут выступать в качестве резервного источника питания при поломке в магистральных сетях или сетях более высокого уровня напряжения.

Класс СНЭ меньшей мощности, называемый «накопители, установленные в сетях конечного потребителя», несет еще большее количество полезных функций. Они могут являться источниками бесперебойного питания при поломке основных источников на объекте, использоваться как стабилизаторы напряжения и частоты для высокотехнологичного и чувствительного к данным параметрам оборудования. Также использование СНЭ может стать альтернативой расходам на технологическое присоединение при необходимости увеличения мощности для покрытия нагрузки в пиковые часы энергопотребления.

Последний класс – «накопители, расположенные на стороне генерации» – представляет собой СНЭ, принадлежащую владельцам генерирующих мощностей и применяемую для снижения операционных затрат электростанций при их маневрировании для следования суточному графику нагрузки.

Аналитический отчет VYGON Consulting [84] приводит утверждение, что экономическая эффективность применения СНЭ существенно возрастает

при использовании в нескольких рыночных механизмах одновременно: для интеграции ВИЭ, оказания системных услуг, балансировки пиковых часов потребления электроэнергии. Комбинация данных направлений способна существенно сократить срок окупаемости приобретенной СНЭ.

Таким образом, системы накопления электроэнергии будут играть значимую роль в формировании интеллектуальных электросетей и являться одной из ключевых технологий для формирования класса активных потребителей и вовлечения их в управление своей нагрузкой наряду с распределенными генераторами [6; 50].

Распространение стохастической возобновляемой генерации, рост количества климатической техники, а также электрификация автомобильного транспорта совместно могут привести к формированию нового типа спроса, характеризующегося высоким уровнем изменчивости нагрузки. В странах с высокой долей ВИЭ, таких как энергия солнца и энергия ветра, исследователями отмечается волатильность на балансирующих рынках: периоды чрезвычайно высоких цен сменяются отрицательными ценами [85]. В сетях с высокой долей распределенных генерирующих мощностей уже наблюдаются проблемы колебаний напряжения, потерь в сети, проблемы баланса системы и резервирования, а также снижения показателей надежности и качества электроэнергии [86].

Однако не только проблемы разбалансировки вызываются данными тенденциями. В работах [65; 87] делается акцент на том, что распространение систем интеллектуального учета, интернета вещей, повышение управляемости нагрузки, в том числе в результате распространения систем накопления электроэнергии и электромобилей, а также внедрение управления спросом повышают гибкость как генерации электроэнергии, так и ее потребления. Способность сместить спрос и предложение электроэнергии на более выгодные периоды одновременно с предоставлением ряда вспомогательных услуг не только позволяет преодолеть проблемы внедрения распределенных

энергоресурсов, но и предоставить конечным потребителям набор возможностей для активного участия в процессе выработки и потребления электроэнергии.

Интеллектуальные системы учета электроэнергии (далее – ИСУ). В работе «Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения» [5] раскрывается роль интеллектуальных систем учета в преобразовании оптового и розничного рынков электроэнергии и мощности.

Интеллектуальные системы учета электроэнергии представляют собой традиционные системы коммерческого учета, дополненные функциями по сбору, передаче, приему и отправке информации об электропотреблении [57; 88]. Как и рассмотренные технологии выше, ИСУ являются одними из ключевых в цифровизации энергетических систем.

В статье [5] приводится перечень функционала, отличающего интеллектуальные системы учета от обычных систем коммерческого учета. «К ключевым функциям относятся:

- мониторинг объема потребления в режиме реального времени;
- возможность агрегации данных различных счетчиков в единую базу данных;
- хранение статистических данных по электрическим характеристикам;
- получение информации по потокам электроэнергии и достоверное определение уровня технологических и коммерческих потерь в электросетях;
- выявление безучетного энергопотребления и фактов воздействия на счетчики;
- формирование энергосберегающих стратегий и оценка их реализации;
- дистанционное ограничение энергопотребления.

Однако, несмотря на текущий обширный функционал интеллектуальных систем учета, еще большими возможностями обладают ИСУ, построенные на основе технологии неинтрузивного мониторинга нагрузки (Non-Intrusive Load Monitoring, далее – NILM). NILM – это метод анализа данных об общей электрической нагрузке, полученных путем измерения силы тока и напряжения в одной точке, с последующим разделением общей нагрузки на нагрузки отдельных устройств» [5].

Согласно исследованиям [89; 90] технология NILM является одной из значимых для преобразования рынков электроэнергии и мощности, так как она не только позволяет повышать энергетическую эффективность предприятий и домохозяйств, но и становится источником новых типов взаимодействия между компаниями энергетической отрасли и конечными потребителями.

В исследованиях [91; 92; 93] приводятся следующие отличительные черты ИСУ, построенных на технологии NILM:

- отсутствие необходимости прямой врезки в электросети объекта (токо-частотные характеристики замеряются при помощи электромагнитных полей) и при этом соответствие классу точности традиционных систем коммерческого учета;

- использование методов машинного обучения для дезагрегации данных о потреблении электроэнергии и мощности. Эта особенность позволяет декомпозировать суммарное потребление объекта до конкретных устройств, подключенных к его сетям.

Исходя из этих отличительных свойств интеллектуальные системы учета на основе NILM реализуют ряд полезных для предприятий и домохозяйств функций:

- декомпозиция общего электропотребления объекта до потребления каждого устройства в электросетях объекта;

- декомпозиция общего электропотребления объекта до конкретных помещений за счет возможности неинтрузивной установки таких ИСУ;

- превентивная аналитика ненормативного режима работы для предотвращения выхода из строя используемого на предприятии оборудования;

- оптимизация графика загрузки используемого оборудования исходя из ценовых сигналов из единой энергосистемы и особенностей технологического процесса предприятия;

- возможность агрегации данных, собранных с одной или нескольких ИСУ, их обработка и отображение в пользовательском приложении или онлайн-платформе;

- оповещение пользователя при длительной работе того или иного устройства в виде push-уведомления.

Более подробное описание каждой из функций опубликовано автором в статье [5].

Цифровые технологии Индустрии 4.0. Современные энергетические технологии, описанные выше, безусловно, являются важными, однако существует ряд технических решений, которые могут помочь интегрировать вышеперечисленные технологии между собой, тем самым повышая эффективность их использования.

Согласно исследованиям [7; 94; 95], к таким технологиям можно отнести:

- промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, далее – IIoT), который связывает оборудование объекта в единую сеть, обменивающуюся информацией, а также способную осуществлять управляющее воздействие посредством сигналов на реле оборудования;

- аналитику больших данных, которые могут быть собраны с интеллектуальных систем учета или из сетей IIoT. Анализ больших данных может помочь оптимизировать графики загрузки оборудования предприятия и более эффективно отвечать на ценовые сигналы энергорынка, а также

способствовать повышению непрерывности работы объекта и его отказоустойчивости за счет предиктивного анализа потенциальных поломок;

- блокчейн и Smart-контракты. За счет применения технологии Smart-контрактов может быть достигнуто существенное сокращение транзакционных издержек по всей технологической цепи поставки электроэнергии от генератора до конечного потребителя или же среди конечных потребителей, принимающих участие в какой-либо модели активного потребителя.

В публикации [95] делается вывод, что именно цифровые технологии Индустрии 4.0 способны существенно повысить качество управления энергетическими системами, их эффективность и гибкость, в первую очередь за счет аналитики больших данных.

Таким образом, именно применение цифровых решений, то есть цифровая трансформация отрасли на уровне взаимодействия между потребителями и энергетическими компаниями, позволяет достичь широкого спектра эффектов от внедрения современных энергетических технологий, сформированных в последние десятилетия, таких как распределенная генерация, СНЭ и ИСУ [96]. Консолидированный спектр эффектов от внедрения современных энергетических технологий для субъектов розничного рынка, проявляющихся в условиях цифровой трансформации в отрасли, представлен в таблице 2.

Отечественные и зарубежные исследователи в публикациях [7; 8; 97] отмечают, что внедрение распределенной генерации (в том числе с использованием возобновляемых источников энергии), систем накопления электроэнергии, интеллектуальных систем учета, интегрированных друг с другом посредством цифровых технологий Индустрии 4.0, приведут к более точному управлению энергопотреблением, более точному прогнозированию потребления, возможности настройки двунаправленного информационного обмена.

Таблица 2 - Эффекты от внедрения современных энергетических технологий для субъектов розничного рынка, проявляющихся в условиях цифровой трансформации

Участник рынка электроэнергии и мощности	Распределенная генерация	Системы накопления электроэнергии	Интеллектуальные системы учета электроэнергии
Физические лица и домохозяйства	1) Обеспечение бесперебойного снабжения производства, энергетическая безопасность и автономность 2) Оперативное переключение потребления электроэнергии из ЕЭС на внутреннюю выработку (в том числе продажа избытков выработки в сеть) и наоборот исходя из ценовых сигналов 3) Формирование нового потока доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг 4) Оптимизация энергетических режимов предприятия / коммерческого здания / домохозяйства 5) Уменьшение относительной величины выбросов углекислого газа	1) Непрерывное обеспечение энергией при поломках во внешних сетях или внутренних генераторах 2) Обеспечение непрерывности технологического процесса и повышение качества электроэнергии для чувствительного оборудования 3) Формирование нового потока доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг 4) Оптимизация энергетических режимов предприятия / коммерческого здания / домохозяйства	1) Поприборная разбивка потребляемой электроэнергии, детекция наименее энергоэффективных приборов 2) Установление энергетического режима в сети, обеспечивающего минимизацию цены на 1 кВт*ч потребленной энергии 3) Мониторинг показателей работы оборудования для предиктивного контроля и предотвращения поломок 4) Осуществление социального и родительского контроля посредством мониторинга работающего оборудования 5) Выявление кейсов неправомерного использования приборов и оборудования 6) Предоставление информационных ресурсов для участия в программах по агрегации снижения нагрузки
Производства и крупная коммерческая недвижимость			
Сфера жилищно-коммунального хозяйства и коммерческой недвижимости			

Источник: составлено автором по материалам [1; 3; 4; 5; 6; 7; 50; 57; 65; 71; 74; 84; 87; 88; 95; 96].

Это в свою очередь позволит конечным потребителям перейти из статуса пассивных, находящихся в энерго- и ценопринимающей позиции, в статус активных, способных не только гибко управлять своей нагрузкой, но и продавать часть выработанной на своем оборудовании электроэнергии в сеть, а также участвовать в оказании системных услуг и иных рыночных

механизмах, тем самым непосредственно влияя на формирование цены на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности.

При этом как в российских [3; 54], так и зарубежных [8; 9; 62] исследованиях делается вывод, что в моделях активного потребителя могут эффективно участвовать не только крупные игроки с большой нагрузкой, а также развитыми компетенциями в области рыночных механизмов энергетики, но и конечные потребители розничного рынка (в том числе и домохозяйства), у которых расположены существенные объемы потенциально управляемой нагрузки и которые так же, как оптовые потребители, заинтересованы в оптимизации затрат на приобретение электроэнергии.

Совокупность данных технологий и эффектов от их внедрения приводит к возникновению у розничных потребителей возможности не только снижать свою нагрузку в более дорогие часы, но и использовать свои генерирующие или накопительные мощности как для собственных нужд, так и для поставки мощности в единую энергосистему или другим розничным потребителями. При этом изменение поведения не ограничивается единичными случаями: при помощи современных цифровых технологий потребитель может управлять своим объемом энергопотребления или взаимодействовать с иными потребителями для управления совокупной нагрузкой. Таким образом, формируется новый, ранее не существовавший тип потребителя, участвующий в активной торговле электроэнергией и обладающий большей энергоэффективностью – активный потребитель, или просьюмер.

1.3 Модели активного потребителя. Ключевые эффекты и потенциал внедрения для субъектов рынка электроэнергии Российской Федерации

Ряд исследователей рассматривают мотивацию потребителей к участию в торговле электроэнергией через призму моделей ценообразования на услуги

по управлению спросом и способов верификации факта оказания данных услуг [62; 63; 98]. Исследователи выделяют следующую классификацию ценовых моделей, потенциально переводящих потребителей из класса пассивных в активные: статические цены, зависящие от времени потребления; цены, меняющиеся исходя из критических условий, складывающихся в энергосистеме; динамическое ценообразование с ценами, изменяющимися в определенных границах в зависимости от времени; ценообразование в режиме реального времени и модели, основанные на вознаграждениях за выполнение команды регулятора рынка, то есть за участие в оказании системных услуг в виде обеспечения гибкости для баланса энергосистемы [97; 98]. В таких исследованиях подробно рассматриваются мотиваторы и барьеры участия потребителей в каждой из моделей, однако из внимания упускается место этих моделей в структуре рынка.

Другие исследователи изучают сами концепции развития розничных рынков как ориентированных на взаимодействие с конечным потребителем структур и приводят оценки эффектов от внедрения таких концепций, однако при этом не рассматривают описание взаимоотношений активных потребителей в части перетоков электроэнергии, оплаты за произведенную и потребленную электроэнергию, а также потоков информации [96; 97].

Ряд ученых в своих работах, посвященных формированию активных потребителей, демонстрируют подходы к классификации моделей активного потребителя с учетом рыночной специфики их стран [8; 9; 99; 100]. Так, во многих европейских и азиатских странах организация рыночной структуры существенно отличается от российской: по распределению функционала между субъектами рыночной инфраструктуры (в некоторых странах электросетевые компании совмещают в себе функционал по оперативно-диспетчерскому управлению, в других действуют несколько системных операторов), по разделению видов деятельности (электросетевые компании могут нести функционал сбытовых компаний), могут различаться механизмы

торгов на рынке и уровень либерализации рынков в целом. Таким образом, прямой перенос зарубежных концепций не представляется возможным.

В отечественной литературе также проводился анализ моделей вовлечения потребителей в торговлю электроэнергией, однако данные работы или описывали верхнеуровневые концепты [3; 57; 78], или рассматривали достаточно подробные проекты, но сконцентрированные на одной идее или инициативе и не описывающие совокупность моделей в целом [7; 101].

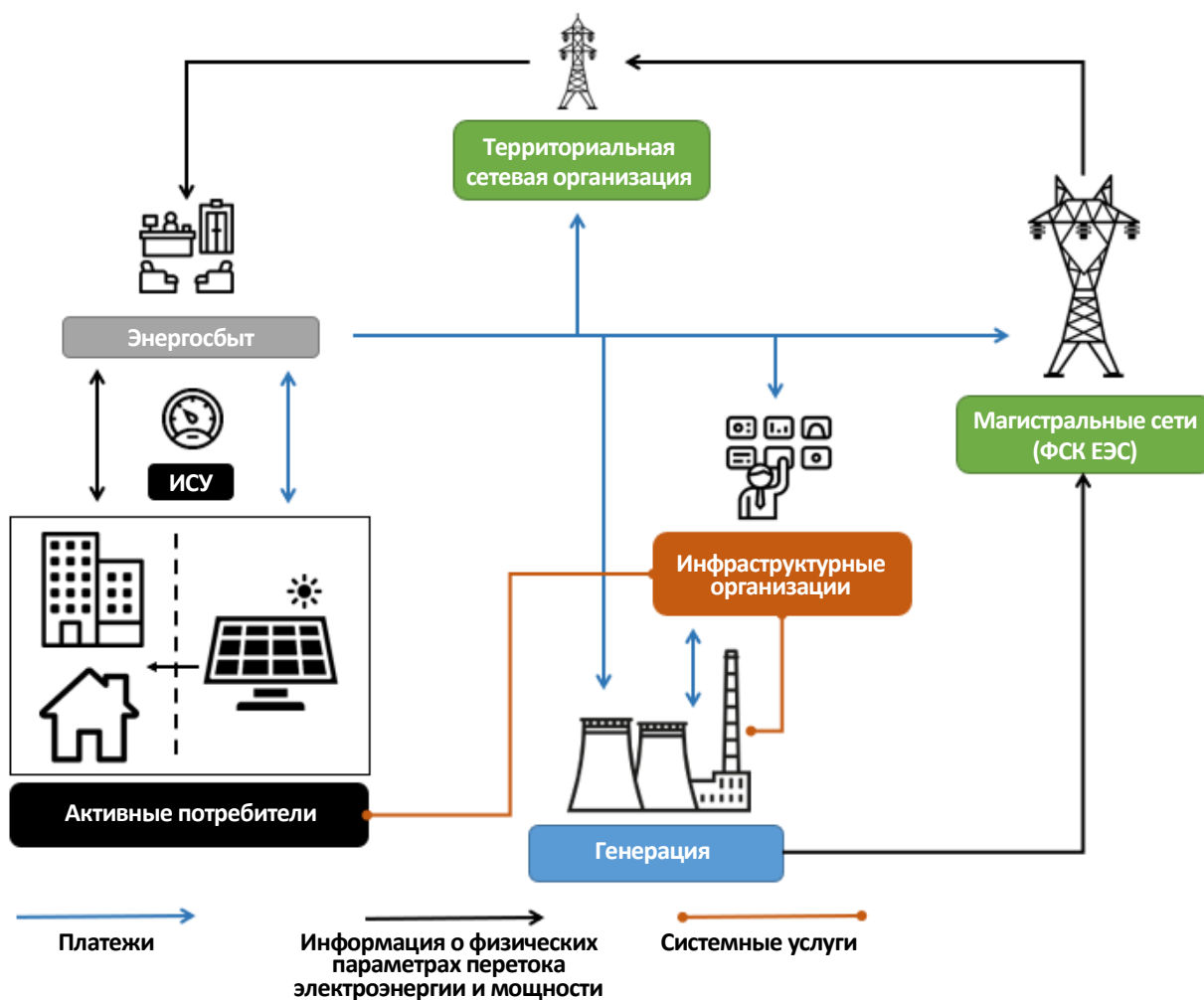
Исходя из этого, для дальнейшего анализа выделены основные модели активного потребителя на розничном рынке и предложены их принципиальные схемы с учетом специфики рыночной электроэнергетики России. Эти модели отражают основные способы организации взаимодействия потребителей с энергокомпаниями и не являются исчерпывающими.

Выделенные и представленные ниже модели опубликованы в работе «Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей» [102].

1) *Базовая модель активного потребителя.* Технологическим базисом базовой модели могут являться все энергетически технологии Индустрии 4.0: распределенная генерация, системы накопления электроэнергии, интеллектуальные системы учета. В данной модели потребитель обеспечивает двунаправленность энергетических, информационных и денежных потоков посредством прямого взаимодействия с энергетическими компаниями (в том числе инфраструктурными), что позволяет ему покупать электроэнергию из единой сети при недостатке собственной выработки и наоборот, а также оказывать системные услуги в виде управления спросом, как показано на рисунке 3 [78].

Однако данная модель обладает существенным недостатком: при реализации прямого взаимодействия с энергокомпаниями единой

энергетической системы уровень транзакционных издержек будет существенно превышать объем потенциальных выгод от торговли электроэнергией и управления спросом, что делает эту модель нежизнеспособной на практике [8; 54].

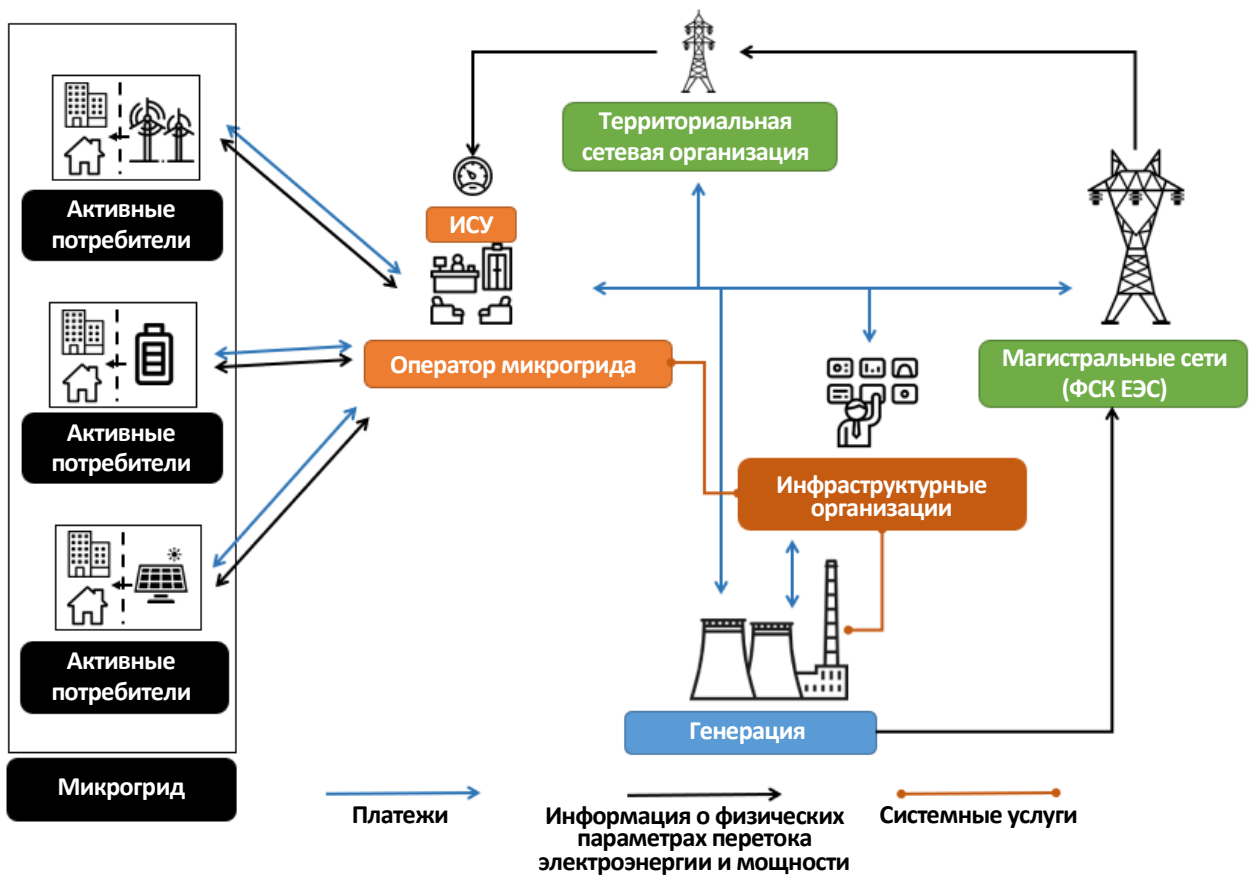


Источник: составлено автором.

Рисунок 3 – Базовая модель активного потребителя: принципиальная схема взаимодействия

Согласно аналитическому отчету [99], пилотирование такой модели на энергорынке Великобритании привело к интенсивному росту продаж солнечных панелей, однако при текущем уровне цен на них построение экономически жизнеспособных моделей без субсидирования при помощи специальных зеленых тарифов оказалось невозможным.

2) *Активный энергокомплекс / микрогрид.* Технологическим базисом данной модели также могут являться все энергетические технологии Индустрии 4.0. Однако в этом случае локальная энергетическая сеть, состоящая из активных потребителей, оснащенных распределенными генераторами, СНЭ и ИСУ, является обособленной и управляется при помощи нового субъекта, названного «оператор микрогрида», как показано на рисунке 4.



Источник: составлено автором.

Рисунок 4 – Активный энергокомплекс: принципиальная схема взаимодействия

Оператор микрогрида стремится сбалансировать выработку и потребление электроэнергии внутри подконтрольной локальной сети, при этом обеспечивая бесперебойное и качественное электроснабжение по минимально возможной цене [103]. Также оператор может закупать электроэнергию из ЕЭС в часы, когда цена собственной выработки внутри

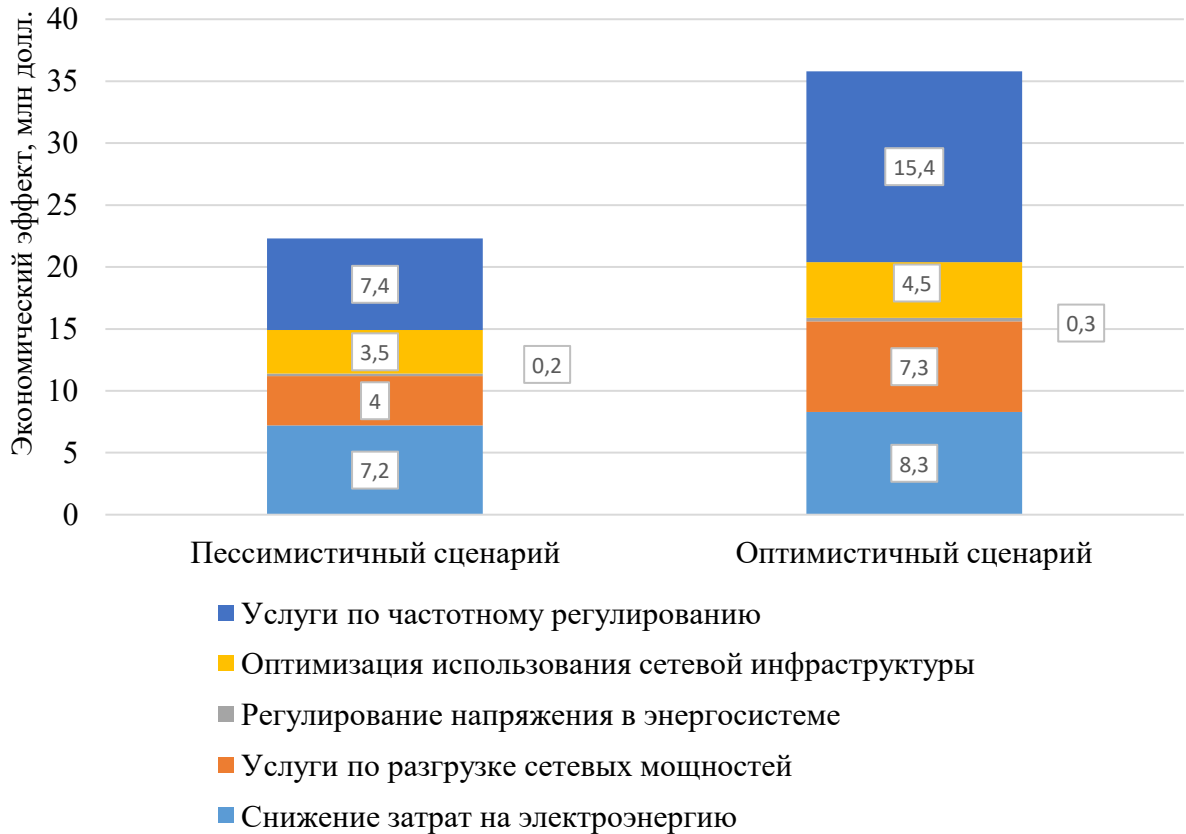
микрогрида превышает цену в ЕЭС, или, наоборот, продавать излишки выработки во внешнюю сеть. Помимо этого, создается дополнительный поток доходов для участников за счет реализации полного спектра системных услуг: управления спросом, частотного регулирования и компенсации реактивной мощности [9].

Модель активного энергокомплекса может быть реализована как для электроснабжения изолированных энергорайонов в качестве альтернативы присоединению к единой энергосистеме, так и для районов, подключенных к ЕЭС, но желающих организовать свое электроснабжения в виде модели активного потребителя.

При этом внедрение модели активного комплекса может быть максимально эффективным, если закладывать стоимость его построения на этапе проектирования района, например при постройке нового жилого комплекса, коттеджного поселка или промышленного кластера.

В отчетах [104; 105] демонстрируется, что реализация модели активного потребителя позволяет снижать расходы предприятий на электроснабжение от 5% до 25%, а также уменьшать долю выбросов углекислого газа в атмосферу. Помимо этого, повышается качество и бесперебойность поставки электроэнергии при сокращении затрат на присоединение к единой энергетической системе.

Потенциал участия микрогридов в оказании системных и вспомогательных услуг оценен на примере штата Виктория в Австралии, где микрогрид развернут на территории студенческого городка одного из университетов [100]. Результаты исследования продемонстрировали, что распространение таких микрогридов на несколько студгородков в штате Виктория способные привести к экономическому эффекту для потребителей в объеме от 22,3 млн долл. до 35,8 млн долл. в год [100]. Разбиение суммарного эффекта по видам системных услуг приведено на рисунке 5.



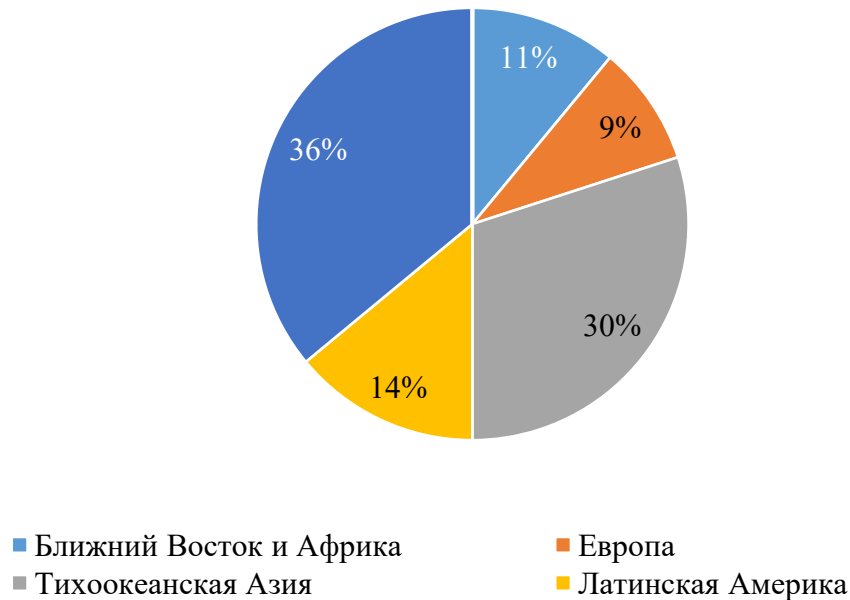
Источник: составлено автором по материалам [100].
Рисунок 5 – Разбиение суммарного эффекта по видам системных услуг

Аналитической и консалтинговой компанией Guidehouse Insights на 2019 г. общемировой рынок микрогридов оценивался в 8,1 млрд долл., при этом объем ввода новых мощностей составил порядка 3,5 ГВт в год. К 2028 г. прогнозируется рост объема рынка до 39,4 млрд долл., ежегодный прирост мощностей составит 19,9 ГВт [106; 107].

По данным Guidehouse Insights за первый квартал 2020 г. [108], в мире запланированы или уже реализуются 6609 проектов электроснабжения на основе микрогридов. На рисунке 6 представлены доли рынка по установленной мощности микрогридов с разбивкой по регионам.

В отчете [109] представлены доли участников этого рынка с разбивкой по типам потребителей. Большая часть микрогридов используется для электроснабжения изолированных и удаленных энергорайонов (45%), оставшаяся часть распределена среди объектов промышленности (16%),

энергокомпаний (10%), сетевых компаний и поставщиков коммунальных услуг (15%), объектов оборонной промышленности (5%), а также университетов и студенческих городков (9%).



Источник: составлено автором по материалам [108].

Рисунок 6 – Доли рынка по установленной мощности микрогридов с разбивкой по регионам

В отчете [109] представлены доли участников этого рынка с разбивкой по типам потребителей. Большая часть микрогридов используется для электроснабжения изолированных и удаленных энергорайонов (45%), оставшаяся часть распределена среди объектов промышленности (16%), энергокомпаний (10%), сетевых компаний и поставщиков коммунальных услуг (15%), объектов оборонной промышленности (5%), а также университетов и студенческих городков (9%).

Россия также обладает большим потенциалом развертывания микрогридов. Так, Инфраструктурный центр «Энерджинет» прогнозирует рост вводимой установленной мощности микрогридов до 1,2 ГВт в год (или в денежном эквиваленте – 175 млрд руб. в год). При этом основными драйверами выделяются:

- рост цены на электроэнергию для промышленных и коммерческих потребителей (в том числе вследствие перекрестного субсидирования);
- рост платы за услуги технологического присоединения к сетям и сложность выполнения технических условий.

Совокупное влияние данных драйверов способно подтолкнуть конечных потребителей к поиску более простого и дешевого способа обеспечения электроснабжения, чем технологическое присоединение, и модель микрогрида может стать одним из таких способов [101].

Дополнительным драйвером роста может стать развитие направлений деятельности, в большей степени чувствительных к надежности и качеству электроснабжения, таких как центры обработки данных, высокотехнологичные заводы с большой долей цифровых технологий, биофармацевтические предприятия и т.д.

В Российской Федерации с 2020 г. проводится пилотный проект по внедрению модели активного энергокомплекса (далее – АЭК). Условия функционирования проекта определены в нормативно-правовой базе Российской Федерации и утверждены в рамках постановления правительства [59].

Итоговый экономический эффект, оцененный Инфраструктурным центром «Энерджинет», для пилотного развертывания АЭК для коммерческих и промышленных потребителей с 2020 г. по 2028 г. приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Экономический эффект от пилотного развертывания АЭК для коммерческих и промышленных потребителей с 2020 г. по 2028 г.

В миллиардах рублей	
Составляющая экономического эффекта	Эффект от внедрения АЭК
Снижение затрат на электроснабжение участников АЭК (за вычетом инвестиций в инфраструктуру АЭК)	107,9
Снижение потребностей в инвестициях на стороне единой энергетической системы	42,2
Итого	150,1

Источник: составлено автором по материалам [101].

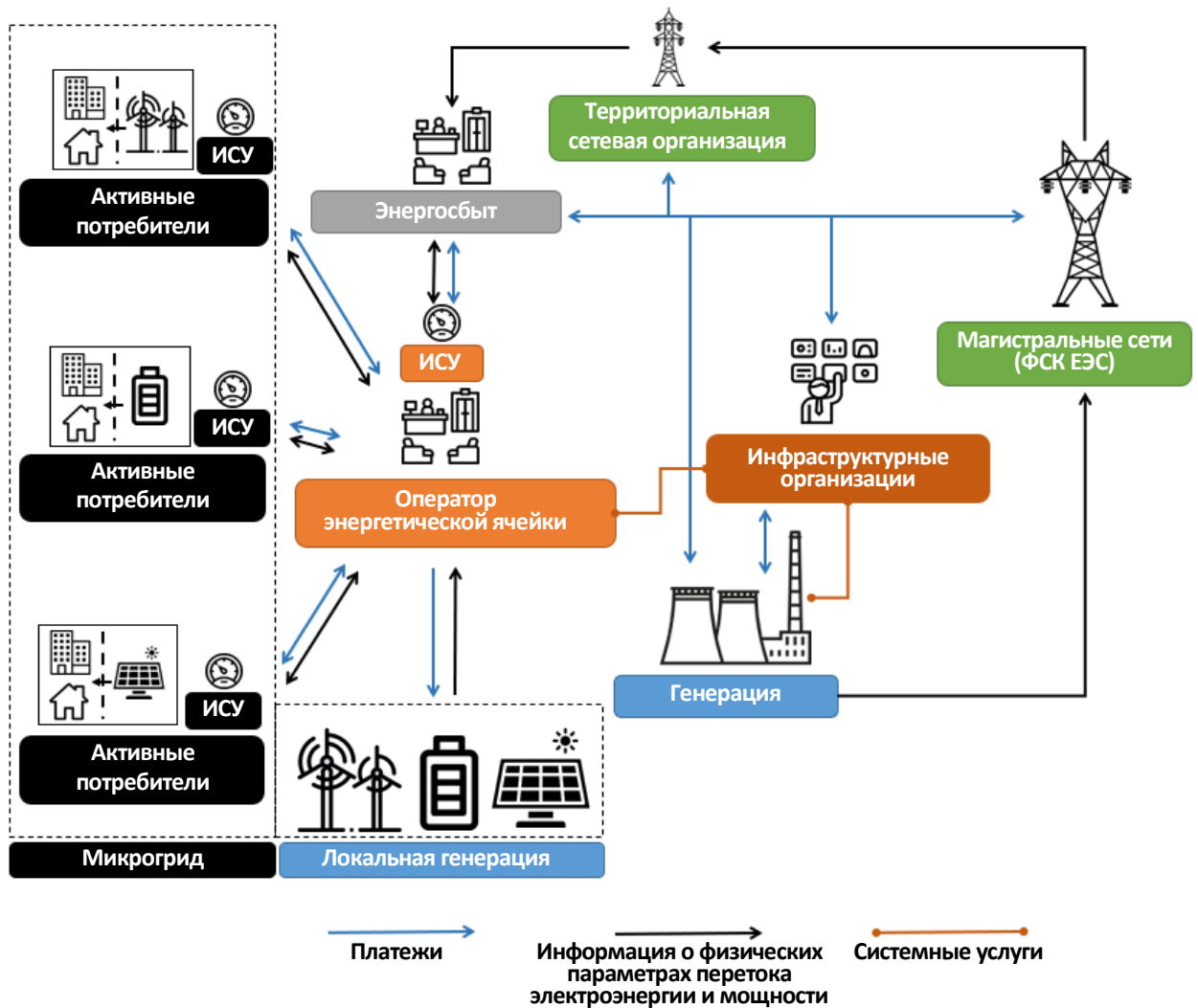
Однако специфика российского законодательства выступает здесь в роли барьера для успешного тиражирования модели активного энергокомплекса, так как ограничения, заложенные в ней, не позволяют субъектам розничного рынка электроэнергии и мощности организовывать энергетический и финансовый обмен в необходимых им конфигурациях, а также использовать совместно генерирующих и электросетевой комплекс.

В свою очередь, в публикации [110] отмечается, что необходимым условием для успешного тиражирования моделей активного потребителя является использование новых организационно-экономических моделей в сочетании с высокотехнологичными решениями, при этом данные условия должны реализовываться как компаниями энергетической отрасли (в том числе инфраструктурными), так и конечными потребителями розничного рынка. Помимо этого, важным фактором успешности будет возможность оперативной адаптации активного энергокомплекса к меняющимся внешним условиям на протяжении всего его жизненного цикла. Консалтинговая компания Guidehouse отмечает тренд на распространения модульных микрогридов, призванных обеспечить быстрое развертывание их у потребителей, для которых перечисленные выше условия выполняются более успешно [107; 111].

3) *Энергетическая ячейка*. Модель энергетической ячейки имеет много общих черт с моделью активного энергокомплекса, основным ее отличием является то, что в энергетическую ячейку входят компании – поставщики электроэнергии на розничном рынке, технологически соединенные с активными потребителями в единую локальную сеть, что отражено на рисунке 7; это приводит к усилению положительных эффектов за счет розничной генерации.

Проводя аналогию с моделью активного энергокомплекса, можно отметить, что модель энергетической ячейки также позволяет наладить двунаправленные потоки электрической энергии среди конечных

потребителей и локальных розничных генераторов, включенных в ячейку, с возможностью сохранения энергетического обмена с единой энергосистемой.



Источник: составлено автором.

Рисунок 7 – Энергетическая ячейка: принципиальная схема взаимодействия

При этом возможность взаимодействия с компаниями, владеющими локальной розничной генерацией, способна повысить эффективность энергетической ячейки в целом и тем самым снизить итоговую цену на приобретение электрической энергии.

Необходимо отметить, что в работе Инфраструктурного центра «Энерджинет» [7], посвященной концепции интернета энергии, приводится более широкое трактование понятия «энергетическая ячейка»: здесь энергетическая ячейка не является самостоятельной моделью, а выступает в

роли составной части более крупной системы, названной «интернет энергии». При таком подходе в масштабе интернета энергии энергетическая ячейка может быть рассмотрена как один активный потребитель, взаимодействующий с другими активными потребителями – такими же ячейками.

4) *P2P-модель / интернет энергии*. Ключевой особенностью данной модели является устранение каких-либо посредников в торгах между активными потребителями. В модели интернета энергии на операторе остается только функционал по разработке и содержанию цифровой платформы, на которой ведутся автоматизированные одноранговые (peer-to-peer) торги, что видно на рисунке 8 [7; 9]. Данный подход позволяет существенно повысить эффективность планирования и установления энергетического режима внутри P2P-сети за счет сбора и обработки больших данных, а также уточнения баланса выработки с потреблением и пересчета складывающихся цен с очень высокой частотой дискретизации (практически в режиме реального времени). При этом также сохраняется возможность принимать участие в торгах с единой энергосистемой и оказывать системные услуги.

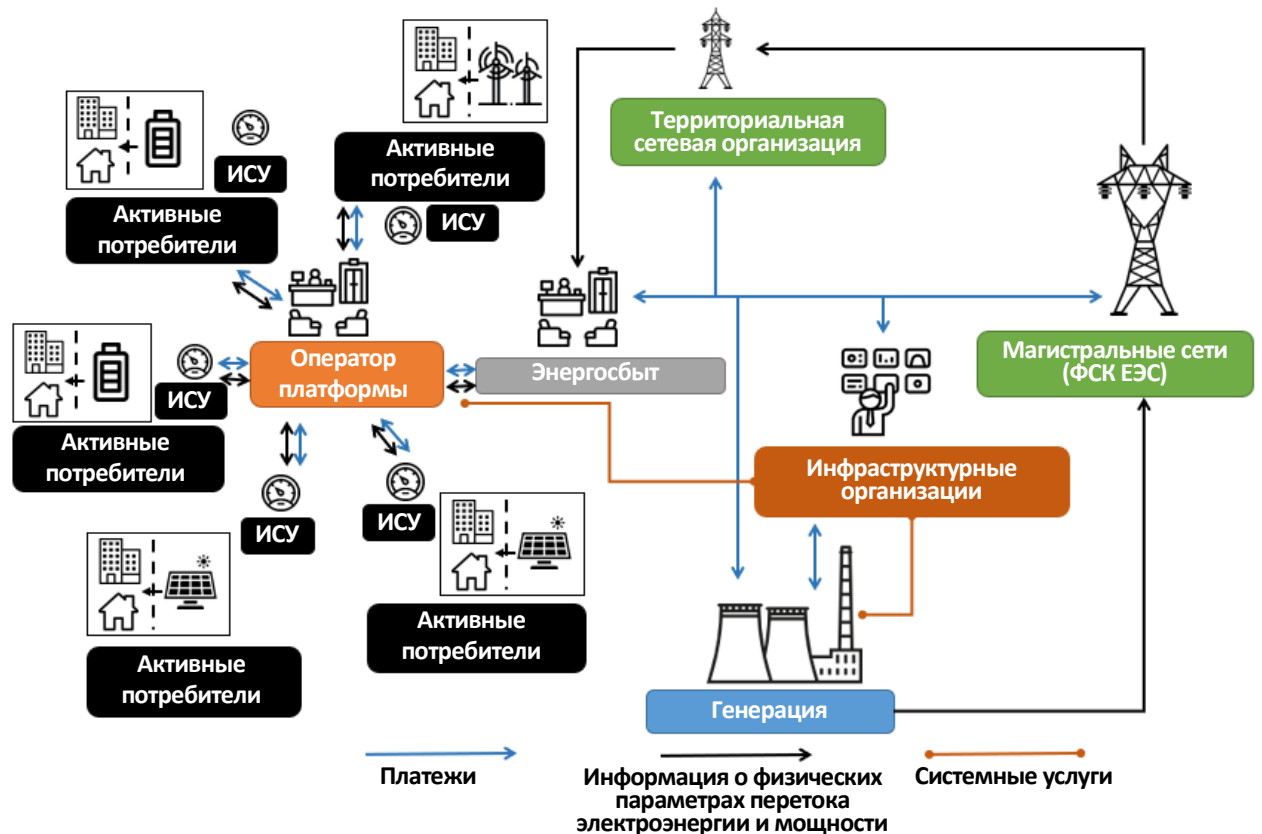
В отечественных публикациях термин «интернет энергии» используется, скорее, для обозначения P2P-модели, но единого мнения по этому поводу среди исследователей нет.

Хотя единой терминологии еще не сформировано, в различных подходах к описанию интернета энергии можно выделить схожие элементы:

- основой построения модели являются цифровые технологии Индустрии 4.0, обеспечивающие передачу информации между потребителями – участниками модели;

- система при помощи цифровой платформы обеспечивает баланс выработки и потребления среди участников интернета энергии, на стороне которых могут располагаться децентрализованные генераторы и накопители;

- цифровая платформа при формировании режима работы энергосистемы ориентирована на повышение надежности поставок электроэнергии при условии минимизации цены на приобретение [6].



Источник: составлено автором.

Рисунок 8 – P2P-модель: принципиальная схема взаимодействия

Можно сделать вывод, что интернет энергии во многом схож с понятием ПоТ (промышленный интернет вещей), в котором управление устройствами, подключенными к сети (как электроэнергетической, так и информационной), происходит при помощи цифровых приборов. В случае электросетей это могут быть элементы управления генерирующего оборудования, переключатели систем накопления и иные переключатели, позволяющие изменять нагрузку на стороне конечного потребителя [112].

Исходя из полезного качества модели интернета энергии обеспечивать необходимый уровень надежности и качества поставок электроэнергии, данная модель может найти применение при электроснабжении

высокотехнологических предприятий, оборудование которых высокочувствительно к характеристикам подаваемого электрического тока. Также она может помочь сглаживать неравномерность внутрисуточного энергопотребления, что становится все более актуально в эпоху распространения электромобилей, которые способны серьезно влиять на внутрисуточные графики потребления в виде увеличения пиковых нагрузок [113; 114].

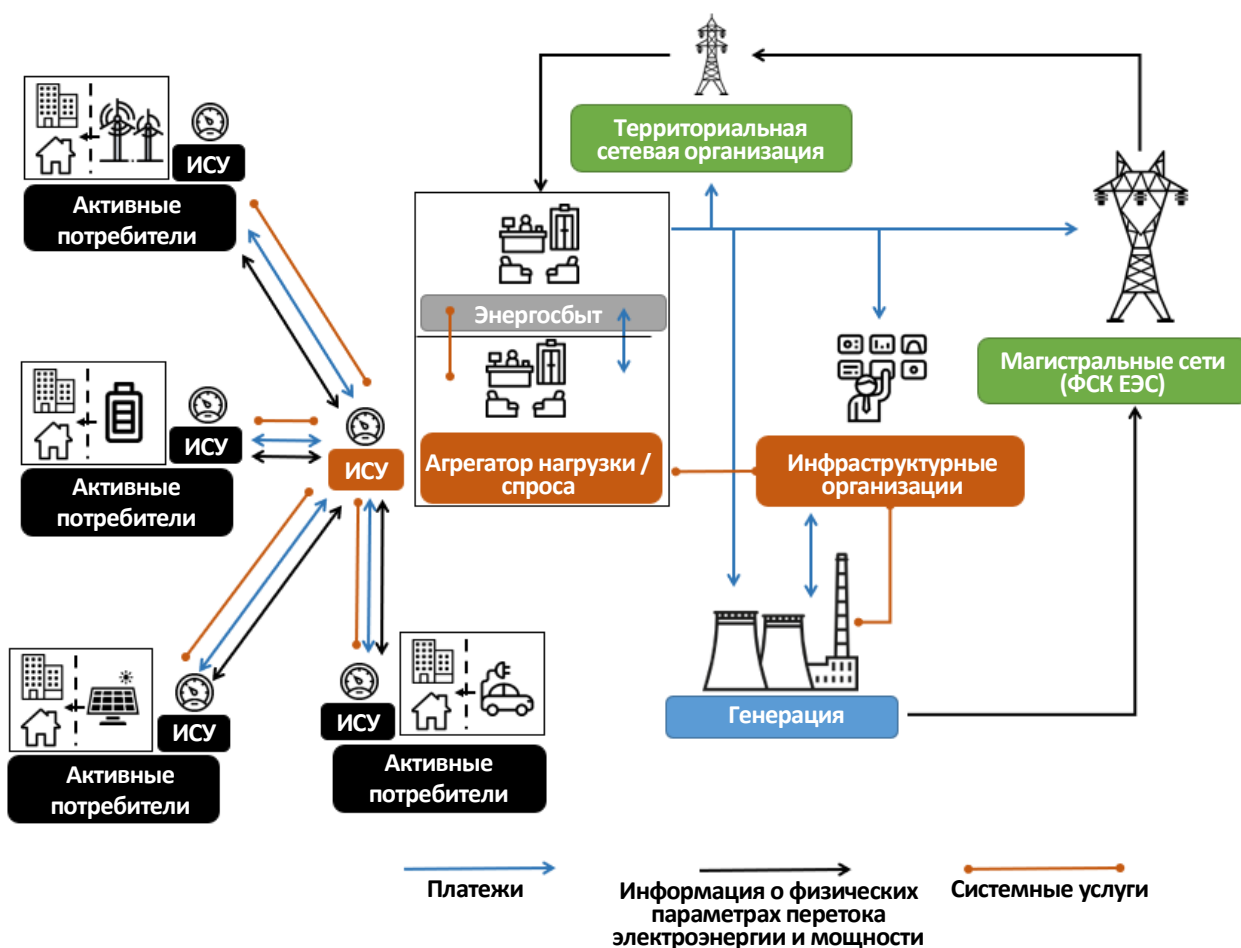
Проанализировав исследования [6; 7; 9], можно выделить следующий ряд системных положительных эффектов от использования модели интернета энергии:

- снижение расходов на строительство пиковой генерации, а также магистральных и распределительных сетей;
- снижение технологических потерь в электрических сетях участников модели;
- формирование рекомендаций для участников модели по наиболее эффективному способу участия в проектах управления нагрузкой;
- создание необходимой гибкости в энергосистеме для внедрения в нее децентрализованной генерации на основе возобновляемых источников энергии;
- предиктивная аналитика потенциальных поломок оборудования как на стороне генераторов и распределительных сетей, так и у конечных потребителей;
- оказание прочих услуг, обусловленных возможностью обработки большого объема данных.

В России данная концепция разрабатывается Инфраструктурным центром «Энерджинет» в сотрудничестве с российскими и зарубежными энергетиками (в том числе из IEEE и CIGRE), и к сегодняшнему дню разработан демонстрационный комплекс модели интернета энергии, располагающийся в Московском физико-техническом институте (далее –

МФТИ), а также часть новых технологических продуктов, необходимых для реализации данной концепции [7].

5) *Агрегатор нагрузки*. Основной деятельностью агрегатора нагрузки является сбор и агрегация разрозненных потребителей розничного рынка и их потенциально управляемых мощностей в единый объем управляемой и гибкой нагрузки, формирование эффективной стратегии управления нагрузкой, а также дальнейшее представление этого объема перед инфраструктурными энергетическими компаниями на оптовом рынке и получение вознаграждений за выполнение команд регулятора рынка, что отражено на рисунке 9 [9; 54].



Источник: составлено автором.

Рисунок 9 – Агрегатор нагрузки: принципиальная схема взаимодействия

Именно эта концепция способна решить обозначенную ранее проблему высоких транзакционных издержек при оказании системных услуг

потребителями розничного рынка в случае непосредственного взаимодействия с инфраструктурными компаниями.

На текущий момент в мировом разрезе механизмы управления спросом развиты неоднородно, однако общей чертой является направленность политики в сторону внедрения данных механизмов.

По данным агентства Navigant Research, общемировой объем рынка услуг по модулированию нагрузки составил 39 ГВт (из них 28 ГВт пришлось на энергосистемы Северной Америки), а уже к 2025 г. прогнозируется рост в 3,5 раза – до 144 ГВт, в большей степени за счет Европейского и Азиатско-Тихоокеанского регионов [54].

Необходимо отметить, что в Российской Федерации также реализуется пилотный проект по внедрению модели агрегатора нагрузки. Механизм взаимодействия с потребителями розничного рынка выстроен следующим образом: компании электроэнергетической отрасли или иной компании, заключившей договоры на необходимый объем управляемой нагрузки с розничными потребителями, присваивается статус агрегатора нагрузки. В свою очередь, агрегатор нагрузки представляет собранный объем агрегированной нагрузки инфраструктурным компаниям. Перед выдачей команды на изменение потребления администратор торговой системы проводит двойной расчет индикативных цен на рынке на сутки вперед (со снижением энергопотребления в определенные часы и без него), и в случае наличия положительного экономического эффекта системный оператор принимает решение о снижении нагрузки и сообщает об этом агрегатору нагрузки, а агрегатор нагрузки поручает заключившим с ним договор розничным потребителям снизить потребление на установленный в договоре объем.

По результатам анализа исследований [54; 91; 92; 115] можно назвать ключевые положительные эффекты, достигаемые при внедрении модели агрегатора нагрузки:

- снижение индикативных цен на рынке на сутки вперед за счет сглаживания пиков внутрисуточного потребления электроэнергии;
- снижение необходимости оплачивать дорогостоящие генерирующие мощности, используемые только в пиковые часы;
- снижение расходов на строительство пиковой генерации, а также магистральных и распределительных сетей;

В статье [5] продемонстрировано, что одной из самых значимых технологий для модели агрегатора являются ИСУ: «Большие данные, собранные ИСУ, позволяют проанализировать профили нагрузки большого массива пользователей и идентифицировать устройства с высоким потенциалом в рамках управления спросом.

Высокоточный сравнительный анализ участников управления спросом позволяет построить новые ценовые модели, базирующиеся на определении цен для каждой группы потребителей, участвующих в управлении спросом, тем самым максимизируя их выгоду. Стимулирующие программы управления спросом позволяют субъекту оперативно-диспетчерского управления вовлекать новых участников, а ИСУ, в свою очередь, значительно упрощает верификацию снижения нагрузки, что особенно актуально для контроля исполнения обязанностей по управлению спросом в частном секторе, так как не существует достаточно точных моделей для оценки потенциала управления спросом на стороне розничных потребителей».

Таким образом, в завершение первой главы сформирована первая гипотеза исследования:

H1: Применение технологий Индустрии 4.0 в энергетике способно сформировать новые механизмы взаимодействия на основе активного вовлечения потребителей розничного рынка в работу по управлению энергопотреблением. Реализация таких механизмов позволит повысить эффективность деятельности компаний – конечных потребителей электроэнергии.

При этом в ходе анализа источников выявлено, что в ряде исследований [62; 63; 86; 90; 91] авторы при рассмотрении моделей активного потребителя или ценовых моделей уделяли внимание разнообразным условиям, при которых потребители соглашались на внедрение данных моделей или, наоборот, отказывались.

Так, в исследованиях [62; 86; 90; 91] делается вывод, что наиболее значимым является фактор технологической выполнимости, обусловленный возможностью установить оборудование Индустрии 4.0, задействованное в модели активного потребителя на стороне инфраструктуры компании, и наладить сбор информации с него, а также фактор воспринятых преимуществ от внедрения в сравнении с ожидаемыми рисками.

При этом исследователи отмечают, что помимо внутриорганизационных факторов немаловажными являются факторы внешней среды, такие как взаимодействие с энергокомпаниями, которые могут быть поставщиками оборудования и операторами цифровых площадок, или с профильными органами власти, определяющими правила и целевую структуру рынка. Работы [62; 86] также акцентируют внимание на внешнем давлении со стороны иных игроков рынка и общем технологическом изменении в отраслях потребителей.

При принятии решения о внедрении модели активного потребителя субъекты розничного рынка обращают внимание на ожидаемые затраты при внедрении и сложность освоения [86; 90], а также надежность оборудования внедренной модели [86; 91]. Таким образом, проведенный анализ обуславливает вторую гипотезу исследования:

H2: На принятие решения о внедрении модели активного потребителя субъектом розничного рынка, а также на результативность внедрения оказывают воздействие следующие факторы: (a) техническая выполнимость, (b) воспринятые преимущества, (c) воспринятые риски, (d) ожидаемые затраты, (e) сложности освоения, (f) влияние органов власти, (g) влияние

энергокомпаний, (h) давление рыночной среды и (i) технологические изменения в отрасли.

Выводы к главе 1

В первом параграфе данной главы представлены основные подходы к организации рынков электроэнергии и мощности России. Дан перечень ключевых субъектов электроэнергетики, их функционал и ключевые экономические аспекты их деятельности. Выявлены проблемы и вызовы, стоящие как перед рыночной системой в целом, так и перед конкретными субъектами: рост цен на электроэнергию для конечных потребителей, рост тарифов на услуги по передаче электроэнергии и сбытовых надбавок, сложность и дороговизна технологического присоединения к электросетям и увеличения мощности, увеличение объема перекрестного субсидирования. Потребность в трансформации также формируется общемировыми трендами, такими как расширение использования распределенных децентрализованных генераторов (в том числе ВИЭ), накопителей электрической энергии и цифровых технологий Индустрии 4.0.

Во втором параграфе рассмотрены основные технико-экономические особенности современных энергетических технологий и цифровых технологий Индустрии 4.0, участвующих в преобразовании розничного рынка. Показано, что у розничных потребителей появляется возможность не только снижать свою нагрузку в часы с наибольшей ценой электроэнергии, но и использовать свои электрогенерирующие или накопительные мощности как для собственных нужд, так и для поставки мощности в единую энергосистему или иным розничным потребителями. При этом изменение поведения не ограничивается единичными случаями: при помощи современных цифровых технологий потребитель может управлять своим объемом энергопотребления или взаимодействовать с иными потребителями для управления совокупной

нагрузкой. Таким образом, формируется новый, ранее не существовавший тип потребителя, участвующего в активной торговле электроэнергией и обладающего большей энергоэффективностью, – активный потребитель, или просьюмер.

В третьем параграфе проведен обзор инновационных моделей взаимодействия потребителей с энергокомпаниями, появляющихся благодаря распространению современных энергетических технологий и цифровых технологий Индустрии 4.0. Обзор моделей показал, что их распространение может способствовать формированию новых ценностных предложений как для конечных потребителей на розничном рынке в виде оптимизации платы за электроэнергию, создания дополнительного поступления доходов компании за счет оказания системных и вспомогательных услуг и снижения эксплуатационных расходов и повышения надежности электроснабжения, так и для компаний электроэнергетики в виде поступления дополнительных доходов от оказания ими услуг оператора модели активного потребителя или за счет коммерциализации больших данных об энергопотреблении.

Глава 2

Исследование эффективности внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка электрической энергии

2.1 Методология исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя

Как показано ранее, перспективные технологии электроэнергетической отрасли не только приводят к возникновению положительных экономических эффектов при реализации по отдельности, но и раскрывают наиболее полный спектр эффектов и приводят к появлению новых моделей взаимодействия на розничном рынке в том случае, если их взаимодействие координируется цифровыми технологиями Индустрии 4.0.

Для проверки выдвинутых гипотез и более глубокого анализа зависимости принятия решения о внедрении модели активного потребителя от ряда факторов, а также анализа достижения положительных экономических эффектов при вложениях участников розничного рынка электроэнергии в проекты внедрения инновационных моделей взаимодействия решено взять за основу широко используемую структурную модель CDM, предложенную в 1998 г. в [116].

Данная модель успешно применялась для работ, анализирующих взаимосвязь инвестиций в перспективные технологии с повышением эффективности и производительности компаний и, в частности, апробирована в исследовании [117], а также диссертационной работе [118].

Изначально CDM-модель позволяла количественно проанализировать три разреза внедрения новых технологий и определить взаимосвязь между вложениями в разработку новых продуктов, технологий или услуг и экономический эффект от данных вложений, выраженный в виде выручки,

нормированной на одну штатную единицу предприятия. Спецификация CDM-модели состоит из трех частей:

- первая часть состоит из уравнений, описывающих вероятность принятия решения предприятием об осуществлении вложений в какие-либо инновации, а также объем соответствующих вложений;
- вторая часть состоит из уравнений, связывающих различные объемы вложений с соответствующими направлениями инвестирования в инновации;
- третья часть включает уравнение, связывающее вложения в инновационную деятельность с достигаемыми при этом положительными экономическими эффектами [119].

Для проведения анализа эффективности внедрения моделей активного потребителя CDM-модель переработана. Описание переработанной CDM-модели и приведенные далее в параграфе 2.2 результаты расчетов опубликованы в работе «Концепция преобразования розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации отрасли» [120].

Инвестиции в проекты внедрения моделей активного потребителя. Для проверки ранее выдвинутой гипотезы H2 использован первый набор уравнений доработанной для целей настоящего диссертационного исследования CDM-модели, которые позволили оценить вероятность инвестирования компаниями – потребителями розничного рынка электроэнергии и мощности во внедрение какой-либо модели активного потребителя, а также нормированную на количество штатных единиц величину инвестиций во внедрение моделей активного потребителя.

Математическое описание первого блока CDM-модели представляет собой соотношения цензурированной регрессии Хекмана. Использование цензурированной регрессии Хекмана позволяет разделить математическое описание принятия решения инвестировать или не инвестировать с описанием интенсивности инвестиций. Первая система уравнений описывает принятие конечным потребителем решения о вложениях во внедрение модели активного

потребителя исходя из влияния определенного перечня факторов (выявление факторов будет проведено далее по тексту параграфа), а вторая система описывает нормированный на штатную единицу объем вложений во внедрение той или иной модели активного потребителя. Такой подход применим не только для конечных потребителей, которые уже осуществляют внедрение моделей активного потребителя, но и для тех, кто рассматривает такое внедрение в перспективе.

Итак, математически принятие решения о внедрении модели активного потребителя и величина инвестиций могут быть описаны соотношениями (1) и (2).

Первая система соотношений при помощи латентной переменной описывает решение конечного потребителя электроэнергии о внедрении модели активного потребителя по формуле (1)

$$D_i = \begin{cases} 1, & \text{если } D_i^* = d_i x + \varepsilon_i > \vartheta, \\ 0, & \text{если } D_i^* = d_i x + \varepsilon_i \leq \vartheta, \end{cases} \quad (1)$$

где D_i – наблюдаемая переменная, равная 1, если конечный потребитель решил внедрять модель активного потребителя, и 0 – если отказался от внедрения;

D_i^* – латентная переменная, характеризующая вероятность внедрения конечным потребителем модели активного потребителя исходя из влияния определенного перечня факторов;

d_i – факторы, влияющие на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя;

x – регрессоры модели;

ε_i – случайные ошибки (в модели Хекмана делается предположение, что распределены нормально).

Параметр ϑ является математической интерпретацией критерия выбора конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя, например исходя из представления потребителя о потенциальных положительных эффектах от внедрения модели активного потребителя. Если значение латентной переменной превышает данное значение критерия выбора, то внедрение происходит.

Вторая система уравнений первой части CDM-модели задает нормированный объем вложений во внедрение модели активного потребителя, если конечный потребитель принял положительное решение о внедрении, и представляет собой величину вложений в проект внедрения модели активного потребителя, рассчитанный на одного сотрудника компании по формуле (2)

$$Inv_i = \begin{cases} Inv_i^* = i_i y + e_i, & \text{если } D_i = 1, \\ 0, & \text{если } D_i = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где Inv_i – наблюдаемая переменная, выражающая нормированную величину инвестиций во внедрение модели активного потребителя, если конечный потребитель принял положительное решение, и 0 – если отказался от внедрения;

Inv_i^* – латентная переменная, выражающая нормированную величину инвестиций во внедрение модели активного потребителя;

i_i – факторы, влияющие на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя;

y – регрессоры модели;

e_i – случайные ошибки (в модели Хекмана делается предположение, что распределены нормально).

Для определения факторов d_i , влияющих на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного

потребителя, проведен анализ, основывающийся на подходах, описанных в работе, посвященной диффузии инноваций [121], и работе, описывающей модель технологического принятия [122]. Описание методики определения факторов опубликовано в работе «Интеллектуальные системы учета электроэнергии: эмпирический анализ факторов восприятия технологии» [52] и представлено в приложении Б настоящего исследования.

По результатам применения представленного в приложении Б подхода определен перечень факторов, влияющих на принятие моделей активного потребителя конечными потребителями на розничном рынке электроэнергии и мощности.

Проведенный анализ позволил соотнести факторы со спецификой внедрения моделей активного потребителя, обусловленной технологическим базисом, свойственным каждой из рассматриваемых моделей. Помимо этого, дана расшифровка каждого из факторов с учетом специфики внедрения моделей активного потребителя. Результат формирования факторов представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя конечными потребителями на розничном рынке электроэнергии и мощности

Факторы принятия моделей активного потребителя	Расшифровка
1	2
Внутриорганизационные факторы	
Воспринятые преимущества	Бесперебойное снабжение производства, энергетическая безопасность и автономность, переключение потребления электроэнергии из ЕЭС на внутреннюю выработку (в том числе продажа избытков выработки в сеть) и наоборот исходя из ценовых сигналов, новый поток доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг, оптимизация энергетических режимов; уменьшение относительной величины выбросов углекислого газа, выявление кейсов неправомерного использования приборов и оборудования, детекция наименее энергоэффективных приборов, установление энергетического режима, минимизирующего цену потребленной энергии, выявление незаконного присоединения к электросетям

Продолжение таблицы 4

1	2
Техническая выполнимость	Возможность разместить оборудование, необходимое для реализации модели активного потребителя на территории объекта конечного потребителя, возможность увязки работы оборудования моделей активного потребителя с оборудованием основного виде деятельности компании
Воспринятые риски	Неэффективность работы внедренной модели активного потребителя, поломка оборудования, входящего в его технологический базис, утечка данных, собираемых цифровой системой, дополнительная нагрузка со стороны отраслевых органов власти в части раскрытия данных, деструктивное воздействие на производственные объекты предприятия
Ожидаемые затраты	Объем вложений в приобретение оборудования модели активного потребителя и его развертывание на объекте, сложность привлечения финансирования для реализации проекта внедрения
Сложность освоения	Возможность быстрого освоения работы с оборудованием модели активного потребителя, его клиентской цифровой платформы, а также возможность освоения механизмов розничного рынка электроэнергии и мощности
Факторы внешней среды	
Влияние органов-регуляторов	Покрытие государственными программами расходов на приобретение оборудования модели активного потребителя и его развертывание на объекте, возможность получения субсидий на внедрение моделей или целевого финансирования
Влияние компаний электроэнергетики	Участие компаний электроэнергетики как поставщиков технологий и операторов цифровых площадок или экспертов-консультантов по внедрению модели активного потребителя
Давление рыночной среды	Наличие уже внедренных моделей активного потребителя на объектах конкурентов или наличие планов по их внедрению
Технологические изменения в отрасли	Внедрение моделей активного потребителя является требованием технологического прогресса
Надежность	Надежность работы оборудования модели активного потребителя, удобство его регулярного обслуживания и поддержания в работоспособном состоянии

Источник: составлено автором.

По итогу интервьюирования экспертов компаний – конечных потребителей электроэнергии на розничном рынке электроэнергии и мощности согласно квалификационным требованиям, изложенным в

приложении Б, выявленные и описанные факторы подтверждены и могут быть использованы в дальнейшем количественном анализе.

Перечень d_i -регрессоров, являющихся факторами, влияющими на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя, представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Регрессоры, являющиеся факторами, влияющими на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя

Обозначение переменной	Факторы принятия моделей активного потребителя
d_1	Техническая выполнимость
d_2	Воспринятые преимущества
d_3	Воспринятые риски
d_4	Ожидаемые затраты
d_5	Сложность освоения
d_6	Влияние органов-регуляторов
d_7	Влияние компаний электроэнергетики
d_8	Давление рыночной среды
d_9	Технологические изменения в отрасли
d_{10}	Надежность

Источник: составлено автором.

Результаты инвестиций во внедрение моделей активного потребителя.

Вторая часть CDM-модели описывает зависимость инвестиций в объекты технологического базиса модели активного потребителя от общей интенсивности вложений в проект ее внедрения.

Как показано в главе 1, ключевое оборудование, необходимое для реализации моделей активного потребителя, – это: распределенная генерация, системы накопления электроэнергии, интеллектуальные системы учета, а также цифровые технологии Индустрии 4.0.

Математически данные зависимости могут быть описаны соотношениями (3)-(6)

$$RGInv_i = \overline{Inv}_i z + k_i \alpha + \epsilon_i, \quad (3)$$

$$SNEInv_i = \overline{Inv}_i z + k_i \alpha + \epsilon_i, \quad (4)$$

$$ISUInv_i = \overline{Inv}_i z + k_i \alpha + \epsilon_i, \quad (5)$$

$$CTIInv_i = \overline{Inv}_i z + k_i \alpha + \epsilon_i, \quad (6)$$

где $RGInv_i$ – осуществление компанией инвестиций во внедрение распределенной генерации (далее – ИРГ);

\overline{Inv}_i – усредненная величина вложений во внедрение модели активного потребителя, нормированная на штатную единицу компании;

z – регрессоры модели;

k_i – параметры, являющиеся факторами, описывающими интенсивность вложений во внедрение модели активного потребителя со стороны конечного потребителя на розничном рынке электроэнергии и мощности;

α – регрессоры модели;

ϵ_i – случайные ошибки модели;

$SNEInv_i$ – осуществление компанией инвестиций во внедрение систем накопления электроэнергии (далее – ИСНЭ);

$ISUInv_i$ – осуществление компанией инвестиций во внедрение интеллектуальных систем учета электроэнергии (далее – ИИСУ);

$CTIInv_i$ – осуществление компанией инвестиций во внедрение цифровых технологий Индустрии 4.0 (далее – ИЦТИ).

Взаимосвязь относительной величины инвестиций в различные элементы проекта по внедрению модели активного потребителя и достижением положительных экономических эффектов. Третья часть

модели позволяет проверить выдвинутую гипотезу H1 и оценить взаимосвязь относительной величины инвестиций в различные элементы проекта по внедрению модели активного потребителя с достижением положительных экономических эффектов на стороне конечных потребителей.

Для подтверждения реализуемости представленных в главе 1 моделей активного потребителя, а также достижимости положительных экономических эффектов для конечного потребителя при их внедрении проведены глубинные полуструктурированные интервью с семью представителями электроэнергетических компаний. Результаты верификации опубликованы в работе «Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей» [102], а также представлены в приложении В.

Результаты обработки интервью, представленные в приложении В, позволили верифицировать эффекты для проведения дальнейшего исследования в рамках CDM-модели. Также низкий уровень экспертных оценок по всем эффектам для модели «Базовая модель активного потребителя» подтверждает тезис, выдвинутый в параграфе 1.3 главы 1, о том, что данная модель может существовать лишь в теории, а в реальности сопряжена с существенными транзакционными издержками.

Таким образом, экономический эффект для компаний, внедривших у себя модели активного потребителя, будет формироваться из ряда прямых и косвенных эффектов.

Прямые эффекты:

- непосредственное снижение конечной стоимости электроэнергии для компании за счет переключения потребления электроэнергии из ЕЭС на внутреннюю выработку (в том числе продажа избытков выработки в сеть) и наоборот исходя из ценовых сигналов (Cost);

- получение доходов с оптового рынка электроэнергии и мощности при взаимодействии с коммерческой инфраструктурой рынка и оказании

системных услуг (вторичное и первичное частотное регулирование, участие в программах агрегирования нагрузки и управления нагрузкой) (DR);

- потенциальные возможности монетизации большого массива аналитической информации о характере и особенностях энергопотребления различных категорий потребителей на розничном рынке электроэнергии (Data);

- превентивный мониторинг поломок оборудования на объекте и соответствующее снижение расходов на ремонт или восстановление, снижение косвенных потерь от простоя оборудования при поломке, обеспечение бесперебойного энергоснабжения и повышение качества электроэнергии (Expense).

Косвенные эффекты:

- снижение индикативных цен на рынке на сутки вперед за счет оптимизации графиков внутрисуточной нагрузки и потребления мощности в энергосистеме (RSV);

- снижение расходов на строительство пиковой генерации, а также магистральных и распределительных сетей (Inv);

- снижение технологических потерь в электрических сетях участников модели активного потребителя, своевременная детекция и устранение коммерческих потерь (Loss);

- эффективное взаимодействие с коммерческой инфраструктурой оптового рынка электроэнергии и мощности в части оказания системных услуг (в программах агрегирования нагрузки, управления энергопотреблением и других) за счет персональных рекомендаций, разработанных с помощью аналитики больших данных о характере нагрузки конечных потребителей на розничном рынке (BigData).

Таким образом, суммарный экономический эффект может быть описан соотношением (7)

$$Eff_i = Cost + DR + Data + Expense + RSV + Inv + Loss + BigData. (7)$$

В свою очередь, взаимосвязь относительной величины инвестиций в энергетические технологии Индустрии 4.0, являющиеся элементами моделей активного потребителя, и достижения положительных экономических эффектов описывается уравнением (8)

$$Eff_i = \overline{Inv}_i z + RGInv_i \beta + SNEInv_i \beta + ISUInv_i \beta + CTIInv_i \beta + \sigma_i, \quad (8)$$

где Eff_i – экономический эффект от внедрения моделей активного потребителя;

α и β – параметры третьей части CDM-модели соответственно;

σ_i – случайные ошибки модели.

С целью качественной проработки соотношения между инвестициями во внедрение моделей активного потребителя и получаемыми при этом положительными экономическими эффектами при анализе будут рассмотрены четыре основных типа моделей активного потребителя:

- активный энергокомплекс / микрогрид;
- энергетическая ячейка;
- P2P-модель / интернет энергии;
- агрегатор нагрузки.

От рассмотрения базовой модели активного потребителя в CDM-модели решено отказаться, так как данная модель существует в теоретических исследованиях и не реализуема на практике ввиду несоизмеримо высоких транзакционных издержек относительно потенциально создаваемых положительных экономических эффектов.

Таким образом, анализ третьей части CDM-модели позволит проверить гипотезу H1: если предположение верно и применение технологий Индустрии 4.0 в рамках новых механизмов взаимодействия на основе моделей

активного потребителя позволяет повысить эффективность деятельности компаний – конечных потребителей электроэнергии, то объемы инвестиций в проекты внедрения оборудования моделей активного потребителя окажутся положительно связаны с достигаемыми экономическими эффектами. Если предположение ошибочно, то соответствующие коэффициенты перед инвестициями в энергетические технологии Индустрии 4.0 будут отрицательными.

2.2 Результаты исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя при помощи CDM-модели

Для проведения моделирования при помощи CDM-модели опросные листы были направлены в адрес 356 экспертов, отобранных по критериям, аналогичным изложенным в приложении Б, среди компаний – потребителей электроэнергии на розничном рынке электроэнергии и мощности. Компании укрупненно сгруппированы по шести видам экономической деятельности. Ответ направили 203 респондента, отклик составил 57%. Характеристика выборки представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика выборки

Характеристика организации – потребителя электроэнергии	В процентах	
	Количество компаний	
Инвестиционно-строительная компания	4,1	
Розничная торговля	27,0	
Собственник коммерческой недвижимости	25,1	
Управляющая компания ЖКХ	8,3	
Промышленность	16,2	
Прочие субъекты МСП	19,3	

Источник: составлено автором.

Результаты анализа, полученные при помощи двухэтапной цензурированной регрессии Хекмана (первой группы уравнений), представлены в таблице 7. Решения компаний – потребителей электроэнергии на розничном рынке электроэнергии и мощности о вложениях в модели активного потребителя оценены при помощи пробит-модели, где независимыми переменными выступили факторы, описанные в таблице 5.

Кроме того, на принятие новых технологий влияют факторы, характеризующие компанию и отрасль, в которой она функционирует, поэтому в качестве контрольных переменных использованы размер компании, исчисленный как логарифм среднесписочного количества штатных единиц, и объем инвестиций в операционную деятельность (логарифм вложений в оборотные активы).

Нормированный объем вложений определен как объем вложений во внедрение моделей активного потребителя, нормированный на штатную единицу.

Полученные результаты демонстрируют, что в случае внедрения активного энергокомплекса / микрогрида наиболее сильное воздействие оказывают факторы технической выполнимости, а также влияние органов-регуляторов и влияние компаний электроэнергетической отрасли.

Сила влияния технической выполнимости может быть объяснена высоким уровнем требований к текущей инфраструктуре компаний, так как в данной модели с ней нужно увязать разнородное оборудование, начиная генераторами и накопителями и заканчивая цифровыми сенсорами и актуаторами – устройствами или элементами какого-либо устройства, которые могут линейным или вращательным движением переключать режимы работы систем или их оборудования.

Так как многие отношения в сфере электроэнергетики регулируются органами власти, особенно в части потребителей на розничном рынке, соответствующий фактор также получил высокую оценку.

Таблица 7 – Силы влияния факторов на принятие решения компаниями о вложениях в модели активного потребителя

Экзогенные переменные	Активный энергокомплекс / микрогрид		Энергетическая ячейка		P2P-модель / интернет энергии		Агрегатор нагрузки	
	Решение вложениях в модель активного потребителя	Относительная величина вложений	Решение вложениях в модель активного потребителя	Относительная величина вложений	Решение вложениях в модель активного потребителя	Относительная величина вложений	Решение вложениях в модель активного потребителя	Относительная величина вложений
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Метод анализа	Первый компонент модели – цензурированная регрессия Хекмана							
	Первое уравнение	Второе уравнение	Первое уравнение	Второе уравнение	Первое уравнение	Второе уравнение	Первое уравнение	Второе уравнение
Техническая выполнимость (d_1)	0,506 (0,101)	0,621 (0,132)	0,493 (0,109)	0,564 (0,127)	0,635 (0,114)	0,664 (0,157)	0,356 (0,068)	0,370 (0,059)
Воспринятые преимущества (d_2)	0,350 (0,092)	0,327 (0,062)	0,368 (0,099)	0,342 (0,072)	0,341 (0,091)	0,335 (0,075)	0,324 (0,074)	0,365 (0,082)
Воспринятые риски (d_3)	0,331 (0,071)	0,261 (0,052)	0,301 (0,079)	0,256 (0,063)	0,368 (0,088)	0,296 (0,083)	0,158 (0,032)	0,174 (0,044)
Ожидаемые затраты (d_4)	0,498 (0,056)	0,321 (0,048)	0,502 (0,106)	0,425 (0,098)	0,601 (0,131)	0,561 (0,108)	0,249 (0,046)	0,266 (0,050)
Сложность освоения (d_5)	0,444 (0,051)	0,321 (0,069)	0,424 (0,074)	0,331 (0,065)	0,554 (0,097)	0,487 (0,069)	0,274 (0,052)	0,261 (0,044)
Влияние органов-регуляторов (d_6)	0,506 (0,101)	0,621 (0,132)	0,511 (0,112)	0,638 (0,127)	0,498 (0,085)	0,467 (0,83)	0,598 (0,136)	0,600 (0,149)
Влияние компаний электроэнергетики (d_7)	0,550 (0,092)	0,427 (0,062)	0,682 (0,108)	0,598 (0,098)	0,596 (0,091)	0,598 (0,093)	0,571 (0,105)	0,537 (0,097)
Давление рыночной среды (d_8)	0,131 (0,071)	0,161 (0,052)	0,117 (0,048)	0,136 (0,050)	0,124 (0,066)	0,154 (0,061)	0,152 (0,064)	0,141 (0,055)
Технологические изменения в отрасли (d_9)	0,098 (0,056)	0,121 (0,048)	0,103 (0,037)	0,112 (0,025)	0,128 (0,032)	0,135 (0,029)	0,100 (0,029)	0,118 (0,046)
Надежность (d_{10})	0,244 (0,051)	0,221 (0,069)	0,278 (0,066)	0,235 (0,053)	0,305 (0,074)	0,311 (0,059)	0,109 (0,019)	0,114 (0,033)
Размер компании (log средней численности)	0,244 (0,051)	0,321 (0,069)	0,254 (0,045)	0,329 (0,051)	0,217 (0,023)	0,264 (0,027)	0,199 (0,021)	0,184 (0,024)

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Логарифм числа сотрудников, занятых в инновационной деятельности	0,321 (0,069)	–	0,345 (0,083)	–	0,405 (0,106)	–	0,344 (0,071)	–
Инвестиции в текущую деятельность (лог вложений в оборотные активы)	0,125 (0,048)	0,129 (0,043)	0,159 (0,043)	0,162 (0,056)	0,201 (0,069)	0,218 (0,058)	0,138 (0,058)	0,142 (0,054)
Число наблюдений	203		203		203		203	
Оценка качества модели – лямбда Хекмана	0,225 (0,110)		0,193 (0,102)		0,207 (0,089)		0,211 (0,093)	
Тест Вальда для $H_0: \rho = 0$	5,64		21,18		11,42		17,39	
Логарифмическая функция правдоподобия	1453,24		3201,37		2535,08		2022,10	
<p>П р и м е ч а н и я 1 Представленные числа имеют значения маржинального эффекта. 2 Статистическая значимость коэффициентов: $p \leq 0,01$. 3 В скобках указаны робастные стандартные ошибки.</p>								

Источник: составлено автором.

Сила влияния компаний электроэнергетики объясняется тем, что в текущей структуре нормативно-правовых актов отрасли именно на них в большей степени будет возложена роль операторов активного энергокомплекса, и они могут являться основными поставщиками оборудования для развертывания модели активного потребителя и дальнейшей ее эксплуатации.

Чуть менее высокую оценку получили фактор сложности освоения и ожидаемых затрат. Это может быть объяснено тем, что для успешного развертывания модели активного потребителя компания должна иметь высокий уровень компетенций не только в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках, но и обладать существенными цифровыми компетенциями. Ожидаемые затраты являются значимыми, так как цифровое энергетическое оборудование довольно дорогостоящее, а достигнутые выгоды при его внедрении приводят к окупаемости внедрения в среднесрочной или долгосрочной перспективе.

Умеренные оценки выявлены для факторов надежности и рискованности. Компании волнуют вопросы надежности энергоснабжения, однако при достаточном уровне качества оборудования, наличия его резервов и своевременного постпродажного обслуживания, а также возможности взаимодействия с ЕЭС розничные потребители оценивают данные риски как контролируемые.

Слабое влияние на принятие решения о внедрении моделей активного энергокомплекса оказывают факторы технологических изменений отрасли функционирования компании и давления со стороны конкурентов. Таким образом, можно сделать вывод, что в части внедрения энергетических технологий Индустрии 4.0 розничные потребители обладают относительно небольшой долей инноваторов.

Схожими параметрами обладает модель энергетической ячейки, однако в ней большей силой обладает фактор влияния компаний электроэнергетики, так как данная модель предполагает наличие локальной розничной генерации,

принадлежащей энергокомпаниям, и успех внедрения этой модели будет в большей степени зависеть от эффективности взаимодействия с данными локальными энергокомпаниями.

Для P2P-модели / интернета энергии при общей схожести силы влияния факторов существенно выделяются факторы технической выполнимости и ожидаемых затрат. Реализация данной модели требует наиболее сложного и дорогостоящего цифрового оборудования как на стороне конечных потребителей, так и энергокомпаний, при этом основные фонды компании должны быть совместимы с данным оборудованием. По этой же причине фактор сложности освоения оказывает на принятие решения по внедрению именно этой модели наиболее сильное влияние относительно других моделей.

Силы влияния факторов для модели агрегатора нагрузки наиболее существенно отличаются от предыдущих моделей. Данная модель не требует значительных инвестиций в дорогостоящее оборудование, и для ее реализации достаточно интеллектуальных приборов учета и цифровой платформы мониторинга энергопотребления. Таким образом, в этой модели наиболее сильное влияние оказывают компании электроэнергетики и органы власти, являющиеся основными методологами и операторами программ по управлению спросом и агрегированию нагрузки. Техническая выполнимость, ожидаемые затраты, сложность освоения и воспринятые преимущества оказывают умеренно воздействие. Влияние остальных факторов относительно невелико.

Таким образом, из анализа факторов можно сделать следующие выводы:

- компаниям необходимо иметь достоверные представления об уровне своей инфраструктурной готовности и цифровой зрелости перед принятием решения о внедрении той или иной модели;

- для успешного распространения моделей активного потребителя необходимо эффективное взаимодействие потребителей с энергокомпаниями, создающее ценность как для конечных потребителей, так и для компаний электроэнергетики, а также с органами-регуляторами;

- низкое влияние технологического прогресса и давления конкурентов на рынке свидетельствует о низкой инновационной активности среди конечных потребителей в части внедрения электроэнергетических технологий.

Проведенный анализ факторов послужил дополнительным обоснованием выбора направлений оценки зрелости субъектов розничного рынка для внедрения моделей активного потребителя при разработке методики оценки готовности субъектов розничного рынка к внедрению модели активного потребителя в параграфе 3.2 главы 3.

После анализа факторов, влияющих на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя, проведен анализ вложений во внедрение таких моделей с разбивкой по направлениям инвестирования в объекты технологического базиса модели активного потребителя. Результаты расчета представлены в таблице 8.

Расчетное значение относительной величины инвестиций в проекты внедрения моделей активного потребителя оказывает умеренно сильное влияние для первых трех моделей, при этом максимальные значения коэффициентов обнаруживаются при вложениях в установку распределенной генерации и систем накопления энергии. Данная переменная в существенно меньшей степени оказывает влияние на модель агрегатора нагрузки, что может быть объяснено существенно меньшей стоимостью элементов этого решения.

Участие в государственных программах оказывает умеренно сильное влияние на все модели активного потребителя. В настоящий момент именно органы власти законодательно сопровождают реализацию пилотных программ (в том числе пилотный проект по агрегаторам нагрузки и активным энергокомплексам) и участие в пилотных проектах и направление своевременной и объективной обратной связи способно повысить эффективность реализации данных проектов. Также в сфере ответственности органов власти лежит определение расходов энергокомпаний, которые могут быть включены в тарифные источники финансирования.

Таблица 8 – Результаты анализа вложений во внедрение моделей активного потребителя с разбивкой по направлениям инвестирования

Экзогенные переменные	Активный энергокомплекс/микрогрид				Энергетическая ячейка				P2P-модель / интернет энергии				Агрегатор нагрузки			
	ИРГ	ИСНЭ	ИИСУ	ИЦТИ	ИРГ	ИСНЭ	ИИСУ	ИЦТИ	ИРГ	ИСНЭ	ИИСУ	ИЦТИ	ИРГ	ИСНЭ	ИИСУ	ИЦТИ
1	2				3				4				5			
Расчетное значение относительной величины инвестиций	0,392 (0,073)	0,289 (0,045)	0,089 (0,015)	0,147 (0,026)	0,385 (0,078)	0,277 (0,055)	0,102 (0,017)	0,163 (0,021)	0,373 (0,099)	0,312 (0,084)	0,125 (0,024)	0,206 (0,039)	–	–	0,156 (0,035)	0,178 (0,047)
Участие в государственных программах (1 – да, 0 – нет)	0,286 (0,052)	0,247 (0,042)	0,235 (0,037)	0,201 (0,34)	0,308 (0,074)	0,254 (0,059)	0,265 (0,041)	0,223 (0,062)	0,274 (0,034)	0,229 (0,048)	0,243 (0,050)	0,221 (0,029)	–	–	0,395 (0,081)	0,402 (0,093)
Взаимодействие с представителями консалтинговых компаний (1 – да, 0 – нет)	0,128 (0,017)	0,175 (0,021)	0,123 (0,206)	0,246 (0,063)	0,124 (0,024)	0,156 (0,028)	0,145 (0,019)	0,239 (0,075)	0,178 (0,030)	0,189 (0,025)	0,226 (0,035)	0,265 (0,046)	–	–	0,283 (0,072)	0,296 (0,065)
Взаимодействие с энергокомпаниями (1 – да, 0 – нет)	0,386 (0,074)	0,428 (0,083)	0,351 (0,059)	0,258 (0,042)	0,425 (0,089)	0,446 (0,094)	0,378 (0,072)	0,267 (0,048)	0,356 (0,088)	0,411 (0,101)	0,334 (0,062)	0,249 (0,038)	–	–	0,494 (0,091)	0,567 (0,103)
Взаимодействие с научными организациями (1 – да, 0 – нет)	0,087 (0,011)	0,103 (0,016)	0,078 (0,013)	0,124 (0,025)	0,077 (0,015)	0,095 (0,025)	0,093 (0,016)	0,111 (0,019)	0,125 (0,015)	0,132 (0,022)	0,119 (0,026)	0,127 (0,017)	–	–	0,154 (0,022)	0,136 (0,036)
Размер компании (log средней численности)	0,223 (0,068)	0,236 (0,063)	0,089 (0,029)	0,125 (0,048)	0,234 (0,076)	0,249 (0,057)	0,097 (0,019)	0,120 (0,031)	0,226 (0,054)	0,244 (0,068)	0,104 (0,026)	0,178 (0,053)	–	–	0,084 (0,011)	0,078 (0,017)
Логарифм числа сотрудников, занятых в инновационной деятельности	0,105 (0,038)	0,112 (0,040)	0,143 (0,052)	0,137 (0,027)	0,110 (0,018)	0,101 (0,028)	0,128 (0,043)	0,145 (0,034)	0,165 (0,045)	0,157 (0,043)	0,203 (0,059)	0,222 (0,038)	–	–	0,093 (0,023)	0,105 (0,018)

Продолжение таблицы 8

1	2				3				4				5			
Инвестиции в текущую деятельность (log вложений в оборотные активы)	0,246 (0,059)	0,213 (0,061)	0,157 (0,046)	0,198 (0,054)	0,253 (0,051)	0,231 (0,046)	0,187 (0,038)	0,172 (0,045)	0,264 (0,074)	0,231 (0,066)	0,175 (0,038)	0,189 (0,036)	–	–	0,157 (0,024)	0,198 (0,015)
Число наблюдений	203				203				203				203			
McFadden Rsquared, в процентах	48,31				54,12				53,03				49,34			
LR-statistic	71,23				66,14				78,89				63,56			
Prob(LR-statistic)	0				0				0				0			
<p>Примечания</p> <p>1 ИРГ – инвестиции во внедрение распределенной генерации.</p> <p>2 ИСНЭ – инвестиции во внедрение систем накопления электроэнергии.</p> <p>3 ИИСУ – инвестиции во внедрение интеллектуальных систем учета электроэнергии.</p> <p>4 ИЦТИ – инвестиции во внедрение цифровых технологий Индустрии 4.0.</p> <p>5 Представленные числа имеют значения маржинального эффекта.</p> <p>6 Статистическая значимость коэффициентов: $p \leq 0,01$.</p> <p>7 В скобках указаны робастные стандартные ошибки.</p>																

Источник: составлено автором.

Взаимодействие с представителями консалтинговых компаний наиболее сильно влияет на инвестиции в интеллектуальные системы учета и цифровые технологии Индустрии 4.0 для всех типов моделей активного потребителя. При этом наибольшее влияние оказывается при внедрении моделей интернета энергии и агрегатора нагрузки. Это может быть обусловлено тем, что консалтинговые компании обладают бóльшим представлением о функционировании цифровых технологий индустрии 4.0, в том числе платформенных решений, а также обладают широкой экспертизой внедрения цифровых решений на предприятиях, что позволяет им оказывать эффективное содействие при проектировании решений и приводить к большей эффективности развертывания цифровых компонентов моделей. Повышенный эффект для модели интернета энергии обуславливается наиболее высокими требованиями данной модели к ее ИТ-составляющей. В случае агрегатора нагрузки повышенная степень влияния может быть связана с тем, что основная составляющая данной модели также лежит в сфере цифровых технологий.

Взаимодействие с энергокомпаниями демонстрирует наибольшую силу влияния как в разрезе типов моделей активного потребителя, так и компонентов самих моделей. В первую очередь это обуславливается непосредственным участием энергокомпаний в пилотных проектах по реализации моделей активного потребителя. Также часть энергокомпаний участвует в разработке оборудования, необходимого для внедрения таких моделей, и предлагает комплексные решения для конечного потребителя.

Взаимодействие с научными организациями показывает наименьшую силу влияния, что может быть обусловлено недостаточно высокими возможностями по коммерциализации разработок самими научными организациями. К тому же большинство научных организаций, разрабатывающих технологии Индустрии 4.0 в сфере энергетики, находятся в контуре управления крупных энергокомпаний, и именно энергокомпания берут на себя ответственность по интеграции разработок в единые ценностные предложения для потребителей и последующей коммерциализации.

Таким образом, результаты настоящего расчета служат дополнительным обоснованием необходимости тесного взаимодействия потребителей с энергокомпаниями при реализации проектов внедрения моделей активного потребителя. Также повысить эффективность инвестиций способны консалтинговые компании, обладающие необходимыми цифровыми компетенциями и релевантным опытом, и участие в государственных программах.

Проведенный анализ также послужил дополнительным обоснованием выбора направлений оценки зрелости субъектов розничного рынка для внедрения моделей активного потребителя при разработке методики оценки готовности субъектов розничного рынка к внедрению модели активного потребителя в параграфе 3.2 главы 3.

В завершение настоящего параграфа в таблице 9 представлены результаты расчета третьей части модели, влияния относительной величины инвестиций в оборудование моделей активного потребителя на достижение положительных экономических эффектов.

Таблица 9 – Влияние относительной величины инвестиций в оборудование моделей активного потребителя на достижение положительных экономических эффектов

Экзогенные переменные Метод анализа – МНК (метод наименьших квадратов)	Уравнение экономических эффектов (зависимая переменная – экономический эффект от внедрения моделей активного потребителя)			
	Активный энергокомплекс / микрогрид	Энергетическая ячейка	P2P-модель / интернет энергии	Агрегатор нагрузки
1	2	3	4	5
Расчетное значение относительной величины инвестиций в проекты внедрения моделей активного потребителя	0,145 (0,037)	0,164 (0,041)	0,179 (0,035)	0,093 (0,017)
Интенсивность инвестиций во внедрение распределенной генерации	0,482 (0,095)	0,507 (0,093)	0,456 (0,072)	-
Интенсивность инвестиций во внедрение систем накопления электроэнергии	0,534 (0,107)	0,514 (0,110)	0,505 (0,097)	-
Интенсивность инвестиций во внедрение интеллектуальных систем учета электроэнергии	0,335 (0,084)	0,327 (0,092)	0,339 (0,077)	0,539 (0,108)

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
Интенсивность инвестиций во внедрение цифровых технологий Индустрии 4.0	0,298 (0,076)	0,309 (0,080)	0,471 (0,083)	0,523 (0,096)
Размер компании (log средней численности)	0,154 (0,027)	0,143 (0,032)	0,212 (0,038)	0,099 (0,017)
Логарифм числа сотрудников, занятых в инновационной деятельности	0,145 (0,035)	0,153 (0,031)	0,174 (0,068)	0,112 (0,028)
Инвестиции в текущую деятельность (log вложений в оборотные активы)	0,166 (0,053)	0,189 (0,043)	0,203 (0,061)	0,142 (0,039)
Число наблюдений	203	203	203	203
McFadden R-squared, в процентах	47,41	51,12	49,55	60,17
LR-statistic	72,25	66,14	78,87	63,42
Prob (LR-statistic)	0	0	0	0
<p>Примечания</p> <p>1 Представленные числа имеют значения маржинального эффекта.</p> <p>2 Статистическая значимость коэффициентов: $p \leq 0,01$.</p> <p>3 В скобках указаны робастные стандартные ошибки.</p>				

Источник: составлено автором.

Для моделей активного энергокомплекса и энергетической ячейки наиболее сильная положительная зависимость наблюдается для вложений в распределенную генерацию и системы накопления энергии, так как именно эти два элемента обеспечивают непосредственное снижение затрат за 1 кВт*ч энергии. Развитие распределенной генерации и СНЭ приводит к усилению прямых эффектов от оказания системных и вспомогательных услуг, а также косвенных – от снижения равновесной цены на РСВ и снижения потребностей в инвестициях в сетевые и генерирующие мощности в части ЕЭС.

Для данных моделей инвестиции в системы интеллектуального учета и цифровые технологии Индустрии 4.0 демонстрируют умеренную связь, так как именно эти элементы позволяют увязывать и оптимизировать работу прочего оборудования, тем самым усиливая эффекты от работы распределенной генерации и СНЭ и создавая ряд собственных, таких как оптимизация работы оборудования предприятия, предиктивная аналитика

сбоев и поломок, а также возможность коммерциализации собранных на предприятии данных.

R2P-модель / интернет энергии имеет схожие результаты расчета, однако существенно повышается роль инвестиций в цифровые технологии Индустрии 4.0. В отличие от предыдущих, данная модель предполагает наличие транзакционной платформы для учета произведенной и потребленной энергии, оказанных системных и иных услуг в режиме реального времени, а также системы промышленного интернета вещей для оптимизации режима энергопотребления в рамках всей модели в целом, что существенно повышает эффект от инвестиций во внедрение цифровых технологий.

Модель агрегатора нагрузки создает наибольшие положительные эффекты при инвестировании в системы интеллектуального учета и цифровые технологии. Данная модель создает прямые экономические эффекты за счет оказания одной из системных услуг – управления спросом и коммерциализации больших данных, собранных с потребителя, а также приводит к косвенному эффекту – снижению равновесной цены на РСВ в краткосрочной перспективе и на рынке мощности – в долгосрочной. На стороне розничных потребителей сосредоточен существенный потенциал по управлению спросом и сбору больших данных, который может быть успешно реализован при развитии интеллектуальных систем учета и цифровых технологий, что подтверждается высокими коэффициентами эластичности.

Согласно полученным результатам, для каждой из моделей активного потребителя объемы инвестиций в проекты внедрения положительно связаны с достигаемыми положительными экономическими эффектами.

Полученные эмпирические результаты демонстрируют, что предельный эффект инвестиций в проекты внедрения моделей активного потребителя и экономический эффект от их внедрения для модели агрегатора нагрузки равен 0,09, для активного энергокомплекса – 0,15, для энергетической ячейки – 0,16 и для интернета энергии – 0,18. Таким образом, инвестиции в

проекты внедрения моделей активного потребителя повышают эффективность деятельности субъектов розничного рынка в среднем по моделям активного потребителя с эластичностью 0,15.

Для моделей, включающих в себя наибольшее количество современных энергетических технологий и наиболее полно использующих цифровые технологии, наблюдаются бóльшие коэффициенты эластичности инвестиций в проекты внедрения моделей активного потребителя, чем для более простых моделей. Это подтверждает выдвинутое в параграфе 1.2 главы 1 настоящего исследования предположение о том, что эффекты от внедрения распределенной генерации, систем накопления электроэнергии, интеллектуальных систем учета, являющихся технологическим базисом моделей активного потребителя, проявляются значительно сильнее в случае применения в комплексных решениях, учитывающих внедрение современных энергетических технологий совместно с цифровыми технологиями Индустрии 4.0.

Ранее в параграфе 1.3 главы 1 выделены и теоретически обоснованы четыре работоспособные модели активного потребителя, а также описаны потенциальные эффекты, создаваемые каждой из моделей.

Таким образом, на основе теоретического анализа литературы выявлены факторы, влияющие на принятие и последующее внедрение моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка. На основе CDM-модели эмпирически обоснована значимость рассматриваемых факторов, для каждой из моделей активного потребителя показаны силы влияния факторов и выделены наиболее значимые из них. Для всех моделей можно утверждать об особой значимости факторов технической выполнимости и уровня цифровых компетенций, а также факторов взаимодействия потребителей с энергокомпаниями и органами-регуляторами. Таким образом, гипотеза H2 может считаться подтвержденной.

Анализ третьей части CDM-модели, посвященной оценке связи относительной величины инвестиций в оборудование моделей активного потребителя с достижением положительных экономических эффектов, позволяет сделать вывод, что теоретически обоснованные положительные эффекты возможны и достигаются при вложениях в энергетические технологии Индустрии 4.0, составляющие технологический базис данных моделей, что доказывает гипотезу Н1.

Эмпирическое подтверждение гипотезы Н1 о достижимости положительных экономических эффектов обосновывает целесообразность практического внедрения данных моделей активного потребителя и позволяет продолжить их рассмотрение как основу целевой модели розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации электроэнергетической отрасли, а подтверждение гипотезы Н2 в виде проведенного анализа факторов является обоснованием дальнейшего выбора направлений оценки зрелости субъектов розничного рынка для успешного внедрения моделей активного потребителя при разработке методики оценки готовности субъектов розничного рынка к внедрению модели активного потребителя в параграфе 3.2 главы 3.

2.3 Целевая модель розничного рынка электроэнергии

Проанализировав теоретические аспекты цифровых и электроэнергетических технологий Индустрии 4.0, сформировав перечень моделей активного потребителя и эффектов, порождаемых ими для субъектов розничного рынка, выявив и оценив качественно и количественно факторы, влияющие на принятие моделей, а также доказав, что механизмы взаимодействия на основе активного вовлечения потребителей розничного рынка в торговлю электроэнергией позволяют повысить эффективность деятельности компаний – конечных потребителей электроэнергии, автор

подтвердил целесообразность практического внедрения данных моделей, что позволяет перейти к формированию новой модели взаимодействия розничных потребителей с энергокомпаниями, направленной на создание новой ценности как для потребителей, так и для самих компаний отрасли электроэнергетики.

В предлагаемой целевой модели на стороне конечного потребителя могут располагаться объекты распределенной генерации как на ископаемых видах топлива, так и с использованием возобновляемых источников энергии (малых солнечных и ветряных генераторов) или же системы накопления электроэнергии. В случае отсутствия генерирующих или накопительных мощностей розничный потребитель также будет являться важным элементом целевой модели за счет предоставления гибкости, выражаемой в способности изменять свою нагрузку в определенные часы.

В свою очередь, в предлагаемой целевой модели ключевой технологией, участвующей в построении взаимодействия между конечными потребителями на розничном рынке электроэнергии и мощности и компаниями электроэнергетической отрасли, является технология интеллектуальных систем учета электроэнергии. Эти ИСУ должны обеспечивать возможность двустороннего обмена данными о потреблении электроэнергии, выработке на стороне конечного потребителя, ценовых сигналов и финансовых обязательствах. В данные, агрегируемые интеллектуальными системами учета, может входить информация об объемах потребления в режиме реального времени, объемах энерговыработки на стороне конечного потребителя, а также объемах перетоков электроэнергии с соседними потребителями или с ЕЭС России.

Также интеллектуальные системы учета могут собирать ряд косвенных данных, получаемых на основе анализа характеристик энергетических режимов потребителя, у которого они установлены. Например, данные о режимах работы энергопринимающих устройств, отклонениях от их нормативного режима работы или о потерях в сетях конечного потребителя

(что позволяет обнаруживать возможные факты безучетного потребления или незаконного воздействия на счетчики).

При этом отношения между участниками розничного рынка электроэнергии претерпевают существенные изменения. В рамках авторской целевой модели конечный потребитель перестает находиться в пассивной ценопринимавшей позиции и становится активным участником торговли электроэнергией посредством одной из моделей активного потребителя, что приводит к изменению направлений энергетического и информационного обмена на рынке.

Потребитель обретает возможность не только получать электроэнергию из сети, но и выдавать ее в обратном направлении в моменты, когда собственная выработка превышает собственное потребление.

Характер информационного обмена также трансформируется. В рамках целевой модели потребители собирают информацию об объемах и стоимости генерации электроэнергии на их стороне, режимах работы их энергопринимающих устройств и обмениваются этой информацией с иными розничными потребителями внутри их модели, операторами активного потребителя и компаниями энергетики. Также они получают информацию, какие цены на электроэнергию сложились в единой энергосистеме и поступили ли команды с рынка системных услуг, тем самым определяя результирующий режим работы их энергетических сетей.

Таким образом, компаниям энергетики необходимо обеспечить технологическую и организационную возможность осуществления подобного двунаправленного обмена электроэнергией и информацией между конечными потребителями, энергосбытовыми и электросетевыми компаниями, непосредственно взаимодействующими с данными потребителями, а также энергокомпаниями, не участвующими в информационном обмене с розничными конечными потребителями напрямую, такими как розничные

генераторы или субъекты оптового рынка, в особенности субъекты технологической и коммерческой инфраструктуры.

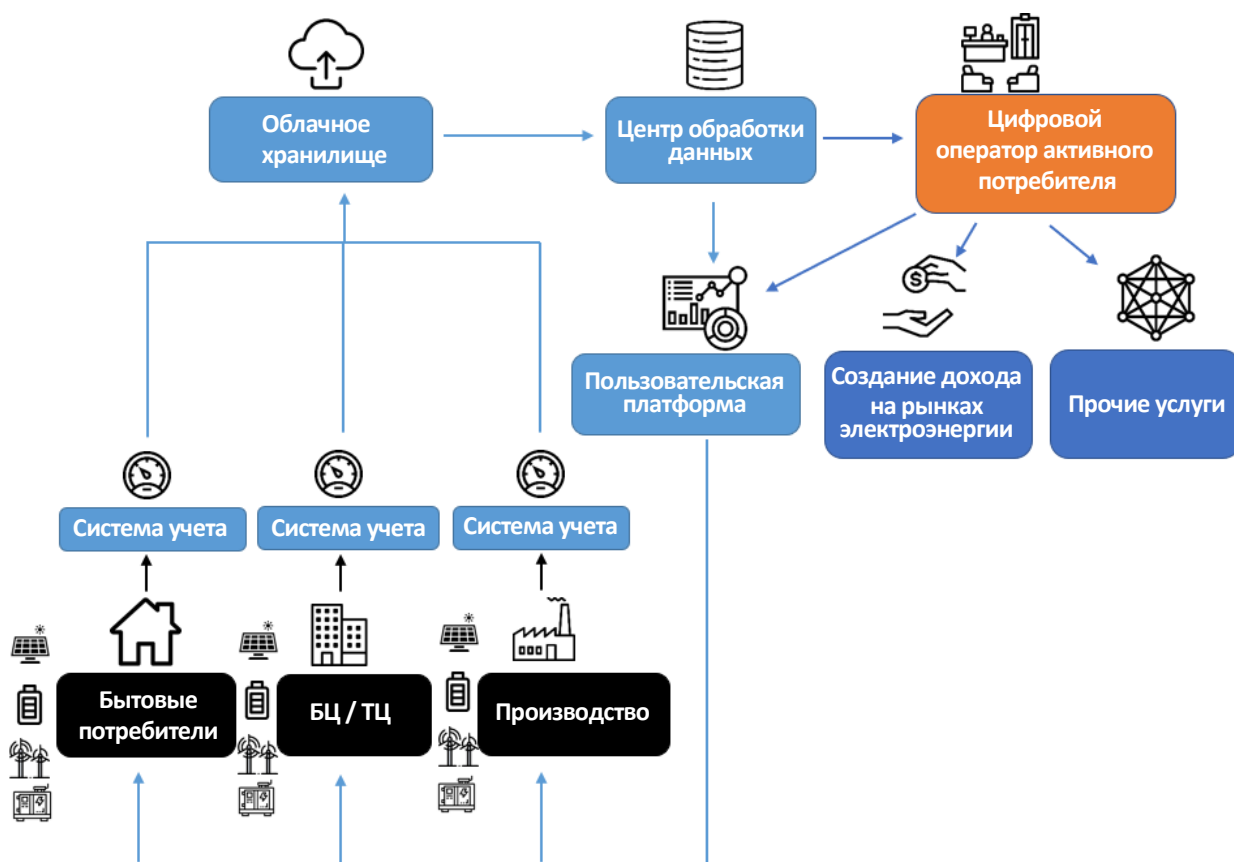
В сравнении с текущим укладом наиболее существенно изменится взаимодействие с инфраструктурными организациями. Со стороны розничных потребителей появляется возможность участвовать на рынке системных услуг при помощи оператора активного потребителя, представляющего совокупную гибкость розничных потребителей на рынке и напрямую взаимодействующего с субъектами диспетчерского управления и коммерческим оператором рынка. Коммерческий оператор при расчетах цен на ближайшие операционные сутки и определении необходимости осуществления управления спросом также опирается на данные, собранные на стороне активных потребителей на розничном рынке.

Помимо этого, возникает необходимость анализировать косвенную информацию об энергопотреблении на стороне розничных потребителей, которая позволила бы энергокомпаниям создавать дополнительную ценность для потребителей в виде персонифицированных стратегий участия на рынке системных услуг, превентивного мониторинга поломок энергопринимающих устройств, контроля за несанкционированным подключениям к электросетям и т.д.

При таком характере взаимодействия возникает необходимость сбора, передачи и обработки данных, формируемых интеллектуальными приборами учета, и, соответственно, необходимость разработки и эксплуатации цифровой инфраструктуры, которая будет обеспечивать взаимодействие розничных потребителей и энергокомпаний.

Таким образом, появляется ранее отсутствовавшая функция – цифровой оператор активного потребителя, который организует взаимодействие и обеспечивает трансляцию ценности, создаваемой моделями активного потребителя, для всех участников торгов электроэнергией. Схема

взаимодействия розничных потребителей с цифровым оператором активного потребителя в целевой модели розничного рынка представлена на рисунке 10.



Источник: составлено автором.

Рисунок 10 – Схема взаимодействия с цифровым оператором активного потребителя в целевой модели розничного рынка

Цифровой оператор активного потребителя для каждой из рассмотренных ранее моделей активного потребителя обеспечивает взаимодействие при помощи цифровой платформы и несет ответственность за ее разработку и поддержание. Переданные с интеллектуальных систем учета данные собираются и обрабатываются в центре обработки данных, а результат обработки агрегируется на цифровой платформе и транслируется конечным потребителям электроэнергии в зоне ответственности цифрового оператора.

Цифровая платформа предоставляет собой типовой набор данных, имеющих ценность для конечного потребителя: подробные данные о характеристиках энергопотребления, в том числе с поприборной разбивкой

или разбивкой по помещениям, данные о режимах работы оборудования и отклонениях от типовых режимов для превентивного мониторинга поломок или несанкционированного использования. Помимо этого, цифровая платформа будет предлагать персонализированные стратегии оптимизации режимов работы энергопринимающего и генерирующего оборудования (и при необходимости – производственного процесса) с целью оптимизации профиля потребления и, как следствие, снижения затрат на покупку электроэнергии. Также цифровая платформа станет основным инструментом участия розничного потребителя в управлении нагрузкой и оказании услуг по управлению спросом.

Кроме того, цифровая платформа способна оказывать биллинговые услуги и ограничивать энергопотребление при помощи интеллектуальных систем учета в случае выявления неоплат. В свою очередь, цифровой оператор активного потребителя посредством цифровой платформы способен выстраивать взаимоотношения с оптовым рынком электроэнергии и мощности (в частности, с рынком системных услуг), создавать дополнительный доход за счет оказания системных услуг по управлению спросом и перераспределять его конечным потребителям в зоне своей ответственности.

Таким образом, цифровой оператор повышает энергоэффективность субъектов розничного рынка за счет оптимизации режимов энергопотребления и энерговыработки, ряда дополнительных услуг, таких как деагрегация энергопотребления или превентивный контроль, а также имеет потенциал к созданию дополнительных доходов за счет продажи данных.

Описав целевую модель розничного рынка электроэнергии, необходимо перейти к более подробному рассмотрению новой функциональности, появляющейся в данной модели, – цифрового оператора активного потребителя – и описать выполняемые им ключевые функции, а также

определить, кто из участников рыночных отношений в электроэнергетике может стать цифровым оператором.

Функционал цифрового оператора активного потребителя предполагает заключение договоров на оказание услуг с конечными потребителями – субъектами розничного рынка, которые приняли решение о внедрении одной из моделей активного потребителя, реализуемых цифровым оператором. Также цифровому оператору активного потребителя необходимо заключить договор и наладить взаимодействие с инфраструктурными компаниями на рынке электроэнергии и мощности для осуществления торгов на оптовом рынке и рынке системных услуг, тем самым создавая дополнительную ценность.

Заключая договоры с розничными потребителями, цифровой оператор агрегирует их определенное количество и получает возможность оказывать им услуги непосредственно, а также перераспределять на потребителей эффекты, полученные на оптовом рынке электроэнергии и мощности и на рынке системных услуг. В рамках основной деятельности цифровой оператор будет выполнять нижеперечисленный функционал.

Выявление существующих возможностей по изменению паттернов энергопотребления. Поиск розничных потребителей электроэнергии, обладающих возможностью модулировать энергопотребление и принимать участие в торговле электроэнергией без ущерба для операционной деятельности является одной из основных задач цифрового оператора.

Разработка технологий гибкого управления потреблением и генерацией. Сравнительный анализ потребителей электроэнергии, установленного на их стороне оборудования и паттернов их потребления позволит разработать алгоритмы для комфортного и эффективного участия активных потребителей в торговле на розничном рынке.

Формирование привлекательной и справедливой системы расчетов за услуги. В зоне компетенций цифрового оператора активного потребителя

будет лежать разработка системы расчетов за услуги, которая могла бы учитывать специфику нагрузки конечных потребителей, находящегося на их стороне генерирующего оборудования, сложившиеся цены на электроэнергию в единой энергосистеме, а также необходимость оказания системных услуг и исходя из этих факторов оптимизировать энергетический режим подопечных потребителей таким образом, чтобы расходы на электроэнергию у них стремились к минимуму, а цифровой оператор активного потребителя при этом обеспечивал себе необходимую норму прибыли.

Проактивное участие в разработке системы верификации исполнения обязательств. Для участвующих в активных торгах на розничном рынке конечных потребителей существенно важно разработать механизмы верификации исполнения обязательств, особенно при оказании услуг по снижению нагрузки и управлению спросом, которые тяжело зафиксировать проборами учета. Возникает необходимость в сравнении сформированного математическими методами с использованием статистических данных базового графика потребления оборудования с информацией о фактическом потреблении. На сегодняшний день в мировой практике существует несколько основных методов контроля:

- график базовой нагрузки – метод, основанный на исторических результатах измерений интервальными счетчиками;
- максимальная базовая нагрузка – метод оценки, основанный на способности ресурса поддерживать потребление на заданном уровне (или ниже заданного уровня) во время события управления спросом;
- с использованием заявленного графика нагрузки – метод оценки, основанный на самостоятельном планировании потребления.

Разработка цифровой платформы для оптимизации энергопотребления. Разработка, поддержка и постоянное улучшение пользовательской платформы позволят доносить до пользователей множество полезной информации. Так, например, конечные потребители смогут увидеть

на платформе декомпозицию итоговой суммы затрат на приобретение электрической энергии и тем самым определить устройства с наибольшим потреблением электроэнергии. Такие аналитические данные позволят пользователям эффективнее использовать тарифные сетки (в случае дифференцированных цен по зонам суток), оптимизируя внутрисуточный график работы своих устройств. Помимо этого, для домохозяйств открывается возможность осуществлять родительский контроль и социальный мониторинг.

Разработка цифровой платформы для контроля работы энергетического и производственного оборудования. Данная цифровая платформа в большей степени будет полезна промышленным предприятиям и владельцам коммерческой недвижимости, которые приобретают энергию на розничном рынке. При помощи информации с этой платформы потребители смогут осуществлять превентивный мониторинг состояния их оборудования, а также осуществлять контроль поломок и неисправностей, что поможет снизить вероятность потери оборудования и затраты на его ремонт. Особенную ценность данная функция приобретает для производств непрерывного цикла. Также эта платформа позволит потребителям обеспечить бесперебойное электроснабжение производства и энергетическую безопасность и автономность, что немаловажно для оборудования, чувствительного к качеству электроэнергии. Помимо этого, открывается возможность вести контроль за несанкционированным доступом к оборудованию.

Формирование пула энергоконсалтинговых услуг. Используя накопленный опыт и компетенции, а также специфическое оборудование, цифровой оператор активного потребителя способен оказывать разовые энергоконсалтинговые услуги, такие как оптимизация типового графика нагрузки, выбор оптимального тарифного режима или выявление незаконных присоединений или несанкционированной эксплуатации оборудования.

Обработка собранных больших данных и их последующая коммерциализация. При достижении большого кумулятивного числа вовлеченных в модель активного потребителя субъектов розничного рынка существует возможность реализовать бизнес-модель по продаже больших данных. Потенциальными покупателями таких данных могут быть:

- разработчики готовых сервисов на базе больших данных. В основном это компании цифрового маркетинга, чья роль заключается в покупке больших данных, их обработке и последующей продаже для нужд среднего и малого бизнеса;

- датамайнеры. В этой группе представлены компании, которые разрабатывают алгоритмы, позволяющие потенциальным клиентам извлекать необходимую информацию из больших данных;

- производители приборов и техники. Этот сегмент заинтересован в большой выборке данных по времени и режимам работы бытовых и промышленных приборов с целью дальнейшего развития имеющихся продуктов и разработки новых;

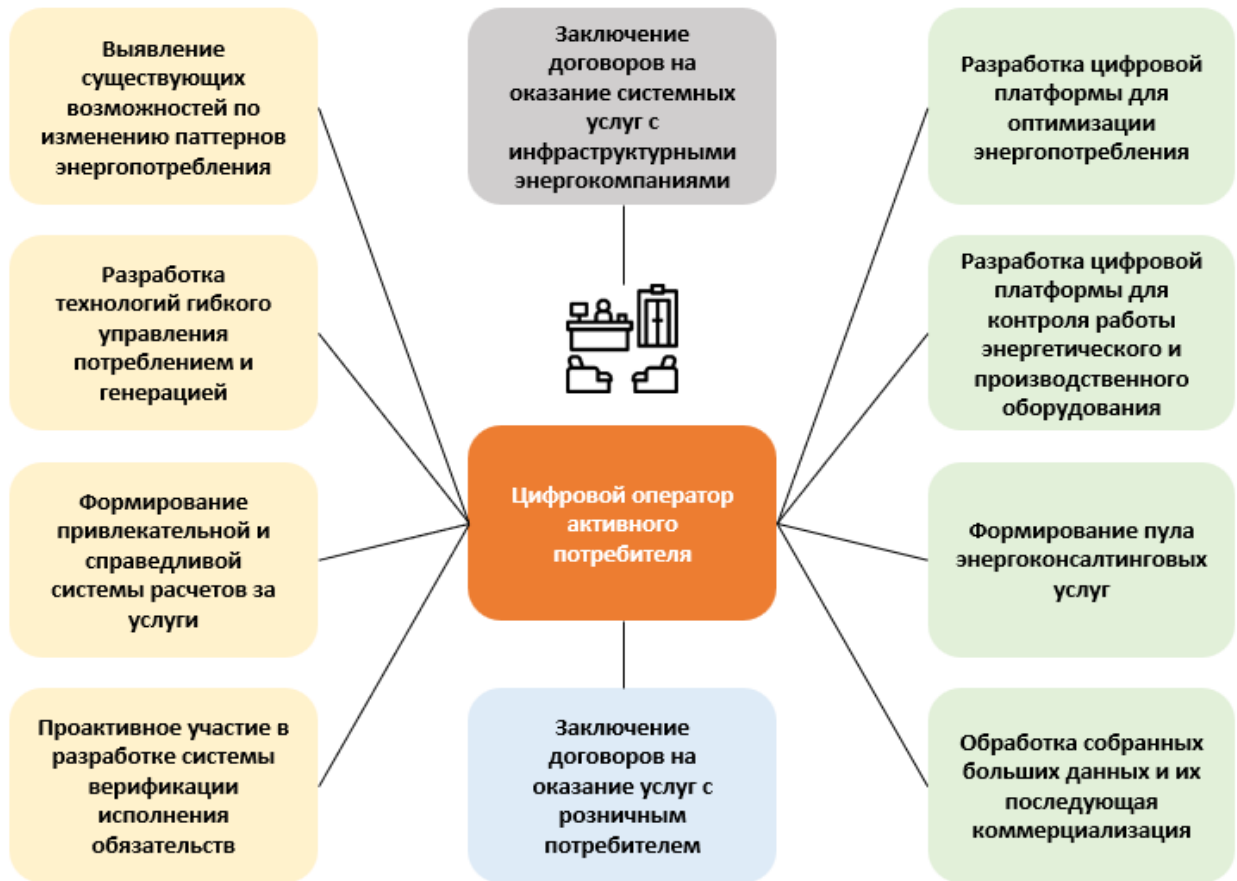
- правительство и органы-регуляторы. Для этого сегмента дополнительная аналитическая информация позволит осуществлять более точные прогнозы, что приведет к росту качества проработки стратегических программ развития;

- научно-исследовательские и аналитические центры, осуществляющие информационную, технологическую и экспертную поддержку высокотехнологичных инициатив.

Ключевые функции, выполняемые цифровым оператором активного потребителя, представлены на рисунке 11.

Исходя из описанного функционала можно сделать вывод, что роль цифрового оператора активного потребителя может быть возложена как на действующие компании электроэнергетической отрасли, например энергосбытовые и электросетевые компании, так и на вновь сформированные

организации, заключившие достаточное количество договоров с конечными потребителями.



Источник: составлено автором.

Рисунок 11 – Ключевой функционал цифрового оператора активного потребителя

Существенным преимуществом для реализации функционала цифрового оператора активного потребителя обладают гарантирующие поставщики и крупные независимые энергосбытовые компании. Осуществляя продажу электроэнергии, такие компании уже сформировали связи с достаточно большим объемом потенциальных потребителей и имеют представление об их характеристиках, что существенно упрощает донесение информации о ценностном предложении участия в активных торгах на энергорынке.

Наличие исходных данных о потребительских сегментах, их структуре, проблемах и потребностях позволит более эффективно разрабатывать

востребованное ценностное предложение, имеющее высокую потребительскую ценность и, как следствие, более высокую скорость продвижения на рынке.

К тому же часть крупных энергокомпаний уже имеет развитую ИТ-инфраструктуру и/или центры обработки данных в структуре своих активов, а также развитые цифровые компетенции. Так, например, ГК «Росатом», ПАО «РусГидро» и ПАО «Интер РАО», в контуре которых имеются энергосбытовые компании АО «АтомЭнергоСбыт», АО «ЭСК РусГидро» и АО «Мосэнергосбыт» соответственно, принимают активное участие в развитии центров обработки данных.

В завершение параграфа будут продемонстрированы особенности реализации целевой модели в случае каждой из внедряемых моделей активного потребителя и описаны ключевые принципы построения системы информационного обмена и организационного взаимодействия при внедрении таких моделей.

Агрегатор нагрузки. Вначале рассмотрим простейшую модель активного потребителя – агрегатора нагрузки. В случае домохозяйств или малых зданий достаточно установить один сенсор ИСУ на вводе в помещение и наладить устойчивое соединение для дальнейшего информационного обмена. При установке системы ИСУ на производствах или крупных объектах коммерческой недвижимости число счетчиков может возрасти в зависимости от целей их установки. Например, при распределении энергопотребления по этажам или сдаваемым в аренду помещениям число сенсоров будет равняться числу этажей или помещений соответственно.

После установки и наладки соединения информация, в режиме реального времени собираемая ИСУ, направляется в облачное хранилище данных, а затем передается в центр обработки данных для последующего анализа.

Обработанная информация с цифровой платформы может поступать клиенту различными путями. Для индивидуальных пользователей будет достаточно пользовательского приложения, устанавливаемого на мобильный телефон. Такой способ позволит потребителю получать весь спектр преимуществ модели агрегатора нагрузки, требующего лишь наладки интеллектуального учета и информационного обмена, без необходимости разбираться в сложных интерфейсах или интерпретировать крупный массив статистических данных. Для коммерческой организации, использующей несколько сенсоров ИСУ, целесообразно получать информацию через личный кабинет на пользовательской платформе, к которому будут привязаны все установленные в здании сенсоры. Не исключается возможность внедрения программного обеспечения системы ИСУ при помощи цифровых интерфейсов в цифровые решения, используемые клиентами.

При этом конечный потребитель может оснастить систему дополнительными сенсорами и актуаторами для автоматизации работы своего производственного или офисного оборудования с целью получения еще больших эффектов от модели агрегатора нагрузки.

Получив информацию, потребители повышают свою эксплуатационную эффективность, снижают затраты на электроэнергию путем адаптации графика энергопотребления к имеющейся тарифной сетке, анализируют загруженность энергопринимающих устройств, формируют данные и реализуют прочие преимущества, присущие модели агрегатора нагрузки.

В свою очередь, данные об энергопотреблении всех пользователей, имеющих ИСУ, агрегируются на сервере системы, и энергокомпания, исполняющая роль агрегатора нагрузки, может воспользоваться ими в своих интересах. Собранные данные могут найти применение как внутри контура электроэнергетической компании, так и во взаимодействии с внешними заинтересованными сторонами.

Внутреннее применение выражается в повышении качества сведения балансов электроэнергии, росте эффективности противодействия бездоговорному и безучетному энергопотреблению и улучшении качества работы с дебиторской задолженностью. Большие данные по характеристикам нагрузки позволят точнее прогнозировать энергопотребление, что будет способствовать росту результативности деятельности энергокомпаний на оптовом и розничном рынках.

Аналитические данные, собранные при пилотировании агрегаторов нагрузки, могут стать мощным инструментом для участия энергокомпаний в пилотных программах новых моделей взаимодействия, реализуемых в Российской Федерации. Например, пилотный проект по управлению спросом, регулируемый Постановлением Правительства Российской Федерации от 20 марта 2019 г. № 287 включает в себя и концепцию агрегатора нагрузки.

Наконец, большие данные могут быть коммерциализированы и за пределами рынков электроэнергии. В этом случае компании электроэнергетической отрасли выступают в роли продавцов на рынке больших данных, а массивы информации об энергопотреблении – товаром. Потенциальными покупателями здесь выступают маркетинговые компании, компании бизнес-консалтинга, производители бытовой и промышленной техники, организации в сфере дистанционного здравоохранения и социального мониторинга.

Модели активного энергокомплекса / микрогрида и P2P-модель / модель интернета энергии. Для реализации данных моделей сенсоры ИСУ, а также цифровые датчики, коммутаторы и актуаторы необходимо дополнить электроэнергетическим оборудованием. В первую очередь это источники распределенной мощности, такие как малые генераторы, использующие дизельное топливо или газ, генераторы на основе ВИЭ, а также системы накопления электроэнергии.

Для успешной интеграции этих приборов в сети предприятия и с сетью единой энергетической системы помимо счетчиков интеллектуальной системы учета могут потребоваться инверторы напряжения, дополнительные контроллеры и прочее электросетевые оборудование.

Преимущества, описанные ранее для модели агрегатора нагрузки, в случае реализации модели активного энергокомплекса или модели интернета энергии будут расширяться за счет дополнительных эффектов от внедрения инновационного электроэнергетического оборудования.

Распределенные генераторы и СНЭ могут использоваться в качестве источников бесперебойного питания, что повысит устойчивость предприятия к авариям во внешних сетях (это особенно важно для производств с оборудованием, чувствительным к скачкам напряжения и частоты, или предприятий непрерывного производственного цикла).

Помимо прямых эффектов для розничных потребителей возможен ряд косвенных, таких как снижение затрат на постройку дополнительных генерирующих и электросетевых мощностей на уровне ОРЭМ в долгосрочной перспективе, оптимизация режима работы ЕЭС, так как модели активного энергокомплекса и интернета энергии за счет распределенных генераторов обладают большим запасом гибкости энергопотребления из единой энергосистемы по сравнению с моделью агрегатора нагрузки.

Наибольшая эффективность применения моделей активного энергокомплекса и интернета энергии достигается при использовании совместно с распределенной генерацией систем накопления электроэнергии.

Ввиду способности СНЭ быстро накапливать и выдавать электроэнергию существенно улучшается качество участия розничных потребителей на рынке системных услуг, в том числе в услугах по первичному и вторичному частотному регулированию. Таким образом, на стороне розничного потребителя электроэнергия становится дешевле, повышается

надежность энергоснабжения, можно обеспечить работу критического оборудования при перебоях с питанием и создать резерв на случай аварий.

СНЭ так же, как и распределенная генерация, уменьшают пиковую нагрузку на электрические подстанции и затраты на модернизацию сетевой инфраструктуры, повышают качество и надежность энергоснабжения потребителей и снижают потребности в строительстве новых мощностей на стороне генерации.

Таким образом, в настоящем параграфе предложена целевая модель розничного рынка электроэнергии, где ключевой сущностью является цифровой оператор активного потребителя, и описаны ключевые технологии, необходимые для организации взаимодействия цифрового оператора с субъектами розничного рынка. Далее будут подробнее оценены экономические эффекты от внедрения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка, а также предложена методика оценки готовности субъектов розничного рынка ко внедрению моделей активного потребителя.

Выводы к главе 2

В первом параграфе главы 2 сформирована методология исследования эффективности внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка электрической энергии. Описана оценка вероятности принятия компанией решения о вложениях в проекты внедрения моделей активного потребителя. Разработана методика оценки взаимосвязи инвестиций в различные элементы проекта по внедрению модели активного потребителя и достижению положительных экономических эффектов.

Во втором параграфе проведено исследование эффективности внедрения моделей активного потребителя при помощи разработанной ранее CDM-модели. Анализ CDM-модели позволил сделать вывод, что теоретически

обоснованные положительные эффекты возможны и достигаются при вложениях в оборудование, составляющее технологический базис данных моделей, что обосновывает целесообразность практического внедрения моделей активного потребителя и позволяет продолжить их рассмотрение как основу целевой модели розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации электроэнергетической отрасли.

В завершение предложена целевая модель розничного рынка, которая заключается в двунаправленном обмене электроэнергией и информационными потоками между субъектами розничного рынка в рамках модели активного потребителя, а также между субъектами розничного рынка и компаниями энергетической отрасли, в том числе инфраструктурными организациями. Этот обмен обеспечивается за счет появления нового функционала – цифрового оператора активного потребителя, сфокусированного на организации взаимоотношений активного потребителя с инфраструктурными и иными компаниями электроэнергетики и создающего новую ценность как для потребителей, так и для самих компаний отрасли электроэнергетики. Описаны основные виды деятельности, осуществляемые цифровым оператором, и компании, которые могут взять на себя эту роль.

Глава 3

Методика преобразования розничных рынков электроэнергии в условиях распространения моделей активного потребителя

3.1 Экономические эффекты, ожидаемые от внедрения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка

Для оценки эффекта внедрения моделей активного потребителя для различных типов субъектов розничного рынка решено рассмотреть ряд модельных кейсов на основе анализа показателя приведенной стоимости электроэнергии Levelised Cost of Energy (далее – LCOE), определяемого как средняя расчетная себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла электростанции (включая все возможные инвестиции, затраты и доходы).

Приведенная стоимость электроэнергии, согласно определению EIA [123], представляет собой средний доход на единицу произведенной энергии, который потребует владельцу проекта для возмещения всех инвестиционных и эксплуатационных затрат. Он включает указанный возврат инвестиций в течение определенного срока проекта, а также предполагаемую ставку дисконтирования по проекту.

Расчет LCOE в обобщенном виде может быть выражен следующим соотношением (9)

$$\text{LCOE} = \frac{\text{сумма затрат за весь срок жизни}}{\text{сумма произведенной электроэнергии за весь срок жизни}}. \quad (9)$$

Данное выражение может быть преобразовано с учетом составляющих элементов в затратах следующим образом, как показано в формуле (10)

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (10)$$

где I_t – капитальные расходы на строительство в год t ;

M_t – текущие эксплуатационные расходы в год t ;

F_t – расходы на приобретение топлива в год t ;

E_t – выработка электрической энергии в год t ;

r – ставка дисконтирования;

n – длительность жизненного цикла.

Обычно приведенная стоимость электроэнергии рассчитывается в единицах стоимости на кВт·ч, например в руб./кВт·ч либо в EUR/kWh, или на МВт·ч [124] и является достаточно надежным инструментом оценки стоимости электроэнергии в различных проектах, используемым как крупными консалтинговыми и аналитическими агентствами [123; 125], так и учеными-исследователями [124; 126; 127].

Для корректного сравнительного анализа с использованием данного показателя необходимо единообразно описывать факторы и предпосылки расчета.

Так, например, различные генерирующие мощности на основе ВИЭ могут иметь различные показатели в зависимости от региона их размещения и климатических условий в нем. Некорректный учет этого фактора может привести к нерелевантным результатам [124].

Для апробации предложенной расчетной формулы на основе LCOE проведен модельный расчет для двух сценариев. В ходе расчета рассматривалось промышленное производство, присоединенное к сетям ЕЭС с мощностью 24 МВт согласно акту об осуществлении технологического присоединения.

Сценарий 1: график потребления промышленного предприятия представлен в таблице Г.1 приложения Г. Профиль потребления в будние дни считается неизменным. В выходные дни объем потребления снижен относительно рабочих дней.

Сценарий 2: промышленное предприятие реализует модель активного потребителя «Агрегатор нагрузки»: производство оснащается интеллектуальными системами учета, и заключается договор с цифровым оператором активного потребителя, позволяющий получать плату за оказание услуг по управлению спросом в рамках пилотного проекта. При этом оснащение производства ИСУ позволило оптимизировать загрузженность производственных мощностей, сгладить график потребления, снизив пики, а также оптимизировать потери. За счет этого на предприятии уменьшилась потребность в пиковой мощности, которую предприятие перераспределило в пользу электросетевой компании.

График потребления промышленного предприятия с учетом перераспределения пиковой нагрузки и оптимизации потерь представлен в таблице Г.2 приложения Г.

Далее проведен расчет скорректированного LCOE за 2023-2025 гг. для Сценария 1 и Сценария 2. Основные формулы расчета и рамочные параметры представлены на рисунках 12 и 13.

Результаты расчетов скорректированного LCOE для Сценария 1 и Сценария 2 представлены в таблице Г.3 приложения Г. Для Сценария 1 $LCOE = 4\,936,4$ руб./МВт·ч, для Сценария 2 $LCOE = 4\,195,8$ руб./МВт·ч. Таким образом, экономический эффект от реализации Сценария 2 в сравнении с базовым вариантом составляет 15%.

После проведения модельного расчета для комплексной оценки эффекта от внедрения моделей активного потребителя для различных типов субъектов розничного рынка решено рассмотреть ряд модельных кейсов со следующими допущениями:

Показатель	Математическое выражение для определения показателя	Моделирование показателя
Мощность технологического присоединения к электросетям	–	В расчете принято 24 МВт
Средняя почасовая потребляемая электрическая энергия	–	Согласно таблице Г.1 приложения Г — МВт·ч Профиль потребления в будни считается неизменным
Снижение средней почасовой потребляемой электрической энергии в выходные дни	–	В расчете принято 25%
Среднегодовая ставка для почасовой покупки электрической энергии на высоком уровне напряжения (мощность не менее 10 МВт, 3-я ценовая категория)	–	Согласно данным [42] — руб./МВт·ч, индексация согласно прогнозу индекса потребительских цен (далее — ИПЦ): 2023 г. — 6,0%; 2024 г. — 4,1%; 2025 г. — 4,0%.
Среднегодовая ставка за мощность, приобретаемую потребителем (покупателем)	–	Согласно данным [42] — руб./МВт, индексация согласно прогнозу ИПЦ: 2023 г. — 6,0%; 2024 г. — 4,1%; 2025 г. — 4,0%.
Количество рабочих дней	–	В расчете принято 247 дней
Количество выходных дней	–	В расчете принято 118 дней
Годовая потребляемая электроэнергия	$E = \left(\sum E_i \right) \cdot (n_{\text{раб}} + n_{\text{вых}} \cdot k_{\text{вых}}),$ <p>где E_i — энергопотребление в час i; $n_{\text{раб}}$ — количество рабочих дней; $n_{\text{вых}}$ — количество выходных дней; $k_{\text{вых}}$ — коэффициент снижения потребления в выходной</p>	Размерность: МВт·ч
Годовой расход на покупку электроэнергии	$C_{\text{э}} = (\sum E_i \cdot C_{i\text{э}}) \cdot (n_{\text{раб}} + n_{\text{вых}} \cdot k_{\text{вых}}),$ <p>где $C_{i\text{э}}$ — среднегодовая ставка для фактических почасовых объемов покупки электрической энергии</p>	Размерность: руб.
Годовой расход на покупку мощности	$C_{\text{м}} = P \cdot C_{\text{им}},$ <p>где P — мощность технологического присоединения к электросетям; $C_{\text{им}}$ — среднегодовая ставка за мощность</p>	Размерность: руб.
Ставка дисконтирования	–	В расчете принято 7%
Скорректированный LCOE на горизонте 2023-2025 гг.	$\text{LCOE} = \sum_{2023}^{2025} \frac{C_{\text{э}} t + C_{\text{м}} t}{\frac{E_t}{(1+r)^t}},$ <p>где t — год; r — ставка дисконтирования</p>	Размерность: руб./МВт·ч

Источник: составлено автором.
Рисунок 12 – Основные формулы расчета и рамочные параметры Сценария 1

Показатель	Математическое выражение для определения показателя	Моделирование показателя
Оптимизированная средняя почасовая потребляемая электрическая энергия	Перераспределение потребляемой мощности с пиковых часов на часы меньшей загрузки. Снижение потребляемой мощности за счет актуализации объема потерь: в расчете принято снижение на 6,5%	Согласно таблице Г.2 приложения Г — МВт·ч Профиль потребления в будни считается неизменным В выходные дни объем потребления снижен
Оптимизированная мощность технологического присоединения к электросетям	Сглаживание пиков потребления и оптимизация потерь позволяют снизить максимальную мощность и ее излишки перераспределить в пользу электросетевой организации	По расчетным данным: 20 МВт
Размер бонуса за участие в услугах по управлению спросом в рамках агрегатора нагрузки	$S = Ц \cdot \frac{n_{\text{гот}}}{n_{\text{рд}}} \cdot \frac{n_{\text{факт}}}{n_{\text{план}}} \cdot k_{\text{д}} \cdot P_{\text{п}},$ <p>где Ц — средневзвешенная цена услуги по управлению спросом; $n_{\text{гот}}$ — количество рабочих дней, в которые агрегатор заявил о готовности снизиться; $n_{\text{рд}}$ — количество рабочих дней в месяце; $n_{\text{факт}}$ — количество раз фактического снижения мощности; $n_{\text{план}}$ — количество команд на снижение в месяц (максимум — 5); $k_{\text{д}}$ — коэффициент длительности (0,5 — при 2 ч, 1 — при 4 ч); $P_{\text{п}}$ — объем снижаемой мощности из ценовой заявки</p>	Ц = 338 413, руб. / МВт; $n_{\text{гот}} = 22$ дня; $n_{\text{рд}} = 22$ дня; $n_{\text{факт}} = 5$ дней; $n_{\text{план}} = 5$ дней; $k_{\text{д}} = 1$; $P_{\text{п}} = 4$ МВт
Годовая потребляемая электроэнергия	$E = (\sum E_i^{\text{опт}}) \cdot (n_{\text{раб}} + n_{\text{вых}} \cdot k_{\text{вых}}),$ <p>где $E_i^{\text{опт}}$ — оптимизированное энергопотребление в час i</p>	Размерность: МВт·ч
Годовой расход на покупку электроэнергии	$C_{\text{э}} = \left(\sum E_i^{\text{опт}} \cdot C_{i\text{э}} \right) \cdot (n_{\text{раб}} + n_{\text{вых}} \cdot k_{\text{вых}})$	Размерность: руб.
Годовой расход на покупку мощности	$C_{\text{м}} = P^{\text{опт}} \cdot C_{i\text{м}},$ <p>где $P^{\text{опт}}$ — оптимизированная ставка за мощность технологического присоединения к электросетям</p>	Размерность: руб.
Скорректированный LCOE на горизонте 2023-2025 гг.	$\text{LCOE} = \sum_{2023}^{2025} \frac{C_{\text{э}t} + C_{\text{м}t} - S_t}{(1+r)^t} \cdot \frac{E_t}{(1+r)^t}$	Размерность: руб./МВт·ч

Источник: составлено автором.
Рисунок 13 – Основные формулы расчета и рамочные параметры Сценария 2

1) Из рассмотрения исключаются потребители – физические лица, так как ввиду наличия перекрестного субсидирования, сдерживающего цены на электроэнергию и мощность, для данной категории субъектов розничного рынка, а также относительно негибкой тарифной сетки (часть потребителей и вовсе может находиться на одностороннем тарифе) модели активного потребителя могут быть актуальны для очень узкого круга физических лиц-инноваторов, внедряющих энергетические технологии Индустрии 4.0 из собственного интереса к ним, а не ради получения экономического эффекта.

2) Из рассмотрения исключаются модель активного потребителя R2P-модель / интернет энергии, так как она находится в зачаточном состоянии и не существует пилотных проектов, которые демонстрировали бы полный функционал этой модели. Существующие на сегодняшний день кейсы реализуют лишь часть функционала и в терминах настоящего исследования относятся к моделям активного энергокомплекса / энергетической ячейки.

3) Рассматриваются два типа розничных потребителей электроэнергии: «промышленная площадка» и «торгово-офисный центр», – так как они обладают различным типом оборудования, применяемого на их территории, а также различными паттернами его использования. В свою очередь, «торгово-офисный центр» включает в себя как деловую среду с офисными помещениями, так и площади, занимаемые ретейлерами, при том что оба эти типа потребителей обладают оборудованием со схожими характеристиками: это осветительное, обогревательное и охлаждающее оборудование, обладающие высокой гибкостью и маневренностью, а в случае с климатическим оборудованием – инерционностью энергопотребления.

4) Рассматриваются два типа моделей активного потребителя: агрегатор нагрузки и активный энергокомплекс / энергетическая ячейка.

Промышленная площадка с применением модели активного энергокомплекса. В качестве модельного кейса был рассмотрен объект промышленности в Свердловской области на основании данных исследования

[101]. Характеристики объекта и предпосылки расчета представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики объекта промышленности в Свердловской области и предпосылки расчета

Характеристики объекта и предпосылки моделирования	Предпосылки расчета
Максимальная мощность энергопотребления, МВт	25
Среднегодовое потребление электрической энергии, млн кВт·ч	7,96
Максимальная мощность согласно акту об осуществлении технологического присоединения, МВт	20
Стоимость технологического присоединения дополнительных 5 МВт мощности, млн руб.	80
Установленная мощность собственной генерации (альтернатива увеличению мощности технологического присоединения), МВт	20

Источник: составлено автором по материалам [101].

Основной предпосылкой моделирования является возможность использовать собственную распределенную генерацию не только для покрытия недостающей мощности подключенных электрических сетей, но и для продажи излишков выработки обратно в сеть и получения за этот счет дополнительного потока доходов.

Торгово-офисный центр с применением модели активного энергокомплекса. В качестве второго модельного кейса было рассмотрено обеспечение электроэнергией торгового-офисного центра с применением модели активного энергокомплекса. Характеристики объекта и предпосылки расчета представлены в таблице 11.

Основной предпосылкой моделирования является возможность покрывать за счет собственного солнечного генератора до 72% потребности торгового-офисного центра в электрической энергии, а в солнечные часы

излишки выработки (порядка 25% всей выработанной электрической энергии) продавать обратно в сеть, тем самым создавая дополнительный поток дохода.

Таблица 11 – Характеристики торгово-офисного центра и предпосылки расчета

Характеристики объекта и предпосылки моделирования	Предпосылки расчета
Максимальная мощность энергопотребления, МВт	2
Среднегодовое потребление электрической энергии, млн кВт·ч	3,6
Максимальная мощность согласно акту об осуществлении технологического присоединения, МВт	2
Стоимость технологического присоединения дополнительных 5 МВт мощности, млн руб.	80
Установленная мощность собственной солнечной генерации (альтернатива потреблению электроэнергии из сети), МВт	2,5
Мощность инвертора солнечной установки, МВт	1,8
КИУМ (коэффициент используемой мощности) солнечного генератора, в процентах	16,3

Источник: составлено автором по материалам [101].

Промышленная площадка с применением модели агрегатора нагрузки. В качестве третьего модельного кейса было рассмотрено электроснабжение здания с использованием модели агрегатора нагрузки, включающего в себя ряд производств, прачечную, небольшую фабрику, пекарню и ресторан. Энергопотребление здания составило 100 МВт·ч в месяц.

Помимо экономии за счет смещения энергопотребления также реализовывался ряд дополнительных услуг, таких как оповещения о профиле потребления, пиках/нехватке мощности и состоянии оборудования (сбои, мерцание и т.д.). На основе собранных данных формировались ежедневные, еженедельные и ежемесячные отчеты, отправляемые менеджерам.

Торгово-офисный центр с применением модели агрегатора нагрузки. В качестве завершающего кейса было рассмотрено электроснабжение торгового

центра с использованием модели агрегатора нагрузки, включающего в себя ряд розничных магазинов, ресторан и гостиницу. Энергопотребление здания составило 150 МВт·ч в месяц.

В данном кейсе внедрение модели агрегатора нагрузки позволило перейти на почасовую тарификацию с прогнозированием на основе данных, собранных системой интеллектуального учета.

Результаты анализа модельных кейсов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты анализа модельных кейсов

Модельный кейс	Энергопотребление, в МВт·ч в месяц	Экономический эффект в сравнении с базовым вариантом, в процентах
Промышленная площадка с применением модели активного энергокомплекса	660	31,9
Промышленная площадка с применением модели агрегатора нагрузки	100	19,7
Торгово-офисный центр с применением модели активного энергокомплекса	300	25,6
Торгово-офисный центр с применением модели агрегатора нагрузки	150	15,1

Источник: составлено автором.

Таким образом, анализ модельных кейсов демонстрирует эффективность развертывания моделей активного потребителя для ключевых субъектов розничного рынка: промышленных площадок и торгово-офисных центров. Экономический эффект в виде снижения LCOE лежит в интервале от 15,1% до 31,9%, при это соответствующие показатели для кейсов с применением модели активного энергокомплекса выше, что согласуется с теорией: больший эффект достигается за счет экономии на технологическом присоединении к электрическим сетям и продажи излишков выработанной энергии.

3.2 Инструменты оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя

Для разработки инструментов оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя была взята за основу методика оценки цифровой зрелости промышленных предприятий, разработанная и описанная в работе «Цифровизация промышленности: эмпирическая оценка цифровой зрелости предприятий» [128].

Модели активного потребителя являются решениями, находящимися на пересечении цифровых и электроэнергетических технологий. Как показал анализ, проведенный в главе 2 настоящего исследования, успешное достижение экономических эффектов от внедрения данных моделей требует наличия у конечных потребителей на розничном рынке электроэнергии и мощности определенного набора компетенций по взаимодействию с электроэнергетическими компаниями, отраслевыми органами-регуляторами, а также технических и цифровых компетенций. Помимо этого, инфраструктура объекта должна быть совместима с оборудованием технологического базиса выбранной модели активного потребителя.

При этом целесообразность и успех внедрения модели активного потребителя напрямую зависит от технологического процесса предприятия и/или характеристик здания, где осуществляется внедрение: является ли производство непрерывным, насколько оно чувствительно к запускам и остановом? Эффективность внедрения может усиливаться большой долей климатической или осветительной техники в энергопотреблении предприятия или здания.

Таким образом, предлагается разработать метод, позволяющий оценить готовность конечных потребителей на розничном рынке электроэнергии и мощности к внедрению моделей активного потребителя на основании оценки

их соответствия ранее выявленным факторам, оказывающим влияние на принятие данных моделей.

Для разработки методики оценки зрелости выделенные теоретически и обоснованные эмпирически во второй главе факторы, оказывающие влияние на внедрение моделей активного потребителя, решено представить в виде более применимом для практического анализа уровня зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя.

Например, фактор технологической готовности решено представить в виде пунктов «возможность интеграции цифровых технологий с инфраструктурой организации (в том числе цифровых технологий информационной безопасности)» и «возможность интеграции энергетических технологий».

Фактор влияния компаний электроэнергетики учтен в виде следующих пунктов: «наличие опыта взаимодействия с энергокомпаниями» и «наличие необходимых цифровых компетенций в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках».

Другой критически важный фактор – влияние органов-регуляторов – остался практически без изменений и представлен в виде пункта «наличие опыта взаимодействия с органами власти».

Фактор сложности освоения решено представить в виде трех пунктов: «готовность к изменениям со стороны сотрудников организации», «наличие необходимых внутренних цифровых компетенций» и «наличие опыта управления большими данными и их анализа».

Фактор ожидаемых затрат представлен в виде аналогичного пункта «ожидаемые затраты», но дополнен пунктом, описывающим возможность использования компанией финансовых ресурсов, – «доступность финансовых ресурсов».

Так как достижение преимуществ от внедрения моделей активного потребителя существенно зависит от специфики деятельности компании,

решено рассмотреть такие пункты, как «наличие возможности гибко управлять производственным процессом» и «наличие энергопринимающих устройств с высокой маневренностью энергопотребления».

От прямого рассмотрения факторов рискованности, надежности, технологических изменений в отрасли и давления рыночной среды решено отказаться вследствие относительно невысокой силы их влияния.

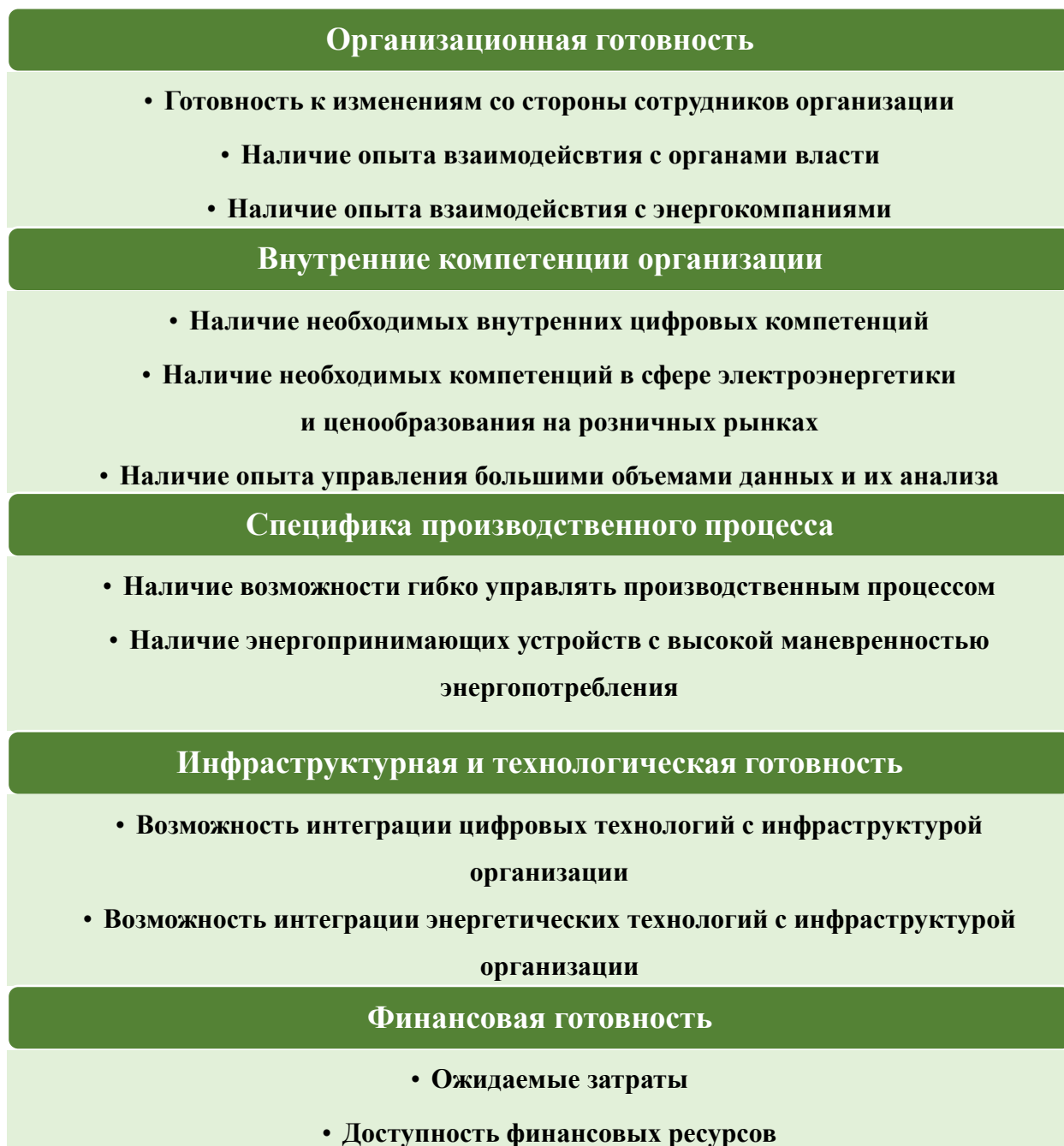
Полученные пункты, раскрывающие факторы, оказывающие воздействие на восприятие и готовность к внедрению моделей активного потребителя, проанализированы и структурированы по пяти основным категориям, которые предлагается использовать в методике в качестве направлений для оценки зрелости конечных потребителей на розничном рынке и готовности к внедрению данных моделей: организационная готовность, внутренние компетенции организации, специфика производственного процесса, инфраструктурная и технологическая готовность, а также финансовая готовность.

Полученные в результате анализа направления оценки готовности представлены на рисунке 14.

Далее для сформулированных ранее направлений оценки зрелости разработаны аспекты успешности, оценка которых позволит судить о готовности организации к внедрению той или иной модели активного потребителя. Аспекты успешности реализации моделей активного потребителя конечными потребителями электроэнергии представлены ниже.

1) Организационная готовность. В рамках данного направления анализируется наличие у конечного потребителя – субъекта розничного рынка сформированного понимания о применимости модели активного потребителя в рамках бизнес-процессов своего предприятия, наличие отлаженного взаимодействия с органами органами-регуляторами и компаниями электроэнергетической отрасли, сформированность понимания о необходимости внедрения модели на уровне топ-менеджмента компании и

соответственно, поддержка внедрения топ-менеджментом, а также наличие культуры принятия изменений в корпоративной среде предприятия.



Источник: составлено автором.

Рисунок 14 – Направления оценки готовности субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя

2) Внутренние компетенции конечного потребителя. В рамках данного направления анализируется компетентность и наличие практического опыта в

сфере цифровых технологий (в том числе опыт в сфере управления данными, их обработки, интеграции и анализа), а также в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках.

3) Инфраструктурная и технологическая готовность. В рамках данного направления анализируется техническая возможность развертывания оборудования, составляющего технологический базис модели активного потребителя, на территории предприятия, а также возможность его интеграции в уже имеющуюся технологическую и информационную инфраструктуру.

4) Специфика производственного процесса. В рамках данного направления предлагается оценить возможность предприятия гибко управлять производственным процессом, тем самым изменяя его энергопотребление. Наличие устройств с высокой маневренностью энергопотребления (например, осветительные приборы или климатические), а также инерционные параметры производственного процесса (такие как, например, уровень температуры в холодильниках или печах) будут напрямую воздействовать на успешность внедрения модели активного потребителя.

5) Финансовая готовность. В рамках данного направления предлагается оценить доступность привлечения финансовых ресурсов для компании, а также компетенции в сфере планирования затрат на внедрение, так как это напрямую влияет на возможность доведения проекта внедрения до конца и получения положительных экономических эффектов в дальнейшем.

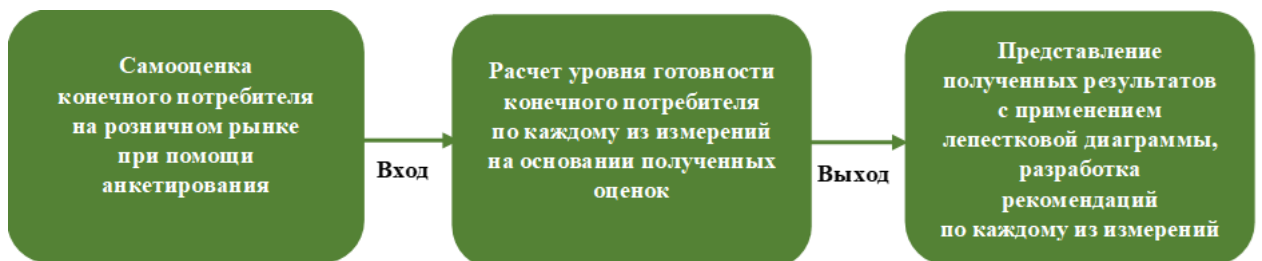
Таким образом, элементы модели оценки зрелости субъектов розничного рынка – конечных потребителей для внедрения модели активного потребителя) представлены на рисунке 15.

На рисунке 16 представлена последовательность шагов проведения анализа готовности конечных потребителей на розничном рынке электроэнергии и мощности к внедрению моделей активного потребителя. Данные шаги применяются для каждого из направлений оценки.

		Направления				
		Организационная готовность	Внутренние компетенции организации	Инфраструктурная готовность организации	Специфика производственного процесса	Финансовая готовность
Аспекты	Наличие разработанного бизнес-кейса применения модели активного потребителя	Опыт и уровень экспертизы сотрудников организации в сфере цифровых технологий	Уровень зрелости инфраструктуры организации	Возможность гибко управлять производственным процессом	Доступность привлечения финансовых ресурсов	
	Доступность ресурсов организации и поддержка со стороны руководства	Опыт сотрудников в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках	Уровень развития энергетических и цифровых технологий	Наличие устройств с высокой маневренностью энергопотребления	Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение	
	Зрелость процессного взаимодействия с органами-регуляторами	Опыт в сфере управления данными и их обработкой	Уровень развития технологий защиты и безопасности данных	Наличие инерционных параметров производственного процесса		
	Зрелость процессного взаимодействия с энергокомпаниями	Опыт в сфере интеграции и анализа данных				

Источник: составлено автором.

Рисунок 15 – Элементы модели оценки зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя



Источник: составлено автором.

Рисунок 16 – Процесс оценки зрелости субъектов розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя

Следующим шагом в разработке инструментов оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя стала разработка единой анкеты, при помощи которой потребитель мог бы провести самооценку. Для анкеты разработаны вопросы закрытого типа, респондент – эксперт со стороны конечного потребителя выбирает тот вариант ответа, который наиболее близко описывает уровень зрелости его предприятия в рамках исследуемого направления. Заполнить анкету можно как на бумажном носителе, так и в электронной форме, на удобном для потребителя канале коммуникации. Результаты анкетирования ложатся в основу дальнейшего расчета уровня готовности конечного потребителя на розничном рынке электроэнергии и мощности к внедрению модели активного потребителя.

Сила влияния каждого из аспектов успешности в рамках оцениваемых направлений на успешность или неуспешность внедрения моделей активного потребителя не является одинаковой, что обуславливает необходимость введения поправочного коэффициента, который бы позволял отражать силу влияния того или иного аспекта успешности. Для определения коэффициентов сил влияния каждого из аспектов успешности внутри направления оценки готовности проведены интервью с экспертами, удовлетворяющими требованиям, изложенным ранее в тексте диссертации. По результатам интервьюирования рассчитаны весовые коэффициенты для аспектов успешности внедрения модели активного потребителя. Также в интервью добавлены дополнительные вопросы с целью определения необходимого уровня зрелости по каждому из направлений для различных типов моделей активного потребителя и выбора рекомендованной модели в зависимости от уровня зрелости.

Исходя из этого, оценка готовности конечного потребителя к внедрению модели активного потребителя в рамках каждого направления оценки математически может быть представлена в виде соотношения (11)

$$RL_D = \sum \frac{\sum_{i=1}^n S_{DFi}}{n} \times W_{DF}, \quad (11)$$

- где D – индекс направления оценки зрелости конечного потребителя;
 F – индекс аспекта успешности внедрения модели активного потребителя;
 n – число вопросов, оценивающих аспект успешности;
 S – номер ответа на вопрос;
 W – поправочный весовой коэффициент силы влияния аспекта.

После того как эксперт со стороны конечного потребителя заполнит анкету, представленную в приложении Д, полученные результаты пересчитываются согласно формуле (10). По результатам расчета каждого из направлений готовности строится визуализация в формате лепестковой диаграммы, а конечный потребитель на розничном рынке получает представление о своем уровне готовности к внедрению модели активного потребителя по каждому из направлений.

Помимо получения оценки готовности к внедрению модели активного потребителя, данные лепестковой диаграммы могут быть интерпретированы конечным потребителем как потенциальные направления проработки для улучшения уровней зрелости в рамках того или иного направления.

В таблице 13 представлены описания уровней готовности субъектов розничного рынка по направлениям оценки.

После описания самой методики оценки готовности для расчета силы влияния каждого из предложенных аспектов в рамках направлений успешности внедрения моделей активного потребителя, а также соотнесения уровней зрелости по каждому из направлений с рекомендованной к внедрению моделью активного потребителя проведен опрос для выборки, описанной в главе 2 настоящего исследования.

Таблица 13 – Уровни готовности субъектов розничного рынка по направлению оценки

Направление оценки готовности	Низкий уровень готовности (1-8 баллов)	Средний уровень готовности (9-17 баллов)	Высокий уровень готовности (18-25 баллов)
1	2	3	4
Организационная готовность	Перспективы применения модели активного потребителя не рассматривались в организации Нет сформированного видения руководства компании о применении данных моделей Сопротивление внедрению со стороны персонала организации	Рассматриваются сценарии применения модели активного потребителя в части бизнес-процессов Руководство компании рассматривает варианты внедрения данной модели Возможно сопротивление внедрению со стороны персонала организации	Разработан сценарий применения модели активного потребителя с учетом бизнес-процессов компании Внедрение модели активного потребителя поддерживается со стороны топ-менеджмента Есть поддержка внедрения со стороны персонала организации
Внутренние компетенции организации	Среди персонала организации нет сотрудников, обладающих компетенциями и практическим опытом внедрения цифровых решений Развитость компетенций персонала и руководства организации в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках недостаточна для планирования эффективного использования возможностей моделей активного потребителя	Привлекаются внешние эксперты, обладающие компетенциями и практическим опытом внедрения и последующий эксплуатации цифровых решений Развитость компетенций сотрудников и руководства организации в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках находится на среднем уровне	В организации имеются специалисты, обладающие компетенциями и опытом внедрения и эксплуатации цифровых решений Развитость компетенций сотрудников и руководства организации в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках находится на высоком уровне и достаточна для планирования эффективного использования возможностей моделей активного потребителя

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
Инфраструктурная и технологическая готовность	Инфраструктура предприятия не позволяет интегрировать энергетическое оборудование совместно с цифровым Отсутствует план модернизации предприятия, позволяющий подготовить инфраструктуру к внедрению модели активного потребителя	Инфраструктура позволяет частично интегрировать энергетическое оборудование совместно с цифровым, а также обеспечить обмен данными между различными устройствами и системами Разработан план модернизации, позволяющий полностью внедрить модель активного потребителя	Инфраструктура предприятия уже имеет внедренное цифровое оборудование, налажены каналы передачи данных и механизмы обработки Инфраструктура позволяет полностью интегрировать энергетическое оборудование и наладить модель активного потребителя
Специфика производственного процесса	Производственный процесс функционирует по модели непрерывного цикла Отсутствует возможность замедлять или ускорять производство без ущерба оборудованию или снижения эффективности Оборудование не способно быстро изменять мощность и потребляемую электроэнергию Доля устройств с высокой маневренностью и высоким уровнем энергопотребления, в общем объеме энергопотребления мала Доля оборудования с высокой инерционностью показателей мала	В организации часть производственного процесса обладает гибкостью с точки зрения потребляемой электроэнергии и мощности Замедление или ускорение части производства не наносит ущерба оборудованию и не приводит к снижению эффективности Доля устройств с высокой маневренностью и высоким уровнем энергопотребления, в общем объеме энергопотребления занимает среднее положение Доля оборудования с высокой инерционностью показателей умеренная	Большинство производственного процесса обладает гибкостью в части потребляемой электроэнергии и мощности Замедление или ускорение производства не наносит ущерба оборудованию и не снижает эффективность Доля устройств с высокой маневренностью и высоким уровнем энергопотребления, таких как осветительные, нагревательные или климатические устройства, в общем объеме энергопотребления преобладающая Доля оборудования с высокой инерционностью показателей большая

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
Финансовая готовность	В организации отсутствуют свободные внутренние финансовые ресурсы Доступность привлечения внешних финансовых ресурсов относительно невелика Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение проектов и анализа эффективности реализации проектов слабо развиты или отсутствуют	В организации есть незначительные внутренние финансовые ресурсы Имеются возможности привлечь внешние ресурсы Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение проектов и анализа эффективности реализации проектов развиты умеренно, или налажено взаимодействие с экспертными организациями	В организации имеются свободные внутренние финансовые ресурсы Имеются возможности привлечь внешние финансовые ресурсы под низкий процент Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение проектов и анализа эффективности реализации проектов развиты внутри организации

Источник: составлено автором.

На рисунке 17 представлен пример визуализации готовности конечного потребителя розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя в формате лепестковой диаграммы уровней.



Источник: составлено автором.

Рисунок 17 – Лепестковая диаграмма уровней готовности конечного потребителя розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя

В рамках опроса каждый из экспертов проставлял силу влияния аспекта по шкале от «1» (отсутствует влияние на успех внедрения модели активного потребителя) до «5» (максимальная сила влияния на успех внедрения модели активного потребителя). Результатом обработки анкет стали частоты встречаемости оценок сил влияния аспектов успешности внедрения модели активного потребителя.

Далее по результатам проведенного анкетирования определены поправочные весовые коэффициент сил влияния аспектов при помощи соотношения (12)

$$W_{DF} = \overline{A_{DF}} \times \frac{b}{\sum_{i=1}^m \overline{A_{DFi}}}, \quad (12)$$

где W – поправочный весовой коэффициент силы влияния аспекта;

A – среднее значение оценки силы влияния аспекта успешности внедрения модели активного потребителя;

m – число аспектов успешности в рамках направления анализа готовности;

b – наибольшее значение ответа на вопрос в анкете для конечного потребителя.

Определенные по результатам анкетирования поправочные весовые коэффициенты сил влияния аспектов успешности внедрения модели активного потребителя представлены в таблице 14.

Далее экспертам предложено соотнести оценки уровня готовности по направлениям с типами моделей активного потребителя и определить, какой уровень зрелости по каждому направлению оценки требуется для той или иной модели активного потребителя.

Таблица 14 – Поправочные весовые коэффициенты сил влияния аспектов успешности внедрения модели активного потребителя

Аспект успешности внедрения модели активного потребителя	Средняя оценка	Значимость
Организационная готовность		
Наличие разработанного бизнес-кейса применения модели активного потребителя	2,06	0,75
Доступность ресурсов организации и поддержка со стороны руководства	4,06	1,48
Зрелость процессного взаимодействия с органами-регуляторами	3,67	1,34
Зрелость процессного взаимодействия с энергокомпаниями	3,94	1,44
Внутренние компетенции организации		
Опыт и уровень экспертизы сотрудников организации в сфере цифровых технологий	3,78	1,26
Опыт сотрудников в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках	4,44	1,49
Опыт в сфере управления данными и их обработки	3,28	1,10
Опыт в сфере интеграции и анализа данных	3,44	1,15
Инфраструктурная готовность организации		
Уровень зрелости инфраструктуры организации	4,56	2,06
Уровень развития энергетических и цифровых технологий	4,22	1,91
Уровень развития технологий защиты и безопасности данных	2,28	1,03
Специфика производственного процесса		
Возможность гибко управлять производственным процессом	4,44	1,69
Наличие устройств с высокой маневренностью энергопотребления	4,56	1,74
Наличие инерционных параметров производственного процесса	4,11	1,57
Финансовая готовность		
Доступность привлечения финансовых ресурсов	4,22	2,90
Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение	3,06	2,10

Источник: составлено автором.

По результатам опроса сформирована таблица 15 требуемых уровней зрелости для внедрения моделей активного потребителя.

Таблица 15 – Требуемые уровни зрелости по направлениям для внедрения моделей активного потребителя

Направление оценки зрелости	Агрегатор нагрузки	Активный энергокомплекс / микрогрид / энергетическая ячейка	P2P-модель / интернет энергии
Организационная готовность	Средняя	Высокая	Высокая
Внутренние компетенции организации	Низкая	Средняя	Высокая
Инфраструктурная готовность организации	Средняя	Средняя	Высокая
Специфика производственного процесса	Высокая	Средняя	Низкая
Финансовая готовность	Низкая	Высокая	Высокая

Источник: составлено автором.

Таким образом, предложенная автором методика позволяет оценить уровень зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя исходя из оценки степеней ее зрелости по пяти направлениям, а также соотнести полученные оценки с рекомендуемыми требованиями для успешного внедрения различных типов моделей активного потребителя: агрегатора нагрузки, активного энергоком плекса / микрогрида и P2P-модели / интернета энергии. Разработанная методика опубликована в работе «Концепция преобразования розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации отрасли» [120].

3.3 Риски распространения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка

Процесс распространения инновации при помощи рыночных и нерыночных каналов между различными потребителями во времени носит название «диффузия инновации».

В настоящей работе для прогнозирования темпа распространения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка электроэнергии будет использована диффузионная модель, предложенная Бассом Ф.М. [129].

Модель Басса позволяет описывать широкий спектр продуктов – от узкоспециализированных технологических решений до повседневных бытовых товаров, таких как стиральные и посудомоечные машины, смартфоны. Модель также способна характеризовать различные отрасли [130].

Модель относится к классу так называемых эпидемических моделей, которые рассматривают распространение новшеств как коммуникационный процесс между лицами, которые еще не приняли новшество, с уже принявшими, поставщиками новшества и иными внешними факторами, такими как СМИ, реклама, социальная среда и т.п. [131; 132]. В контексте данной работы распространение моделей активного потребителя может быть рассмотрено как коммуникационный процесс между субъектами розничного рынка, еще не внедрившими модель активного потребителя, с уже внедрившими одну из моделей, а также энергокомпаниями, выполняющими функционал цифрового оператора активного потребителя и доносящими выгоды от использования данных моделей.

Модель Басса, как и ее последующие модификации, основывается на учете и инноваторов, принимающих новшество самостоятельно и влияющих в дальнейшем на потенциальных покупателей, и имитаторов, принимающих новшество под воздействием использующих технологию инноваторов [119].

Данная модель получила широкое распространение в прогнозировании, особенно в прогнозировании вывода на рынок новых продуктов и технологий, фактическая информация о распространении которых еще не была собрана. Для оценки параметров модели используется информация о продуктах, уже реализуемых на рынке и обладающих рядом схожих с исследуемым продуктом характеристик.

Необходимо отметить, что, несмотря на эффективность модели для прогнозирования диффузии продуктов длительного пользования (кондиционеров, телевизоров, видеонаблюдения, оборудования «Умный дом» и иных приборов) [130; 133], модель Басса не исключает возможных ошибок и неопределенностей ввиду применения оценочных параметров при построении.

Для проведения анализа были использованы показатели, предложенные в исследовании [5]: $n(t)$ – количество потребителей, принявших новшество в момент времени t ; $N(t)$ – суммарное число потребителей, принявших новшество; M – потенциал рынка; p – коэффициент инновации; q – коэффициент имитации; T^* – точка наступления пика продаж. Методология исследования, математическое описание модели и вывод расчетных соотношений опубликованы в исследовании [5] и вынесены в приложение Е.

Для проведения расчетов будет использован показатель среднегодового прироста доли участников розничного рынка, принявших новшество.

Определение параметров M , p и q . Модели активного потребителя имеют широкий спектр применения, так как потребителями на розничном рынке являются владельцы коммерческой недвижимости и прочие девелоперские компании, субъекты малого и среднего предпринимательства, а также промышленные предприятия, не имеющие выхода на оптовый рынок электроэнергии и мощности, компании жилищно-коммунального хозяйства, товарищества собственников жилья и физические лица. В связи с этим для описания процесса распространения технологии рыночный потенциал M было

решено нормировать к 100%. Так как модель часто применяется для описания процесса распространения продукта, еще не вышедшего на рынок, фактических данных о p и q для каждого типа модели активного потребителя не существует. В связи с этим решено воспользоваться параметрами других продуктов, которые обладают схожими рыночными характеристиками и коэффициенты p и q которых известны.

Для оценки коэффициентов p и q выбраны электроэнергетические или цифровые решения на основе работ [1; 5; 134], значения коэффициентов для которых известны; затем было определено их средневзвешенное значение. Исходные значения коэффициентов, а также результаты расчета параметров p и q для моделей активного потребителя представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Оценка значений коэффициентов p и q для моделей активного потребителя

Технология	Коэффициент p	Коэффициент q
Облачная платформа для видеонаблюдения	0,026	0,325
Сервис сбора контактной информации клиентов	0,014	0,219
Технологии удаленного обслуживания клиентов	0,004	0,989
Продукт для защиты персональных и корпоративных данных для мобильных устройств, используемых для работы в офисе и дома	0,029	0,374
Системы «Умный дом»	0,02	0,27
Технология интеллектуального учета электроэнергии NILM	0,022	0,323
Продукт для защиты персональных и корпоративных данных	0,023	0,374
Производственные технологии по интегрированному управлению и контролю	0,036	0,646
Аппаратура автоматизированного наблюдения и контроля	0,052	0,14
Технологии электронных рынков и e-торговые площадки	0,003	0,997
Системы накопления электроэнергии	0,0027	0,352
Малые ветрогенераторы	0,00001	0,31
Средневзвешенные коэффициенты для моделей активного потребителя	0,019	0,46

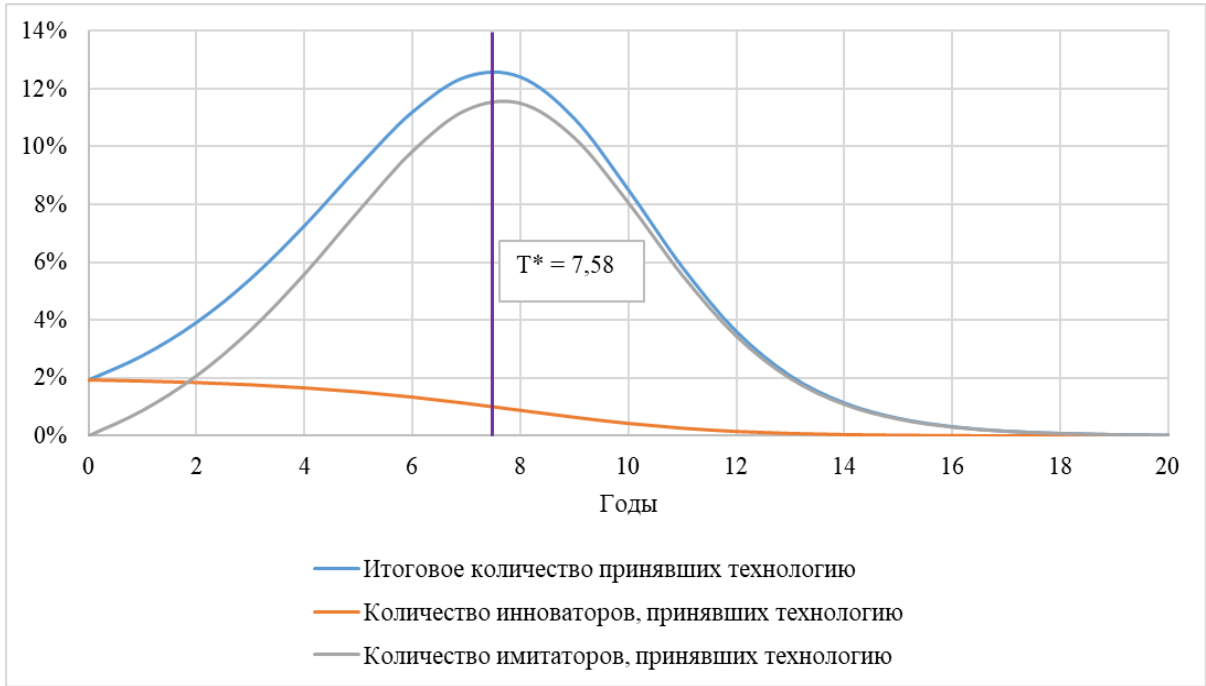
Источник: составлено автором по материалам [1; 5; 134].

Результаты расчета. При помощи формул приложения Е было спрогнозировано распространение моделей активного потребителя, а также время наступления пика внедрения данных моделей. Из таблицы 17, а также на рисунке 18 и рисунке 19 видно, что скорость распространения моделей нарастает в первые семь-восемь лет, после чего начинает снижаться. Существенный объем рыночного потенциала будет исчерпан к двенадцатому году после старта широкого внедрения.

Таблица 17 – Прогноз внедрения моделей активного потребителя

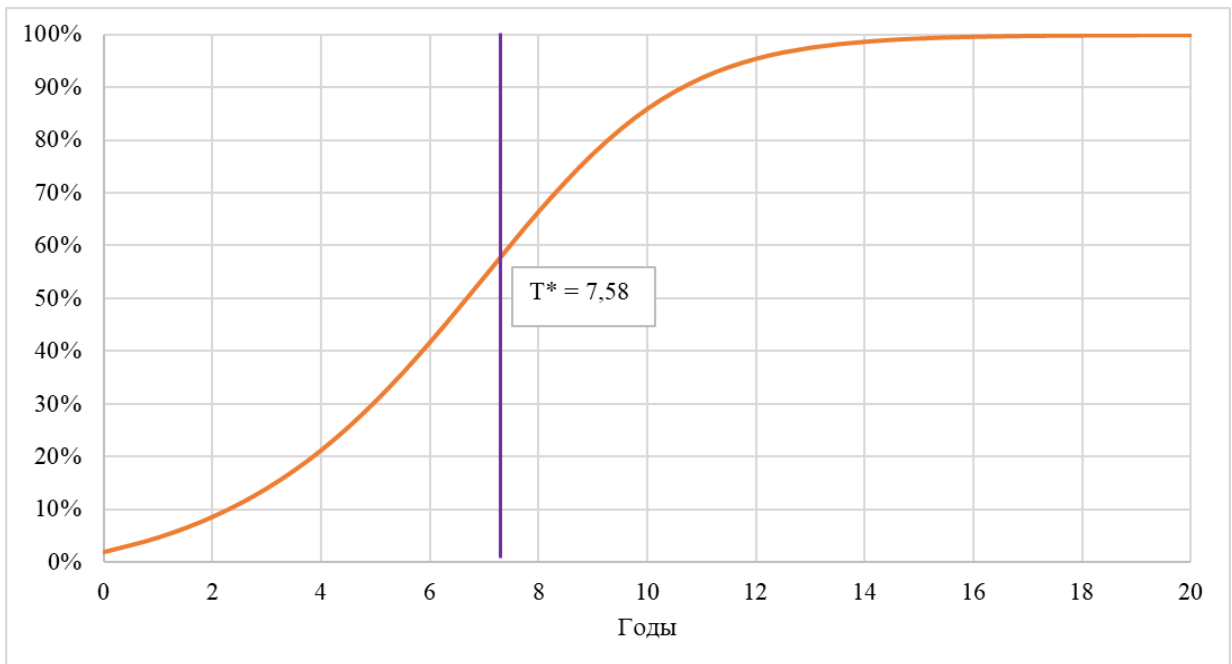
Год	Суммарное число потребителей, принявших новшество	Количество потребителей, принявших новшество за год	В процентах	
			Количество инноваторов	Количество имитаторов
0	0,0	1,9	1,9	0,0
1	1,9	2,8	1,9	0,9
2	4,7	3,9	1,8	2,1
3	8,6	5,4	1,8	3,7
4	14,0	7,3	1,7	5,6
5	21,3	9,3	1,5	7,8
6	30,6	11,2	1,3	9,8
7	41,8	12,4	1,1	11,3
8	54,2	12,4	0,9	11,5
9	66,6	11,0	0,6	10,3
10	77,5	8,5	0,4	8,1
11	86,0	5,8	0,3	5,6
12	91,9	3,6	0,2	3,5
13	95,5	2,1	0,1	2,0
14	97,6	1,1	0,0	1,1
15	98,7	0,6	0,0	0,6
16	99,3	0,3	0,0	0,3
17	99,7	0,2	0,0	0,2
18	99,8	0,1	0,0	0,1
19	99,9	0,0	0,0	0,0
20	100,0	0,0	0,0	0,0

Источник: составлено автором.



Источник: составлено автором.

Рисунок 18 – Доля участников розничного рынка, внедривших модель активного потребителя в момент времени t



Источник: составлено автором.

Рисунок 19 – Суммарное число участников розничного рынка, внедривших модель активного потребителя

Коэффициент инновации p меньше коэффициента имитации q . В этом случае график зависимости количества потребителей розничного рынка

электроэнергии, внедривших модель активного потребителя в момент времени t , от времени будет иметь точку максимума, соответствующую пику внедрения.

Согласно результатам расчета, время до достижения пика прихода пользователей T^* составляет 7,6 года, в то время как 95,5% потребителей розничного рынка будут охвачены за 13 лет. При этом экономический эффект в виде снижения затрат на электроэнергию среди участников розничного рынка, внедривших модель, лежит в интервале от 15,1% до 31,9%.

Расчеты с использованием диффузионной модели Басса показали, что скорость распространения моделей активного потребителя относительно невелика. В эпоху четвертой промышленной революции, когда темпы технологического развития не только высоки, но и продолжают расти, 7,6 года до наступления пика внедрения являются довольно существенным сроком.

Учитывая, что по сравнению с другими странами Россия начала внедрение технологий этой группы с существенным опозданием, период в 7-8 лет может оказаться критическим для сохранения конкурентоспособности продукции, произведенной российскими предпринимателями, или поддержания уровня оказываемых ими услуг.

При этом применение описанной в параграфе 3.2 методики оценки готовности субъектов розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя способно повысить долю компаний-инноваторов в 2-3 раза, что приведет к корректировке средних значений коэффициента p и q и потенциально сократит период наступления пика внедрения с 7,6 года до 5 лет.

Диффузионная модель Басса является одной из так называемых эпидемических моделей внедрения инновационных технологий, основными элементами которых стали коммуникационный процесс и коммуникационные каналы. В связи с этим прямой расчет может допускать погрешности в части

иных факторов, влияющих на скорость принятия инноваций, не входящих напрямую в элементы коммуникационного процесса.

Внедрение моделей активного потребителя – сложный процесс, требующий вовлечения специалистов многих отраслей, а также установку специфического оборудования, и, как и иные процессы в организациях, подвержен влиянию меняющихся внутренних и внешних факторов, делающих достижимость целей внедрения моделей активного потребителя неопределенной. При этом данные факторы могут оказывать воздействие на абсолютно все сферы функционирования организации: регуляторные, бюджетные, рыночные, финансовые и т.д. Совокупность неопределенностей, влияющих на достижение промышленными компаниями своих целей, называется рисками.

Влияние рисков способно не только сделать неэффективным внедрение модели активного потребителя в конкретной компании, но и снизить скорость распространения моделей в целом, так как неудачи нескольких компаний могут напрямую повлиять на коммуникационный процесс распространения. С целью определения характера влияния рисков на распространение моделей активного потребителя решено дополнительно рассмотреть важные положения модели диффузии инноваций Роджерса Э. [121].

Одним из ключевых положений диффузионной модели Роджерса является разделение купола эпидемиологической кривой по склонностям различных типов потребителей к внедрению инновационных решений на пять категорий:

- 1) инноваторы (innovators, на них приходится 2,5% потенциального рынка сбыта) – внедряющие инновационные решения проактивно, несмотря на возможную рискованность последних. Представители данной категории склонны к получению новых технических знаний, а также располагают существенными материальными ресурсами;

2) ранние последователи (early adopters, 13,5% потенциального рынка сбыта) – внедряющие инновационные технологии «во вторых рядах», ориентируясь на опыт инноваторов, и служащие ориентиром для следующих по списку категорий;

3) раннее большинство (early majority, 34% потенциального рынка сбыта) – не склонные к проактивному внедрению инноваций и с осторожностью относящиеся к новым решениям; внедряют инновации, ориентируясь на опыт ранних последователей;

4) позднее большинство (late majority, 34% потенциального рынка сбыта) – относящиеся к инновационным решениям с подозрением и не внедряющие инновации, если на них не оказывает давление внешняя среда или если они не видят явной экономической выгоды;

5) опоздавшие (laggards, 16% потенциального рынка сбыта) – принимающие решение о внедрении инновации только после того, как все вокруг них уже ее приняли; могут решить не внедрять инновацию вовсе.

В работе [135] делается вывод, что объем рынка инноваторов и ранних последователей разделен от объема рынка раннего и позднего большинства, а также отстающих пропастью, так как различия в инновационном поведении данных двух рынков не позволяют им достаточно интенсивно коммуницировать друг с другом, что является основой эпидемической диффузии инноваций. Эта особенность может приводить к существенным затратам компаний, продвигающих инновационные технологии, на преодоление пропасти (коммуникационного разрыва). Пропасть при процессе диффузии инноваций показана на рисунке 20.

Мур утверждает, что на преодоление пропасти уходит большое количество ресурсов, так как участники раннего рынка слабо коммуницируют с участниками позднего. Такая особенность поведения формируется из-за того, что участники позднего рынка должны быть уверены в том, что:

- внедрение инновационной технологии гарантированно повысит производительность или эффективность текущих операций;
- не будет существенного разрыва со старым способом ведения операционной деятельности;
- внедряемая технология достаточно зрелая и бездефектная.



Источник: составлено автором по материалам [135].
Рисунок 20 – Пропать при процессе диффузии инноваций

При этом участники позднего рынка не обладают достаточной инновационной активностью и свободными финансовыми ресурсами относительно участников раннего рынка, у них нет возможностей для преодоления рисков, которые есть у инноваторов и ранних последователей. Таким образом, реализация рисков способна еще сильнее углубить пропать и замедлить распространение моделей активного потребителя на розничном рынке, что обуславливает необходимость проведения анализа рисков.

Для анализа рисков была использована методология, апробированная для исследования влияния стратегических рисков на проведение цифровой трансформации промышленных предприятий.

Реализация моделей активного потребителя невозможна без комбинации технологий интернета вещей, анализа больших данных и

информационных систем управления производственными и бизнес-процессами.

Согласно исследованию консалтинговой компании PwC, мировыми лидерами по цифровой трансформации в промышленности являются Великобритания, Германия, Дания, Канада, Китай, США, Франция, Южная Корея, Япония [136]. Наиболее используемые промышленными предприятиями европейских стран технологии – это облачные сервисы, цифровые торговые площадки на основе интеллектуальных систем учета, интернет вещей и искусственный интеллект для построения моделей активного потребителя [7].

В условиях текущей геополитической обстановки и санкционного давления на Российскую Федерацию может существенно увеличиться стоимость конечных инновационных решений, снизиться качество (вследствие вынужденной замены элементов и оборудования) и доступность требуемых технологий в целом.

Анализ отечественных публикаций и разработок, опубликованных исследователями, профильными консалтинговыми компаниями, предприятиями энергетической отрасли, а также профильными органами власти, обозначил следующие риски [1; 7; 84; 101; 137; 138; 139]:

- финансовые риски, связанные с нехваткой денежных средств или невозможностью их привлечения;
- риски устаревания оборудования компаний и неготовности инфраструктуры к внедрению энергетического оборудования Индустрии 4.0;
- низкие компетенции компаний и непроработанность нормативных правовых актов в области обеспечения кибербезопасности;
- неготовность сотрудников компании к эксплуатации цифрового оборудования и работе с данными;
- санкционные ограничения и политика импортозамещения;
- длительный срок окупаемости внедрения цифровых технологий.

Приостановка продаж и обновлений зарубежного программного обеспечения (далее – ПО), запрет на поставки комплектующих, повышение процентных ставок по кредитам, увеличение стоимости оборудования окажут негативное влияние в среднесрочной перспективе не только на внедрение цифровых технологий Индустрии 4.0, но и на выполнение стратегии цифровой трансформации в целом. Несмотря на то что санкционное давление стимулирует обратный инжиниринг оборудования и ПО, успешность цифрового перехода в среднесрочной и долгосрочной перспективе будет зависеть от скорости разработки отечественных технологий и ПО. Так как все используемые технологии для реализации приоритетных проектов тесно взаимосвязаны между собой, компаниям предстоит полный переход на отечественное оборудование и ПО, что повлечет высокие финансовые затраты и в среднесрочной перспективе представляется нереалистичным.

Вследствие действия этих факторов коммуникационный разрыв может увеличиться, а распространение моделей активного потребителя будет происходить существенно дольше расчетного.

После обработки исследований составлен реестр рисков внедрения моделей активного потребителя – он приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Реестр рисков проектов внедрения моделей активного потребителя

Наименование риска	Последствия реализации риска
1	2
Финансовые риски	
Риск недооценки потребностей в финансовых ресурсах	Увеличение бюджета проекта Увеличение срока окупаемости
Риск нехватки свободных денежных средств	Формирование кассовых разрывов на предприятии Увеличение срока окупаемости
Риск неблагоприятного колебания валютных курсов и процентных ставок	Рост затрат на приобретение оборудования Рост затрат на привлечение заемного финансирования
Управленческие риски	
Риск получения недостоверной информации о результатах внедрения моделей активного потребителя в иных компаниях	Увеличение расходов на обучение сотрудников Рост эксплуатационных расходов Увеличение периода окупаемости проекта по внедрению Потеря вложенных средств

Продолжение таблицы 18

1	2
Риск несогласованности внедряемых моделей активного потребителя с технологическим процессом компании	Увеличение срока окупаемости Потеря инвестиций Бесполезность результатов реализации внедрения
Риски недостатка компетенций	
Риск недостатка квалифицированного персонала	Рост затрат и трата времени на повышение квалификации сотрудников Пересмотр положений о мотивации персонала Рост затрат и времени на подбор новых сотрудников Увеличение срока окупаемости
Риски несоблюдения требований по обеспечению информационной безопасности	Потеря конфиденциальной информации Рост затраты на доработку/покупку решений в сфере безопасности Репутационный ущерб Наложение штрафов
Риск неприятия сотрудниками внедряемых технологий	Рост затрат на повышение квалификации сотрудников Пересмотр положений о мотивации персонала Рост затрат и трата времени на подбор новых сотрудников Увеличение срока окупаемости, рост текучки кадров
Регуляторные риски	
Риск отсутствия необходимых стандартов для цифровых технологий	Рост затрат на доработку оборудования или инфраструктуры Рост затрат на масштабирование внедренной модели
Риск санкционных запретов и ограничений	Сдвиг срока окупаемости внедрения модели активного потребителя вправо Безвозвратная потеря вложенных финансовых ресурсов Отсутствие практической пользы по результатам внедрения Рост расходов на эксплуатацию и текущий ремонт
Риск недоработанности нормативного правового регулирования персональных данных и кибербезопасности	Потеря конфиденциальной информации Рост затрат на доработку или приобретение решений из области кибербезопасности Репутационный ущерб Наложение штрафов
Технологические риски	
Риск недооценки потребностей в оборудовании и ПО	Рост затрат на приобретение дополнительного оборудования Увеличение срока окупаемости
Риск неготовности инфраструктуры предприятия к внедрению цифровых технологий	Рост затрат на приобретение дополнительного оборудования Увеличение срока окупаемости Потеря средств, вложенных в оборудование
Риск отсутствия необходимых технологических решений или их низкое качество	Приостановка основной деятельности объекта Невозможность использования технологий Индустрии 4.0 Увеличение периода окупаемости проекта по внедрению Потеря вложенных средств

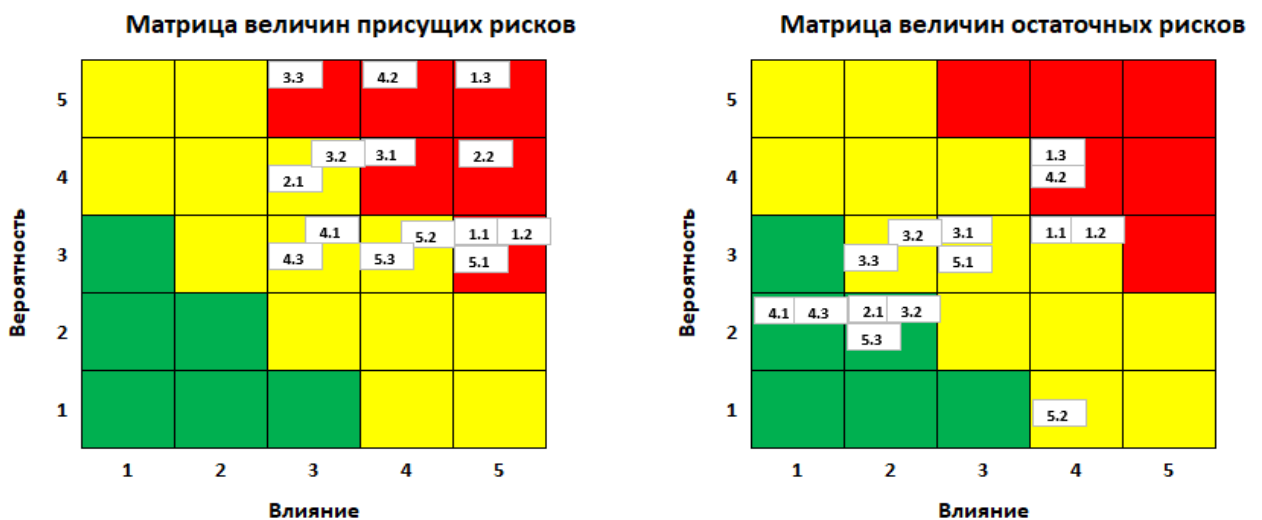
Источник: составлено автором по материалам [1; 7; 84; 101; 137; 138; 139; 140; 141; 142].

По результатам анализа определены пять групп рисков: финансовые, рыночные, управленческие, недостатка компетенций, регуляторные и технологические. Для проведения балльной оценки рисков составлен реестр рисков проектов внедрения моделей активного потребителя и разработке управляющих действий, направленных на снижение риска, подготовлена анкета, приведенная в приложении Ж.

В данной анкете экспертам предлагалось проставить оценки на основе шкал для текущего уровня рисков, предложить мероприятия по снижению рисков и оценить остаточный уровень риска – уровень после реализации предложенных мероприятий. Анкета разослана экспертам из выборки, описанной в главе 2.

Результаты обработки анкет представлены в приложении И. Для формирования единой оценки риска баллы, полученные от экспертов, усреднялись и округлялись до целого числа.

После анализа анкет и оценки рисков результаты графически отображены на матрицах вероятности и влияния для уровня текущих (присущих) рисков и остаточных (с учетом реализации мероприятий по снижению риска). Эти матрицы приведены на рисунке 21.



Источник: составлено автором по материалам приложения И.
Рисунок 21 – Матрицы величин рисков

В группе финансовых рисков средний уровень имеют риски недооценки потребностей в финансовых ресурсах и нехватки свободных денежных средств, высокий уровень получил риск неблагоприятного колебания валютных курсов. Эксперты считают, что для многих компаний ограничением ликвидности может послужить введение ограничений на привлечение банковского капитала (в том числе зарубежного), что в перспективе способно привести к возникновению кассовых разрывов на предприятиях. Заключение долгосрочных кредитных линий, а также диверсификация источников и механизмов финансирования способны сделать этот риск более контролируемым, но не исключают его полностью вследствие потенциальной возможности увеличения санкционного давления на банковский сектор.

Валютный риск также является наиболее вероятным и тяжелым по последствиям среди финансовых рисков. При этом его митигация осложняется недоступностью для компаний ряда инструментов финансового хеджирования, применяемого до февраля 2022 года.

Риски группы управленческих рисков, а именно риск получения недостоверной информации о результатах внедрения моделей активного потребителя в иных компаниях и риск несогласованности внедряемых моделей активного потребителя с технологическим процессом в компании, получили высокие оценки первоначальных рисков, однако они являются хорошо управляемыми и могут быть снижены до низкой зеленой зоны. В частности, данные риски могут быть проанализированы и снижены в компании в рамках проведения самооценки при помощи методики, предложенной в параграфе 3.2 настоящего исследования.

Риски недостатка компетенций имеют среднюю управляемость и остаточные риски в желтой средней зоне. Для их митигации необходимо своевременно проводить обучения по повышению уровня цифровых компетенций сотрудников, внедрять корпоративную культуру организации,

мотивирующую использовать актуальные цифровых технологий на всех уровнях организации.

Среди группы регуляторных рисков критическим по уровню остаточного риска является риск санкционных запретов и ограничений. Компании могут попробовать его снизить при помощи планирования закупок отечественного оборудования или оборудования из стран дружественных юрисдикций, но это не всегда гарантирует получение необходимых технологий, и компании вынуждены проектировать решения с учетом возможных санкционных ограничений на закупку оборудования.

Среди группы технологических рисков в красной зоне находится риск отсутствия необходимых технологических решений или их низкое качество, что во многом определяется санкционными ограничениями и ограниченным набором отечественных аналогов, зачастую не обладающих необходимым функционалом, а также длительным временем разработки отечественных аналогов. Использование дружественных юрисдикций для закупки оборудования позволяет частично митигировать данный риск.

Риск неготовности инфраструктуры предприятия к внедрению цифровых технологий довольно высокий, однако может быть успешно снижен или за счет своевременного обновления инфраструктуры предприятия, или за счет использования методики оценки уровня зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя, разработанной в параграфе 3.2.

Таким образом, в результате проведенного анализа получена оценка рисков проектов внедрения моделей активного потребителя, а также структурированы меры снижения рисков, призванные поддержать реализацию проектов внедрения моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка и, как следствие, преодолеть пропасть при переходе к позднему рынку.

Выводы к главе 3

В первом параграфе представлен анализ модельных кейсов, демонстрирующий эффективность развертывания моделей активного потребителя для ключевых субъектов розничного рынка: промышленных площадок и торгово-офисных центров. Экономический эффект в виде снижения LCOE лежит в интервале от 15,1% до 31,9%. Проведен расчет распространения моделей активного потребителя. Скорость их распространения относительно невелика и составляет 7,6 года до наступления пика внедрения.

Во втором параграфе разработана методика оценки готовности субъектов розничного рынка к внедрению модели активного потребителя, основанная на оценке зрелости компаний – потребителей на розничном рынке по пяти направлениям и сопоставлении полученной самооценки, для компаний с рекомендуемыми уровнями зрелости для каждого из типов модели активного потребителя.

В завершение представлен анализ рисков, присущих проектам внедрения моделей активного потребителя. Наибольшей силой влияния и наименьшей управляемостью являются риски, связанные с санкционными ограничениями: как прямыми и косвенными санкциями, так и недоступностью необходимого оборудования и ПО, необходимого для цифровой трансформации розничных рынков.

Заключение

В исследовании проанализировано влияние распространения цифровых технологий Индустрии 4.0 на трансформацию розничного рынка электроэнергии и мощности и изменения поведения конечных потребителей на нем. Несмотря на то что российские электроэнергетические компании и органы власти принимают активное участие в разработке новых механизмов и инструментов функционирования энергорынков, уровень вовлеченности потребителей на розничном рынке остается относительно невелик, что приводит к задержке внедрения инновационных технологий или полному отказу от их внедрения.

Перед соискателем стояла задача выявления ключевых эффектов от внедрения энергетических технологий Индустрии 4.0 для субъектов розничного рынка. По результатам проведенного обзора литературы выявлены ключевые эффекты от технологий цифрового перехода в электроэнергетике для субъектов розничного рынка. К ключевым технологиям цифрового перехода в энергетике можно отнести распределенную генерацию, системы накопления электроэнергии и интеллектуальные системы учета. Распространение данных технологий само по себе приводит к ряду положительных эффектов, однако, как показало исследование, эффекты от внедрения данных технологий в полной мере проявляются в условии широкого применения цифровых решений, то есть цифровой трансформации отрасли на уровне взаимодействия между потребителями и энергетическими компаниями.

Помимо этого, распространение данных технологий трансформирует поведение участников розничного рынка, превращая пассивного потребителя электроэнергии в активного, что, в свою очередь, приводит к формированию новых моделей активного потребителя.

В ходе работы стояла вторая задача, по результатам разработки которой определена классификация моделей активного потребителя, формирующихся в результате изменения поведения субъектов розничного рынка электроэнергии. Выделено пять типов моделей активного потребителя: «Базовая модель», «Активный энергокомплекс», «Энергетическая ячейка», «Интернет энергии» и «Агрегатор нагрузки». В частности, описан технологический базис, необходимый для реализации каждой модели, включая оборудования, а также выделены потенциальные эффекты, создаваемые каждой из моделей.

Распространение моделей активного потребителя способно трансформировать текущие бизнес-модели энергетических компаний и сформировать новые ценностные предложения. В этой связи решено исследовать факторы, оказывающие влияние на готовность к внедрению моделей активного потребителя среди конечных потребителей – участников розничного рынка, а также факторов, определяющих эффективность последующего применения данных моделей, что являлось третьей задачей настоящего исследования.

Показано, что на решение о внедрении модели активного потребителя наиболее сильное влияние оказывают факторы готовности инфраструктуры организации и уровня ее цифровых компетенций. Для успешного распространения моделей активного потребителя необходимо эффективное взаимодействие потребителей с энергокомпаниями, а также органами-регуляторами.

Исследование, проведенное при помощи CDM-модели показало, что вложения инвестиций в оборудование моделей активного потребителя приводит к достижению положительных экономических эффектов, что обосновывает целесообразность практического внедрения данных моделей и позволяет рассмотреть модели как основу целевой модели розничного рынка

электроэнергии в условиях цифровой трансформации электроэнергетической отрасли.

Следующая задача – разработка целевой модели розничного рынка электроэнергии, учитывающая внедрение моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка. Для ее решения разработана новая принципиальная схема взаимодействия с энергокомпанией при реализации модели активного потребителя, подразумевающая появление нового функционала (цифровой оператор активного потребителя), сфокусированного на организации взаимоотношений активного потребителя с инфраструктурными и иными компаниями электроэнергетики, направленная на создание новой ценности как для потребителей, так и самих компаний отрасли электроэнергетики.

В качестве финальной задачи выступало исследование экономического эффекта от внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка. Проведен анализ на основе расчета показателя скорректированного LCOE, в рамках которого исследованы модельные кейсы, продемонстрировавшие эффективность развертывания моделей активного потребителя для ключевых субъектов розничного рынка: промышленных площадок и торгово-офисных центров.

С целью ускорения распространения моделей активного потребителя разработана методика готовности субъектов розничного рынка ко внедрению моделей активного потребителя. Разработанная методика позволяет оценить уровень зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя исходя из оценки степеней зрелости по пяти направлениям, и соотнести полученные оценки с рекомендуемыми требованиями для успешного внедрения различных типов моделей активного потребителя, тем самым способствуя достижению положительных экономических эффектов от распространения моделей активного потребителя.

В завершение работы представлен анализ рисков при реализации проектов внедрения моделей активного потребителя и меры по митигации данных рисков.

Таким образом, достигнута цель диссертационного исследования в виде разработки целевой модели розничного рынка электроэнергии, соответствующей условиям цифровой трансформации электроэнергетической отрасли и учитывающей внедрение моделей активного потребителя.

Список литературы

1. Трачук, А.В. Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения / А.В. Трачук, Н.В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 1. – С. 32-48. – ISSN 2618-947X.
2. Ховалова, Т.В. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию / Т.В. Ховалова // Эффективное антикризисное управление. – 2017. – № 3. – С. 44-57. – ISSN 2078-8886.
3. Цифровой переход в электроэнергетике // Фонд «Центр стратегических разработок» : официальный сайт. – Москва, 2017. – Текст : электронный. – URL: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perehod-velektroenergetike-rossii/> (дата обращения: 09.11.2021).
4. Хохлов, А. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов [и др.]. – Сколково. – Текст : электронный. – URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 14.10.2021).
5. Кузьмин, П.С. Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения / П.С. Кузьмин // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2019. – № 4. Том 10. – С. 306-319. – ISSN 2618-947X.
6. Налбандян, Г.Г. Концепция Интернета энергии в России: драйверы и перспективы / Г.Г. Налбандян, Т.В. Ховалова // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 3. – С. 60-65. – ISSN 2618-947X.
7. Архитектура Интернета энергии IDEA / Инфраструктурный центр «Энерджинет». – Москва, 2021. – Текст : электронный – URL: <https://drive.google.com/file/d/13JM0NIY4jUXOP6Mv4irjb2k77bK60p-Q/view> (дата обращения: 09.11.2021).

8. Brown, D. Prosumers in the post subsidy era: An exploration of new prosumer business models in the UK / D. Brown, S. Hall, M. Davis // Energy Policy. – 2019. – Volume 135. – ISSN 1873-6777.

9. Brown, D. What is prosumerism for? Exploring the normative dimensions of decentralised energy transitions / D. Brown, S. Hall, M. Davis // Energy Research & Social Science. – 2020. – Volume 66. – ISSN 2214-6296.

10. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Министерство энергетики Российской Федерации : официальный сайт. – Москва, 2020. – Текст : электронный. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 07.10.2021).

11. Электробаланс и потребление электроэнергии в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – Москва, 2023. – Текст : электронный. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2022.xlsx (дата обращения: 25.07.2023).

12. Потребление электроэнергии в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – Москва, 2021. – Текст : электронный. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/el-potr.xls> (дата обращения: 07.10.2021).

13. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году // АО «СО ЕЭС» : сайт. – Москва, 2023. – Текст : электронный. – URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2023/ups_rep2022.pdf (дата обращения: 25.07.2023).

14. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2021 год // Министерство экономического развития Российской Федерации: официальный сайт. – Москва, 2023. – Текст : электронный. – URL:

https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf (дата обращения: 25.07.2023).

15. Российская Федерация. Законы. Об электроэнергетике : федеральный закон [принят 26.03.2003 № 35-ФЗ (редакция от 11.06.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/?ysclid=lo31m dc06v213006606 (дата обращения: 07.10.2021).

16. Современная рыночная электроэнергетика Российской Федерации / С.А. Бушуев, К.А. Виноградов, П.К. Виноградов [и др.] ; под общей редакцией О.Г. Баркина. – Москва : АНО «Учебный центр НП «Совет рынка», 2017. – 523 с. – ISBN 978-5-906988-92-8.

17. ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 8 с. – Текст : электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005816> (дата обращения: 07.10.2021).

18. Генерация электроэнергии // Госкорпорация «Росатом» : официальный сайт. – Москва, 2023. – Текст : электронный – URL: <https://www.rosatom.ru/production/generation/> (дата обращения: 25.07.2023).

19. Абубакиров, Ш.И. Опыт и перспективы использования асинхронизированных гидрогенераторов в проектах ОАО «Институт Гидропроект» / Ш.И. Абубакиров // Гидротехника. – 2010. – № 2. – С. 6-11. – ISSN 2227-8400.

20. Галашов, Н.Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС : учебное пособие / Н.Н. Галашов. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 200 с. – ISBN отсутствует.

21. О критериях отнесения объектов электросетевого хозяйства к единой национальной (общероссийской) электрической сети. [Постановление Правительства Российской Федерации от 26.01.2006 № 41 (редакция от 17.03.2016)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст :

электронный. –

URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_58051/?ysclid=lo31whsbgs25496242 (дата обращения: 07.10.2021).

22. Оптовый рынок электрической энергии и мощности // НП «Совет рынка» : сайт. – Москва, 2021. – Текст : электронный. – URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (дата обращения: 09.10.2021).

23. Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности. [Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 1172 (редакция от 29.10.2021). – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/688169748ff81438157cd1f4aa5027d29ff1053d/?ysclid=lo31y64fkk688818769 (дата обращения: 07.10.2021).

24. Линдер, Н.В. Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы / Н.В. Линдер, А.Л. Лисовский // Стратегии бизнеса. – 2017. – № 1. – С. 48-54. – ISSN 2311-7184.

25. Разъяснения по процедуре отнесения генерирующих объектов к генерирующим объектам, мощность которых поставляется на оптовом рынке в вынужденном режиме // НП «Совет рынка» : сайт. – Москва, 2015. – Текст : электронный. – URL: <https://www.np-sr.ru/sites/default/files/pressinf/buklet-pokom-i-otneseniyu-k-vynuzhdennym.pdf> (дата обращения: 07.10.2021).

26. Об определении ценовых параметров торговли мощностью на оптовом рынке электрической энергии и мощности. [Постановление Правительства Российской Федерации от 13.04.2010 № 238 (редакция от 25.01.2019)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_

46797/c2182efc74f4b3f8375d1f217c0ec4bccdf8750e/?ysclid=lo31z5lvnb399523871 (дата обращения: 07.10.2021).

27. О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности. [Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2013 № 449 (редакция от 12.07.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: <http://consultant.ru> (дата обращения 07.10.2021).

28. О проведении отборов проектов модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций. [Постановление Правительства Российской Федерации от 25.01.2019 № 43 (редакция от 18.03.2021)] . – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316832/?ysclid=lo31zrkr5n316218051 (дата обращения: 07.10.2021).

29. О порядке отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг, а также об утверждении изменений, которые вносятся в акты Правительства Российской Федерации по вопросам оказания услуг по обеспечению системной надежности. [Постановление Правительства Российской Федерации от 03.03.2010 № 117 (редакция от 08.02.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98460/88876e670242bf5c97eb856e3519a63cd7147655/?ysclid=lo32086m55137171620 (дата обращения 07.10.2021).

30. Обзор электроэнергетической отрасли России // Ernst & Young : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/%24FILE/EY-power-market-russia-2018.pdf> (дата обращения: 07.10.2021).

31. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии. [Постановление Правительства Российской Федерации от 04.05.2012 № 442 (редакция от 29.10.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/?ysclid=lo323urpg2372355631 (дата обращения: 07.10.2021).

32. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов. [Постановление Правительства Российской Федерации от 31.07.2021 № 354 (редакция от 31.07.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_114247/?ysclid=lo326l5o9i640697759 (дата обращения: 07.10.2021).

33. Российская Федерация. Законы. О естественных монополиях : федеральный закон [принят 17.08.1995 № 147-ФЗ (редакция от 11.06.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7578/?ysclid=lo3274fvq5125419386 (дата обращения: 07.10.2021).

34. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике. [Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2011 № 1178 (редакция от 29.10.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125116/?ysclid=lo327i9nap308006543 (дата обращения: 07.10.2021).

35. Об утверждении Методических указаний по расчету тарифов на услуги по передаче электрической энергии, устанавливаемых с применением метода долгосрочной индексации необходимой валовой выручки. [Приказ Федеральной службы по тарифам Российской Федерации от 17.02.2012

№ 98-э (редакция от 25.12.2020)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_126941/e66605482a62db6a92a3aef2c1ef1fa37d8edc94/?ysclid=1o3283hs8c823750430 (дата обращения: 07.10.2021).

36. Об утверждении Методических указаний по регулированию тарифов с применением метода доходности инвестированного капитала. [Приказ Федеральной службы по тарифам Российской Федерации от 30.03.2012 № 228-э (редакция от 25.12.2020)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_128373/d6222cf850409831dd6fc67ea2c6952153e41f18/?ysclid=lo328jyacd705610385 (дата обращения: 07.10.2021).

37. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям. [Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 861 (редакция от 29.10.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51030/?ysclid=lo329835hi79848745 (дата обращения: 07.10.2021).

38. ПАО «Россети» : официальный сайт. – URL: <http://www.rosseti.ru/> (дата обращения: 07.10.2021). – Текст : электронный.

39. Об определении и применении гарантирующими поставщиками нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность). [Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2011 № 1179 (редакция от 02.03.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125195/?ysclid=lo329xfh0394458704 (дата обращения: 07.10.2021).

40. Об утверждении методических указаний по расчету сбытовых надбавок гарантирующих поставщиков с использованием метода сравнения аналогов. [Приказ Федеральной антимонопольной службы Российской Федерации от 21.11.2017 № 1554/17 (редакция от 21.12.2020)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283964/?ysclid=lo32acswh9388241993 (дата обращения: 07.10.2021).

41. Федоров, Я.П. Экономика и финансы энергосбытового бизнеса : учебное пособие / Я.П. Федоров. – Москва : Кнорус, 2021. – 150 с. – ISBN 978-5-406-07684-2.

42. АО «Мосэнергосбыт» : официальный сайт. – URL: <https://mosenergosbyt.ru> (дата обращения: 07.11.2021). – Текст : электронный.

43. Линдер, Н.В. Влияние перекрестного субсидирования в электро- и теплоэнергетике на изменение поведения участников оптового и розничного рынков электро- и теплоэнергии / Н.В. Линдер, А.В. Трачук // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2017. – № 3. – С. 78-86. – ISSN 2618-947X.

44. Линдер, Н.В. Тарифная политика и перекрестное субсидирование в электро- и теплоэнергетике / Н.В. Линдер, Ю.В. Володин // Стратегии бизнеса. – 2017. – № 1. – С. 37-47. – ISSN 2311-7184.

45. Трачук, А.В. Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: подходы к моделированию снижения его объемов / А.В. Трачук,

Н.В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2017. – № 1. Том 100. – С. 24-35. — ISSN 2618-947X.

46. Расходы на электроснабжение малого и среднего бизнеса в России: растущая нагрузка // Фонд «Центр стратегических разработок» (ЦСР) : официальный сайт. – Москва, 2021. – Текст : электронный. – URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/282/am06ifly4c3oq2xz2xsrzvisr3hl84ah.pdf> (дата обращения: 06.11.2021).

47. Перекрестное субсидирование в электроэнергетике России. Международный бенчмаркинг // КПМГ : официальный сайт. – Москва, 2020. – Текст : электронный. – URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2020/07/ru-ru-cross-subsidies-in-the-russian-power-industry.pdf> (дата обращения: 08.11.2021).

48. План мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы // Национальная технологическая инициатива : официальный сайт. – Москва, 2016. – Текст : электронный. – URL: https://nti2035.ru/markets/docs/DK_energynet.pdf (дата обращения: 09.11.2021).

49. Frankel, D. Battery storage: The next disruptive technology in the power sector / D. Frankel, A. Wagner // McKinsey : сайт. – 2017. – Текст : электронный. – URL: <https://www.mckinsey.com/businessfunctions/sustainability-and-resource-productivity/ourinsights/battery-storage-the-next-disruptive-technology-inthe-power-sector> (дата обращения: 22.06.2019).

50. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры // Инфраструктурный центр «Энерджинет» : официальный сайт. – Москва, 2019. – Текст : электронный. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1QraG6ghruRMyc9gcN3a0LNWUUnUonId3/view> (дата обращения: 09.11.2021).

51. Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива // Инфраструктурный центр «Энерджинет» : официальный сайт. – Москва, 2019. – Текст : электронный. – URL: <https://drive.google.com/file/d/>

1MvV2_kV2j4WUOUeoaZ1M6JObrQDqy75N/view (дата обращения: 09.11.2021).

52. Кузьмин, П.С. Интеллектуальные системы учета электроэнергии: эмпирический анализ факторов восприятия технологии / П.С. Кузьмин // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2021. – № 1. Том 12. – С. 8-23. – ISSN 2618-947X.

53. Гительман, Л.Д. Управление спросом на электроэнергию: зарубежный опыт и адаптация к российским условиям / Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников, М.В. Кожевников // Эффективное антикризисное управление. – 2012. – № 6. Том 75. – С. 61-65. – ISSN 2078-8886.

54. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности // Инфраструктурный центр «Энерджинет»: официальный сайт. – Москва, 2019. – Текст : электронный. – URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet_2019.pdf (дата обращения: 09.11.2021).

55. Иванов, А.В. Развитие стандартизации интеллектуальных систем электроснабжения будущего / А.В. Иванов, Ю.Н. Кучеров, В.М. Самков, Д.А. Корев // Энергия единой сети. – 2018. – № 3. Том 38. – С. 81-84. – ISSN 2306-8345.

56. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. – Москва : Эксмо, 2021. – ISBN 978-5-699-90556-0.

57. Ховалова, Т.В. Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей / Т.В. Ховалова, С.С. Жолнерчик // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 2. – С. 92-101. – ISSN 2618-947X.

58. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого

снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности. [Постановление Правительства Российской Федерации от 20.03.2019 № 287 (редакция от 08.02.2021)]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320896/33ca184903ca2064eb8830c845dd54dae6ab5cb1/?ysclid=lo32e56tx8749636909 (дата обращения: 07.10.2021).

59. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования активных энергетических комплексов. [Постановление Правительства Российской Федерации от 21.03.2020 № 320]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_348358/?ysclid=lo32es211994081943 (дата обращения: 07.10.2021).

60. Stagnaro, C. Managing the liberalisation of Italy's retail electricity market: A policy proposal / C. Stagnaro, C. Amenta, G. Di Croce, L. Lavecchia // *Energy Policy*. – 2020. – № 137. – P. 111150. – ISSN 1873-6777.

61. Hampton, H. Customer engagement strategies in retail electricity markets: A comprehensive and comparative review / H. Hampton, A. Foley, D. Furszyfer Del Rio [et. al.] // *Energy Research & Social Science*. – 2022. – Volume 90. – P. 102611. – ISSN 2214-6296.

62. Parrish, B. A systematic review of motivations, enablers and barriers for consumer engagement with residential demand response / B. Parrish, P. Heptonstall, R. Gross, B. Sovacool // *Energy Policy*. – 2020. – Volume 138. – P. 172-175. – ISSN 0301-4215.

63. Chase, A. Realising the potential of demand-side response to 2025: A focus on small energy users / A. Chase, R. Gross, P. Heptonstall [et. al.] // Department for Business, Energy & Industrial Strategy. – London, UK. – 2017. – Текст : электронный. – URL:

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a81c840e5274a2e8ab55cc1/DSR_research_report.pdf (дата обращения: 02.12.2021).

64. Lazard's levelized cost of energy analysis // Lazard : официальный сайт. – 2021. – Текст : электронный. – URL: <file:///C:/Users/ftori/Downloads/lazards-levelized-cost-of-energy-version-150-vf.pdf> (дата обращения: 02.12.2021).

65. Wegner, M.S. Valuing energy futures; a comparative analysis of value pools across UK energy system scenarios / M.S. Wegner, S. Hall, J. Hardy, M. Workman // *Applied Energy*. – 2017. – Volume 206. – P. 815-828. – ISSN 0306-2619.

66. Investment needs for a low-carbon energy system. Perspectives for the energy transition // International Energy Agency : официальный сайт. – 2017. – Текст : электронный. – URL: <https://www.iea.org/reports/investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system> (дата обращения: 02.12.2021).

67. Bauen, A. Decentralised generation – technologies and market perspectives / A. Bauen, A. Hawkes. – Paris : IEA, 2004. – 18 p. – ISBN отсутствует.

68. Ackermann, T. Distributed generation: A definition / T. Ackermann, G. Anderson, L. Soeder // *Electric Power Systems Research*. – 2001. – Volume 57. – P. 195-204. – ISSN 0378-7796.

69. Hansen, C.J. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies / C.J. Hansen, J. Bower. – Oxford : Oxford Institute for Energy Studies, 2004. – ISBN отсутствует.

70. Стенников, В.А. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция / В.А. Стенников, Н.И. Воропай // *Известия РАН. Энергетика*. – 2014. – № 1. – С. 64-73. – ISSN 0002-3310.

71. Ряпин, И. Риски «большой» электроэнергетики: уход потребителей на самостоятельное обеспечение электроэнергией как результат

недоработки реформы / И. Ряпин. – Москва : Энергетический центр Московской школы «Сколково», 2013. – 117 с. – ISBN отсутствует.

72. Селляхова, О. Виртуальная электростанция / О. Селляхова, О. Тарновская, Е. Фатеева, О. Юрчук // Энергорынок. – 2016. – № 2. Том 137. – С. 43–50. – ISSN отсутствует.

73. Global energy statistical yearbook // World Energy Statistics : сайт. – 2021. – Текст : электронный. – URL: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-inelectricity-production-share.html> (дата обращения: 02.12.2021).

74. Налбандян, Г.Г. Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности / Г.Г. Налбандян, С.С. Жолнерчик // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 1. – С. 80-87. – ISSN 2618-947X.

75. Distribution automation. Results from the Smart Grid investment grant program // U. S. Department of Energy : официальный сайт. – 2016. – Текст : электронный. – URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/Distribution%20Automation%20Summary%20Report_09-29-16.pdf (дата обращения: 02.12.2021).

76. Smart Grid 101 / Berkeley Laboratory ; Electricity Markets and Policy Group. – Текст : электронный. – URL: <https://emp.lbl.gov/sites/default/files/chapter1-3.pdf> (дата обращения: 02.12.2021).

77. You, S. The Danish perspective of energy internet: From service-oriented flexibility trading to integrated design, planning and operation of multiple cross-sectoral energy systems / S. You, L. Jin, J. Hu [et. al.] // Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao : Journal of China University of Mining & Technology. – 2015. – № 14. Volume 35. – P. 3470–3481. – ISSN 1000-1964.

78. Климовец, О.В. Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска / О.В. Климовец, В.А. Зубакин //

Эффективное антикризисное управление. – 2016. – № 2. Том 95. – С. 78-84. – ISSN 2078-8886.

79. Батраков, А. Как технологии накопления энергии изменят мир / А. Батраков, Д. Шапошников // РБК. – 2017. – № 008 (2505). – Текст : электронный. – URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2017/01/19/587e404e9a7947208a047c9d> (дата обращения: 02.12.2021).

80. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации // Министерство энергетики Российской Федерации : официальный сайт. – Москва. – Текст : электронный. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/9013> (дата обращения: 22.12.2021).

81. Navigant research: Energy storage for grid and ancillary services // Navigant Research : официальный сайт. – 2016. – Текст : электронный. – URL: <https://www.navigantresearch.com/research/energy-storage-for-the-grid-and-ancillary-services> (дата обращения: 22.12.2021).

82. The impact of electric vehicles on the grid: Customer adoption, grid load and outlook // Wood Mackenzie : официальный сайт. – 2016. – Текст : электронный. – URL: <https://www.woodmac.com/reports/power-markets-the-impact-of-electric-vehicles-on-the-grid-customer-adoption-grid-load-and-outlook-58120591> (дата обращения: 22.12.2021).

83. Energy storage investments boom as battery costs halve in the next decade // BloombergNEF : официальный сайт. – 2019. – Текст : электронный. – URL: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/> (дата обращения: 22.12.2021).

84. Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития // VYGON Consulting : официальный сайт. – 2020. – Текст : электронный. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf (дата обращения: 09.11.2021).

85. Brijs, T. Statistical analysis of negative prices in European balancing markets / T. Brijs, K. De Vos, C. De Jonghe, R. Belmans // *Renewable Energy*. – 2015. – Volume 80. – P. 53-60. – ISSN 0960-1481.

86. Bray, R. Policy and regulatory barriers to local energy markets in Great Britain / R. Bray, B. Woodman, P. Connor // *ResearchGate* : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – DOI 10.13140/RG.2.2.17562.08647. – URL: https://www.researchgate.net/publication/328768066_Policy_and_Regulatory_Barriers_to_Local_Energy_Markets_in_Great_Britain (дата обращения: 22.12.2021).

87. Shomali, A. The consequences of smart grids for the business model of electricity firms / A. Shomali, J. Pinkse // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Volume 112. – P. 3830-3841. – ISSN 0959-6526.

88. Smart grids and renewables. A guide for effective deployment // *International Renewable Energy Agency* : официальный сайт. – 2013. – Текст : электронный. – URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/smart_grids.pdf (дата обращения: 22.12.2021).

89. Zoha, A. Nonintrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey / A. Zoha, A. Gluhak, M. Imran, S. Rajasegarar // *Sensors*. – 2012. – Volume 12. – P. 16838-16866. – ISSN 1424-8220.

90. Zhuang, M. An overview of non-intrusive load monitoring: Approaches, business applications, and challenges / M. Zhuang, M. Shahidehpour, L. Zuyi // *2018 International Conference on Power System Technology*. – 2018. – P. 4291-4299. – Текст : электронный. – DOI 10.1109/POWERCON.2018.8601534. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8601534> (дата обращения: 22.12.2021).

91. Bergman, D.C. Non-intrusive load shed verification / D.C. Bergman, D. Jin, J.P. Juen [et. al.] // *IEEE Pervasive Computing*. – 2011. – № 1. Volume 10. – P. 49-57. – ISSN 1536-1268.

92. Lin, C. A new DSM energy-pricing model based on load monitoring system / C. Lin, Z. Wang // *Proceedings of the 2nd International Conference on*

Artificial Intelligence. Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC. – 2016. – P. 3650-3653.

93. Naghibi, B. Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management / B. Naghibi, S. Deilami // Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC). – 2014. – Текст : электронный. – DOI 10.1109/aupec.2014.6966647. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6966647/citations?tabFilter=papers#citations> (дата обращения: 22.12.2021).

94. Цифровая трансформация 2030 : концепция // ПАО «Россети» : официальный сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения: 22.12.2021).

95. Harnessing artificial intelligence to accelerate the energy transition // World Economic Forum. – 2021. – Текст : электронный – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_AI_to_accelerate_the_Energy_Transition_2021.pdf (дата обращения: 16.10.2021).

96. Hampton, H. Developing future retail electricity markets with a customer-centric focus / H. Hampton, A.M. Foley, D. Furszyfer Del Rio, B. Sovacool // Energy Policy. – 2022. – Volume 168. – P. 113147. – ISSN 0301-4215.

97. Parag, Y. Electricity market design for the prosumer era / Y. Parag, B.K. Sovacool // Nature Energy. – 2016. – P. 16032. – ISSN 2058-7546.

98. Parrish, B. On demand: Can demand response live up to expectations in managing electricity systems? / B. Parrish, R. Gross, P. Heptonstall // Energy Research & Social Science. – 2019. – Volume 51. – P. 107-118. – ISSN 2214-6296.

99. Local grid charging: Exploring the incentivisation of local energy // Piclo : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: <https://piclo.energy/publications/open-utility-local-grid-charging-white-paper.pdf> (дата обращения: 22.12.2021).

100. Microgrid electricity market operators. Victorian market assessment white paper fact sheet. – Monash University, 2019. – Текст : электронный. – URL: https://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0010/1857313/Monash-Net-Zero_Microgrid-Operator-Whitepaper_20190617-1.pdf (дата обращения: 22.12.2021).

101. Активные энергетические комплексы – первый шаг к промышленным микрогридам в России // Инфраструктурный центр «Энерджинет». – Москва, 2020. – Текст : электронный. – URL: https://drive.google.com/file/d/1PwyNYskwbaES_5oE3utFDDOnbucosZ0q/view (дата обращения: 09.11.2021).

102. Кузьмин, П.С. Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей / П.С. Кузьмин // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2021. – № 4. Том 12. – С. 306-321. – ISSN 2618-947X.

103. Regen local supply: Options for selling your energy locally. – 3rd editon. – Exeter, UK : The Innovation Centre “Regen”, 2018. – Текст : электронный. – URL: https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/REGEN_Local_Supply_FINAL.pdf (дата обращения: 20.03.2022).

104. Microgrids for commercial and industrial companies. – Geneva : World Business Council for Sustainable Development, 2017. – Текст : электронный. – URL: http://docs.wbcsd.org/2017/11/WBCSD_microgrid_INTERACTIVE.pdf (дата обращения: 22.03.2022).

105. Microgrid analysis and case studies report // California Energy Commission : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: <https://higherlogicdownload.s3-external-1.amazonaws.com/DISTRICTENERGY/California%20Energy%20Commission%20Microgrid%20Analysis%20and%20Case%20Studies%20Report.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAVRDO7IEREB57R7MT>

&Expires=1698080854&Signature=uz59JHmI0Tp6bwNo9w3JdZ%2B3Hj0%3D
(дата обращения: 22.03.2022).

106. Asmus, P. Microgrids ramp up in Latin America but Asia Pacific remains the global Leader / P. Asmus // Microgrid Knowledge. – 2019. – 3 October. – Текст : электронный. – URL: <https://www.microgridknowledge.com/google-news-feed/article/11429388/>

microgrids-ramp-up-in-latin-america-but-asia-pacific-remains-the-global-leader
(дата обращения: 22.03.2022).

107. Asmus, P. Plug-and-play modular microgrids gain market momentum / P. Asmus // Microgrid Knowledge. – 2019. – 30 December. – Текст : электронный. – URL: <https://www.microgridknowledge.com/google-news-feed/article/11429211/plug-and-play-modular-microgrids-gain-market-momentum>
(дата обращения: 22.03.2022).

108. Microgrid deployment tracker identifies 2,179 new projects // Guidehouse Insights : сайт. – 2020. — Текст : электронный. – URL: <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/microgrid-deployment-tracker-identifies-2179-new-projects> (дата обращения: 22.03.2021).

109. Microgrid: A global view. International Symposium on Microgrids // Navigant Research : сайт. – 2017. – Текст : электронный. – URL: https://microgrid-symposiums.org/wp-content/uploads/2017/06/Plenary_1_Asmus_v01_20171101.pdf (дата обращения: 22.03.2021).

110. Innovation landscape brief: Renewable mini-grids. – Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019. – Текст : электронный. – URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids_2019.pdf (дата обращения: 15.01.2021).

111. The global market for modular microgrids is expected to experience 28% compound annual growth rate from 2020-2029 // Guidehouse Insights : сайт. – 2020. – Текст : электронный. – URL:

<https://www.businesswire.com/news/home/20200219005059/en/Navigant-Research-Report-Shows-Global-Market-for-Modular-Microgrids-Is-Expected-to-Experience-28-Compound-Annual-Growth-Rate-from-2020-2029> (дата обращения: 15.01.2021).

112. Baer, W.S. Electricity requirements for a digital society / W.S. Baer, S. Hassel, B. A. Vollaard // RAND Corporation. – 2002. – Текст : электронный. – URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1617.html (дата обращения: 22.12.2021).

113. Morley, J. Digitalization, energy, and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption / J. Morley, K. Widdicks, M. Hazas // Energy Research & Social Science. – 2018. – № 38. – P. 128-137. – ISSN 2214-6296.

114. Engel, H. The potential impact of electric vehicles on global energy systems / H. Engel, R. Hensley, S. Knupfer, S. Sahdev // McKinsey & Company : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energysystems#> (дата обращения: 22.12.2021).

115. Концепция функционирования агрегаторов распределенных энергетических ресурсов в составе Единой энергетической системы России. Агрегаторы управления спросом на электроэнергию // АО «СО ЕЭС» : официальный сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/docs/dr_agregator_concept.pdf (дата обращения: 22.12.2021).

116. Crépon, B. Research, innovation, and productivity: An econometric analysis at the firm level / B. Crépon, E. Duguet, J. Mairesse // Economics of Innovation and New Technology. – 1998. – Volume 7. – P. 115-156. – ISSN 1043-8599.

117. Трачук, А.В. Влияние технологий индустрии 4.0 на повышение производительности и трансформацию инновационного поведения промышленных компаний / А.В. Трачук, Н.В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2020. – № 2. Том 11. — С. 132-149. – ISSN 2618-947X.

118. Линдер, Н.В. Трансформация инновационного поведения российских промышленных предприятий в условиях четвертой промышленной революции : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность); управление инновациями» : диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Линдер Наталия Вячеславовна ; Финансовый университет. – Москва, 2021. – 460 с. – Библиогр.: с. 341-386.

119. Трачук, А.В. Инновации и производительность российских промышленных компаний / А.В. Трачук, Н.В. Линдер // Инновации. – 2017. – № 4. Том 222. – С. 53–65. – ISSN 2071-3010.

120. Кузьмин, П.С. The concept of transformation of the retail electricity market in the context of digital transformation of the industry = Концепция преобразования розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации отрасли / П.С. Кузьмин // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2023. – № 1. Том 14. – С. 58-73. – ISSN 2618-947X.

121. Rogers, E. Diffusion of innovations / E. Rogers. – 5th edition. – New York : Free Press, 1995. – 519 p. – ISBN 978-0028740744.

122. Davis, F.D. Perceived use fullness, perceived ease of use and user acceptance of information technology / F.D. Davis // MIS Quarterly. – 1989. – № 3. Volume 13. – P. 319-340. – ISSN 0276-7783.

123. Levelized costs of new generation resources in the annual energy outlook 2022 // U.S. Energy Information Administration : официальный сайт. –

2022. – URL: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
(дата обращения: 04.11.2022).

124. Branker, K. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity / K. Branker, M.J.M. Pathak, J.M. Pearce // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2011. – № 15. – P. 4470-4482. – ISSN 1364-0321.

125. Projected costs of generating electricity: 2005 Update. – Paris : OECD Publications ; International Energy Agency, 2005. – Текст : электронный. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c4fe476c-e2db-4b5c-9487-5031656c6f16/ProjectedCostsofGeneratingElectricity2005.pdf> (дата обращения: 04.11.2022).

126. Short, W. A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies / W. Short, D.J. Packey, T. Holt. – Golden, Colorado : National Renewable Energy Laboratory, 1995. – March. – P. 47-50.

127. Lai, C.S. A financial model for lithium-ion storage in a photovoltaic and biogas energy system / C.S. Lai, G. Locatelli, A. Pimm [et. al.] // *Applied Energy*. – 2019. – October. – Volume 251. – P. 113179. – ISSN 0306-2619.

128. Кузьмин, П.С. Цифровизация промышленности: эмпирическая оценка цифровой зрелости предприятий / П.С. Кузьмин // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. – 2021. – № 3. Том 12. – С. 220-235. – ISSN 2618-947X.

129. Bass, F.M. A new product growth model for consumer durables / F.M. Bass // *Management Science*. – 1969. – № 5. Volume 15. – P. 215-227. – ISSN 0025-1909.

130. Bass, F.M. Why the Bass model fits without decision variables / F.M. Bass, K. Trichy, D.C. Jain // *Management Science*. – 1994. – № 3. Volume 13. – P. 203-223. – ISSN 0025-1909.

131. Griliches, Z. Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change / Z. Griliches // *Econometrica*. – 1957. – Issue 4. Volume 25. – P. 501-522. – ISSN 0012-9682.

132. Mansfield, E. Industrial research and technological innovation: An econometric analysis / E. Mansfield. – New York : W.W. Norton & Company, 1968. – 235 p. – ISBN 978-0393097245.

133. Bass, F.M. Comments on a new product growth for model consumer durables / F.M. Bass // Management Science. – 2004. – № 12. Volume 50. – P. 1833-1840. – ISSN 0025-1909.

134. Чуркин, В.И. Прогноз продаж инновационных товаров с учетом макроэкономических факторов (на примере малых ветрогенераторов) / В.И. Чуркин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2013. – № 1-1. – С. 104-112. - ISSN 2304-9774.

135. Мур, Дж. Преодоление пропасти. Как вывести технологический продукт на массовый рынок / Дж. Мур. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 323 с. – ISBN 978-5-91657-537-8.

136. Глобальное исследование цифровых операций в 2018 г. «Цифровые чемпионы». Как лидеры создают интегрированные операционные экосистемы для разработки комплексных решений для потребителей // PWC : сайт. – 2018. – Текст : электронный. – URL: <https://www.pwc.nl/nl/assets/documents/global-digital-operations-study-digital-champions-2018.pdf> (дата обращения: 23.11.2022).

137. Анализ уровня внедрения и использования цифровых информационных систем и платформенных решений различной функциональности и степени интеграции в организациях топливно-энергетического комплекса, анализа потребности компаний в платформенных решениях, определения структуры, потенциального объема данных и информации, создаваемых и используемых на различных уровнях (от объекта до отрасли) и их основных характеристик, необходимых для достижения эффектов от цифровизации // Министерство энергетики Российской Федерации : официальный сайт. - Текст : электронный. – URL:

<https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/971/971c417247ad76e15c6d3b910dc9dcca.pdf> (дата обращения: 05.02.2022).

138. Цифровизация энергетики // Министерство энергетики Российской Федерации : официальный сайт. – Текст : электронный. – URL: <https://in.minenergo.gov.ru/energynet/docs/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%20%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).

139. Международный опыт цифровой трансформации электроэнергетики : Доклад на стратегической сессии Ассоциации организаций цифрового развития отрасли «Цифровая энергетика» // Консалтинговая компания Roland Berger : официальный сайт. – Текст : электронный. – URL: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/rolandberger_utilities_digitaltransformation_2020.pdf (дата обращения: 05.07.2020).

140. Кузьмин, П.С. Эмпирический анализ рисков цифровой трансформации для рыночных позиций промышленных предприятий / П.С. Кузьмин // Экономические науки. – 2022. – № 214. – С. 60-64. – ISSN 2072-0858.

141. Кузьмин, П.С. Влияние стратегических рисков на достижение социально-экономического эффекта от стимулирования ускорения технологического развития промышленности на основе цифровизации / П.С. Кузьмин // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2022. – № 4. – С. 115-121. – ISSN 1560-8816.

142. Ребязина, В.А. Инновационная деятельность российских компаний: результаты эмпирического исследования / В.А. Ребязина, С.П. Куш, А.В. Красников, М.М. Смирнова // Российский журнал менеджмента. – 2011. – № 3. Том 9. – С. 29-54. – ISSN 1729-7427.

Список иллюстративного материала

1 Список рисунков

Рисунок 1	Схема взаимодействия субъектов электроэнергетики на оптовом и розничном рынках	27
Рисунок 2	Среднесрочный прогноз распространения СНЭ с разбиением по способам применения	37
Рисунок 3	Базовая модель активного потребителя: принципиальная схема взаимодействия.....	48
Рисунок 4	Активный энергокомплекс: принципиальная схема взаимодействия.....	49
Рисунок 5	Разбиение суммарного эффекта по видам системных услуг.....	51
Рисунок 6	Доли рынка по установленной мощности микрогридов с разбивкой по регионам	52
Рисунок 7	Энергетическая ячейка: принципиальная схема взаимодействия.....	55
Рисунок 8	P2P-модель: принципиальная схема взаимодействия.....	57
Рисунок 9	Агрегатор нагрузки: принципиальная схема взаимодействия.....	59
Рисунок 10	Схема взаимодействия с цифровым оператором активного потребителя в целевой модели розничного рынка.....	94
Рисунок 11	Ключевой функционал цифрового оператора активного потребителя.....	100
Рисунок 12	Основные формулы расчета и рамочные параметры Сценария 1	110
Рисунок 13	Основные формулы расчета и рамочные параметры Сценария 2	111

Рисунок 14 Направления оценки готовности субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя	119
Рисунок 15 Элементы модели оценки зрелости субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя.....	121
Рисунок 16 Процесс оценки зрелости субъектов розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя	121
Рисунок 17 Лепестковая диаграмма уровней готовности конечного потребителя розничного рынка к внедрению моделей активного потребителя.....	126
Рисунок 18 Доля участников розничного рынка, внедривших модель активного потребителя в момент времени t.....	134
Рисунок 19 Суммарное число участников розничного рынка, внедривших модель активного потребителя.....	134
Рисунок 20 Пропась при процессе диффузии инноваций.....	138
Рисунок 21 Матрицы величин рисков.....	142
Рисунок Ж.1 Опросный лист.....	201

2 Список таблиц

Таблица 1 Доля установленной мощности и доля в энерговыработке электростанций в ЕЭС России.	17
Таблица 2 Эффекты от внедрения современных энергетических технологий для субъектов розничного рынка, проявляющихся в условиях цифровой трансформации	43
Таблица 3 Экономический эффект от пилотного развертывания АЭЖ для коммерческих и промышленных потребителей с 2020 г. по 2028 г.	53
Таблица 4 Факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя конечными потребителями на розничном рынке электроэнергии и мощности.....	69

Таблица 5 Регрессоры, являющиеся факторами, влияющими на решение конечного потребителя внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя	71
Таблица 6 Характеристика выборки	76
Таблица 7 Силы влияния факторов на принятие решения компаниями о вложениях в модели активного потребителя	78
Таблица 8 Результаты анализа вложений во внедрение моделей активного потребителя с разбивкой по направлениям инвестирования	83
Таблица 9 Влияние относительной величины инвестиций в оборудование моделей активного потребителя на достижение положительных экономических эффектов	86
Таблица 10 Характеристики объекта промышленности в Свердловской области и предпосылки расчета	113
Таблица 11 Характеристики торгово-офисного центра и предпосылки расчета	114
Таблица 12 Результаты анализа модельных кейсов	115
Таблица 13 Уровни готовности субъектов розничного рынка по направлению оценки	124
Таблица 14 Поправочные весовые коэффициенты сил влияния аспектов успешности внедрения модели активного потребителя	128
Таблица 15 Требуемые уровни зрелости по направлениям для внедрения моделей активного потребителя	129
Таблица 16 Оценка значений коэффициентов p и q для моделей активного потребителя	132
Таблица 17 Прогноз внедрения моделей активного потребителя	133
Таблица 18 Реестр рисков проектов внедрения моделей активного потребителя	140
Таблица Б.1 Внутриорганизационные и внешние факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя	179

Таблица Б.2 Общие и специфические факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя компаниями.....	180
Таблица В.1 Средневзвешенные оценки эффектов с разбивкой по моделям активного потребителя.....	182
Таблица Г.1 График потребления промышленного предприятия в Сценарии 1.....	184
Таблица Г.2 График потребления промышленного предприятия в Сценарии 2.....	184
Таблица Г.3 Результаты расчета скорректированного LCOE для Сценария 1 и Сценария 2.....	185
Таблица Ж.1 Таблица балльной оценки вероятности реализации риска.....	198
Таблица Ж.2 Таблица балльной оценки последствий реализации риска.....	199
Таблица И.1 Результат оценки для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя.....	202

Приложение А
(информационное)

**Критерии отнесения объектов электросетевого хозяйства
к единой национальной (общероссийской) электрической сети**

- 1) Линии электропередачи (далее – ЛЭП), проектный номинальный класс напряжения которых составляет 330 кВ и выше.
- 2) ЛЭП, проектный номинальный класс напряжения которых составляет 220 кВ:
 - обеспечивающие выдачу в сеть энергетической мощности электрических станций, общая установленная мощность каждой из которых составляет не менее 200 МВт;
 - обеспечивающие соединение и параллельную работу энергетических систем различных субъектов Российской Федерации;
 - обеспечивающие выдачу энергетической мощности в узлы электрической нагрузки с присоединенной трансформаторной мощностью не менее 125 МВА;
 - непосредственно обеспечивающие соединение указанных линий электропередачи, включая магистральные линии электропередачи с подстанциями, внесенными в уставный фонд Российского открытого акционерного общества энергетики и электрификации «ЕЭС России».
- 3) ЛЭП, пересекающие государственную границу Российской Федерации.
- 4) ЛЭП, проектный номинальный класс напряжения которых составляет 110 (150) кВ и вывод из работы которых приводит к технологическим ограничениям перетока электрической энергии (мощности) по сетям более высокого класса напряжения.
- 5) Трансформаторные и иные подстанции, проектный номинальный класс напряжения которых составляет 220 кВ и выше, соединенные с линиями электропередачи, указанными в пунктах 1-3 настоящего перечня, а также технологическое оборудование, расположенное на этих подстанциях, за исключением распределительных устройств электрических станций, входящих в имущественный комплекс генерирующих энергообъектов.
- 6) Оборудование распределительных устройств напряжением 110 (150) кВ и связанное с ним вспомогательное оборудование на трансформаторных и иных подстанциях, проектный номинальный класс напряжения которых составляет 110 (150) кВ, обеспечивающие транзитные перетоки электрической энергии по линиям электропередачи напряжением 110 (150) кВ, указанным в пункте 4 настоящего перечня.

7) Комплекс оборудования и производственно-технологических объектов, предназначенных для технического обслуживания и эксплуатации указанных объектов электросетевого хозяйства.

8) Системы и средства управления указанными объектами электросетевого хозяйства.

Приложение Б
(информационное)

**Выявление факторов, влияющих на решение конечного потребителя
внедрять или не внедрять ту или иную модель активного потребителя**

Эпидемиологические модели распространения инноваций созданы с целью описания факторов восприятия работниками предприятий компьютерной техники на рабочем месте и основывались на предположении, что использование конкретной технологической инновации зависит от отношения, сформированного к ней человеком, а также возможности и намерения ее использовать. В дальнейшем модель успешно использовалась для исследования инновационной деятельности компаний [142], а также распространения распределенной генерации [1]. В рамках изучения принятия инновационных моделей активного потребителя решено придерживаться методики, разработанной в представленных выше работах.

В таблице Б.1 собраны внутриорганизационные факторы и факторы внешней среды, которые были обозначены в соответствующих исследованиях:

Таблица Б.1 – Внутриорганизационные и внешние факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя

Факторы восприятия	Исследование
Внутриорганизационные факторы	
Техническая выполнимость	[62; 90; 91; 92]
Воспринятые преимущества	[62; 63; 90; 91]
Воспринятые риски	[62; 63; 86; 90; 91; 92]
Факторы внешней среды	
Влияние органов-регуляторов	[62; 63; 86; 90]
Влияние компаний электроэнергетики	[62; 86; 90; 91; 92]
Давление рыночной среды	[62; 90; 99]
Технологические изменения в отрасли	[90; 91; 99]

Источник: составлено автором.

С целью определения общих и специфических характеристик, влияющих на восприятие моделей активного потребителя среди компаний – потребителей

электроэнергии из исследований [62; 86; 90; 91], выделены наиболее значимые факторы – они приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.2 – Общие и специфические факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя компаниями

Факторы восприятия	Исследование
Общие характеристики	
Возможность тестирования	[90; 91; 99]
Сравнительное преимущество	[62; 63; 86; 90; 91; 92]
Сложность	[62; 90; 99]
Специфические характеристики	
Инновационная активность	[86; 62; 90]
Надежность	[90; 91; 99]
Риск использования	[62; 63; 86; 90; 91; 92]

Источник: составлено автором.

В результате анализа моделей принятия инновационных технологий со стороны компаний – конечных потребителей выделен ряд наиболее значимых факторов, формирующих решение пользователя о принятии моделей активного потребителя.

Для исследования ранее обозначенных факторов принятия моделей активного потребителя проведен качественный этап анализа с целью верификации выявленных факторов и детальной разработки анкеты для последующего количественного анализа.

Качественный этап состоит из глубинных полуструктурированных интервью с 23 представителями электроэнергетических компаний, а также компаний – потребителей электроэнергии.

В качестве объекта проведения интервью выбраны сотрудники электроэнергетических компаний, таких как энергосбытовые, электросетевые и генерирующие, компании коммерческой инфраструктуры оптового рынка электроэнергии и мощности. Сторону потребителей составили представители крупных строительных компаний, собственники коммерческой недвижимости, розничной торговли, а также иные представителя малого и среднего предпринимательства.

Каждый из респондентов занимает руководящую должность уровня начальника подразделения и выше и:

- имеет научный интерес в области цифровых технологий в сфере электроэнергетики;

- имеет представление или знает примеры использования технологий Индустрии 4.0 в электроэнергетике;

- потенциально заинтересован в проведении тестирования моделей активного потребителя или применяемых в них технологий;

- имеет непосредственное отношение к сфере инновационного развития в электроэнергетике.

Также автору удалось провести интервью основателя компании, производящей и поставляющей системы интеллектуального учета и управления спросом на территории Европейского союза.

По результатам анализа интервью подтверждены и актуализированы факторы, влияющие на принятие моделей активного потребителя среди компаний – конечных потребителей.

Приложение В
(информационное)

Результаты верификации моделей активного потребителя и положительных экономических эффектов от их внедрения

В качестве объекта проведения интервью выбраны сотрудники электроэнергетических компаний, таких как энергосбытовые, электросетевые и генерирующие. Каждый из респондентов занимает руководящую должность и имеет:

- научный интерес в области цифровых технологий в сфере электроэнергетики;
- непосредственное отношение к сфере инновационного развития в электроэнергетике.

По результатам анализа интервью подтверждены и актуализированы эффекты от распространения моделей активного потребителя, а также разработана анкета для балльной оценки эффектов.

Для измерения выявленных эффектов от распространения моделей активного потребителя сформулированы утверждения анкеты. Респондентам предлагалось выбрать степень согласия с утверждениями, приведенными в анкете. Для измерения степени согласия использована семибалльная шкала Лайкерта, где 1 – совершенно не согласен, 4 – не знаю, согласен или не согласен, 7 – полностью согласен. Вопросы анкет, а также средневзвешенные оценки экспертов с разбивкой по моделям активного потребителя представлены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Средневзвешенные оценки эффектов с разбивкой по моделям активного потребителя

Эффект от распространения модели активного потребителя	Модель активного потребителя				
	Базовая модель активного потребителя	Активный энерго-комплекс / микрогрид	Энергетическая ячейка	P2P-модель / интернет энергии	Агрегатор нагрузки
1	2	3	4	5	6
Снижение затрат на приобретение электроэнергии для конечных потребителей	4,0	5,7	6,0	4,3	6,0
Снижение равновесной цены на РСВ за счет сдвига и сглаживания пиков потребления	4,0	6,0	5,0	4,3	6,7
Замещение гибкой нагрузкой дорогих и неэффективных мощностей на оптовом рынке на среднесрочном горизонте	4,7	6,0	6,0	5,7	6,7

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6
Снижение потребностей в инвестициях в новые генерирующие мощности для покрытия пикового потребления в долгосрочной перспективе	3,0	4,7	5,0	4,7	5,7
Снижение потребностей в инвестициях в новые сетевые мощности для покрытия пикового потребления в долгосрочной перспективе	4,3	5,7	4,7	4,3	5,0
Снижение потерь в сетях вследствие оптимизации маршрутов перетоков	4,3	6,0	6,0	5,7	4,7
Снижение объемов технологических и коммерческих потерь в сетях низкого напряжения	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Наиболее эффективная интеграция распределенной и ВИЭ-генерации	4,7	5,0	4,7	3,7	2,0
Снижение эксплуатационных расходов и повышение надежности электроснабжения вследствие предиктивной аналитики оборудования	3,0	6,0	6,0	4,7	3,0
Повышение эффективности участия в программах управления спросом вследствие более глубокого анализа паттернов поведения конечных потребителей	5,0	6,0	6,0	6,0	5,3
Создание дополнительного поступления доходов компаний электроэнергетики за счет оказания системных и вспомогательных услуг	3,0	5,3	5,3	5,0	5,7
Создание дополнительного поступления доходов компаний электроэнергетики за счет коммерциализации больших данных об энергопотреблении	4,3	5,3	5,7	5,3	4,7
Повышение уровня экологичности энергосистемы и снижение долей выбросов CO ₂	4,3	6,0	6,0	5,7	6,3

Источник: составлено автором.

Приложение Г
(информационное)

Модельный расчет скорректированного LCOE

Таблица Г.1 – График потребления промышленного предприятия в Сценарии 1
В мегаваттах в час

Время суток	Средняя потребляемая энергия
00:00-01:00	14,5
01:00-02:00	14,0
02:00-03:00	13,8
03:00-04:00	13,5
04:00-05:00	13,0
05:00-06:00	14,5
06:00-07:00	17,0
07:00-08:00	19,5
08:00-09:00	22,0
09:00-10:00	23,0
10:00-11:00	21,0
11:00-12:00	19,5
12:00-13:00	21,0
13:00-14:00	22,0
14:00-15:00	21,0
15:00-16:00	20,5
16:00-17:00	20,5
17:00-18:00	21,0
18:00-19:00	20,5
19:00-20:00	20,0
20:00-21:00	18,0
21:00-22:00	15,0
22:00-23:00	15,0
23:00-24:00	14,0

Источник: составлено автором.

Таблица Г.2 – График потребления промышленного предприятия в Сценарии 2
В мегаваттах в час

Время суток	Средняя потребляемая энергия, Сценарий 1	Оптимизация пиков потребления	Снижение потерь в сетях на 6,5%	Средняя потребляемая энергия, Сценарий 2
1	2	3	4	5
00:00-01:00	14,5	15,5	1,0	14,5
01:00-02:00	14,0	15,0	1,0	14,0
02:00-03:00	13,8	14,8	1,0	13,8
03:00-04:00	13,5	14,5	0,9	13,6
04:00-05:00	13,0	14,5	0,9	13,6
05:00-06:00	14,5	17,0	1,1	15,9

Продолжение таблицы Г.2

1	2	3	4	5
06:00-07:00	17,0	19,0	1,2	17,8
07:00-08:00	19,5	19,5	1,3	18,2
08:00-09:00	22,0	20,0	1,3	18,7
09:00-10:00	23,0	20,0	1,3	18,7
10:00-11:00	21,0	20,0	1,3	18,7
11:00-12:00	19,5	19,5	1,3	18,2
12:00-13:00	21,0	20,0	1,3	18,7
13:00-14:00	22,0	20,0	1,3	18,7
14:00-15:00	21,0	20,0	1,3	18,7
15:00-16:00	20,5	20,5	1,3	19,2
16:00-17:00	20,5	20,5	1,3	19,2
17:00-18:00	21,0	20,0	1,3	18,7
18:00-19:00	20,5	20,5	1,3	19,2
19:00-20:00	20,0	20,0	1,3	18,7
20:00-21:00	18,0	18,0	1,2	16,8
21:00-22:00	15,0	15,0	1,0	14,0
22:00-23:00	15,0	15,0	1,0	14,0
23:00-24:00	14,0	15,0	1,0	14,0

Источник: составлено автором.

Таблица Г.3 – Результаты расчета скорректированного LCOE для Сценария 1 и Сценария 2

Показатель	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Сценарий 1			
Годовой расход на покупку электроэнергии, руб.	399 585 482,6	415 968 487,4	432 607 226,9
Годовой расход на покупку мощности, руб.	276 763 956,5	288 111 278,7	299 635 729,8
Годовой расход итого, руб.	676 349 439,1	704 079 766,1	732 242 956,7
Годовое энергопотребление, МВт*ч	145 539,9	145 539,9	145 539,9
Скорректированный LCOE, руб./МВт*ч	4 936,4		
Сценарий 2			
Годовой расход на покупку электроэнергии, руб.	323 121 468,5	336 369 448,7	349 824 226,6
Годовой расход на покупку мощности, руб.	230 636 630,4	240 092 732,2	249 696 441,5
Годовой размер бонуса за оказание услуг по управлению спросом, руб.	16 243 824,0	16 909 820,8	17 586 213,6
Годовой расход итого, руб.	537 514 274,9	559 552 360,1	581 934 454,5
Годовое энергопотребление, МВт*ч	136 079,8	136 079,8	136 079,8
Скорректированный LCOE, руб./МВт*ч	4 195,8		

Источник: составлено автором.

Приложение Д
(информационное)

Опросный лист оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя

Направление «Организационная готовность»

1. Наличие разработанного бизнес-кейса применения модели активного потребителя

1.1. Ваша организация определила бизнес-кейс, который возможно решить с помощью внедрения применения модели активного потребителя?

- 1) Еще нет
- 2) Пока нет, но планируем это сделать
- 3) Мы думаем о том, как это сделать
- 4) Мы определили возможные варианты применения модели активного потребителя
- 5) Мы разработали конкретный вариант использования применения модели активного потребителя

1.2. Ваша организация определила ключевые показатели эффективности для определения успешности применения модели активного потребителя?

- 1) Еще нет
- 2) Пока нет, но планируем это сделать
- 3) Мы думаем о том, как это сделать
- 4) Мы определили возможные показатели эффективности
- 5) Мы определили ключевые показатели эффективности и можем их измерить

2. Доступность ресурсов организации и поддержка со стороны руководства

2.1. Ваша организация располагает свободными ресурсами, которые доступны для перераспределения по крайней мере в один пилотный проект?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы находимся в поиске доступных ресурсов
- 3) Мы определили несколько потенциальных источников ресурсов
- 4) Да, в организации будут доступные свободные ресурсы при возникновении необходимости
- 5) Да, свободные ресурсы доступны уже сейчас

2.2. Высшее руководство вашей организации стремится поддерживать инициативы по внедрению моделей активного потребителя, поскольку они обладают потенциалом к повышению конкурентоспособности и/или операционной эффективности.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

3. Зрелость процессного взаимодействия с органами-регуляторами

3.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают навыками и опытом в области взаимодействия с органами-регуляторами?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов (внутренних и внешних)
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть небольшая команда
- 5) Да, у нас есть отдельная профильная команда

3.2. В Вашей организации работают специалисты, которые могут самостоятельно выстраивать взаимоотношения с органами власти?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть специалисты, обладающие определенными навыками в области построения взаимоотношений с органами власти
- 5) Да, у нас есть профильная команда в организации, специалисты которой обладают большим опытом в сфере построения взаимоотношений с органами власти

4. Зрелость процессного взаимодействия с энергокомпаниями

4.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают навыками и опытом в области взаимодействия с энергокомпаниями?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов (внутренних и внешних)
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть небольшая команда
- 5) Да, у нас есть отдельная профильная команда

4.2. В Вашей организации работают специалисты, которые могут самостоятельно выстраивать взаимоотношения с энергокомпаниями?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть специалисты, обладающие определенными навыками в области построения взаимоотношений с энергокомпаниями
- 5) Да, у нас есть профильная команда в организации, специалисты которой обладают большим опытом в сфере построения взаимоотношений с энергокомпаниями

Направление «Внутренние компетенции организации»

5. Опыт и уровень экспертизы сотрудников организации в сфере цифровых технологий

5.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают навыками и компетенциями в сфере разработки и внедрения цифровых технологий?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы активно формируем подобную команду
- 3) Нет, но у нашей организации есть установленные партнерские отношения с внешними экспертами, обладающими необходимым опытом
- 4) Да, но сотрудники не объединены в единую команду
- 5) Да, у нас есть профильная команда специалистов по внедрению цифровых технологий

5.2. Сотрудники организации обладают опытом внедрения ИТ-платформ, а также интеграции различных устройств и оборудования в единую инфраструктуру. Специалисты организации самостоятельно осуществляют развертывание, управление и поддержку цифровых систем организации

- 1) Нет, под каждую задачу привлекаются отдельные подрядчики
- 2) Нет, у нас есть единый партнер, осуществляющий внедрение, интеграцию и управление ИТ инфраструктурой организации
- 3) Нет, специалисты организации самостоятельно управляют и поддерживают существующие системы, внедрение и интеграция новых систем осуществляется ИТ-интегратором

- 4) Да, специалисты организации самостоятельно осуществляют развертывание, управление и поддержку ИТ-инфраструктуры организации с привлечением внешних экспертов для реализации крупных проектов
- 5) Да, специалисты организации самостоятельно осуществляют проектирование, разработку, внедрение и поддержку всех используемых в организации цифровых систем

5.3. В организации работают сотрудники, обладающие высоким уровнем экспертизы в части прогнозирования необходимого количества времени, трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для реализации цифровых проектов.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

6. Опыт сотрудников сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках

6.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают навыками и опытом в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов (внутренних и внешних)
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть небольшая команда
- 5) Да, у нас есть отдельная профильная команда

6.2. В Вашей организации работают сотрудники, которые могут самостоятельно разработать стратегии участия на розничном рынке электроэнергии?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть специалисты, обладающие определенными навыками в области участия на розничном рынке электроэнергии

- 5) Да, у нас есть профильная команда в организации, специалисты которой обладают большим опытом в сфере электроэнергетики и ценообразования на розничных рынках

7. Опыт в сфере управления данными и их обработки

7.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают навыками и опытом в области управления данными и их обработки?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов (внутренних и внешних)
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть небольшая команда
- 5) Да, у нас есть отдельная профильная команда аналитиков цифровых данных

7.2. В Вашей организации работают аналитики, которые могут самостоятельно разработать алгоритмы обработки и анализа данных?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть аналитики, обладающие определенными навыками в области построения цифровые аналитики
- 5) Да, у нас есть профильная команда в организации, специалисты которой обладают большим опытом в сфере аналитики данных в системах на базе технологий Индустрии 4.0

Направление «Инфраструктурная готовность организации»

8. Уровень зрелости инфраструктуры организации

8.1. Инфраструктура Вашей организации позволяет работать с большим количеством подключенных устройств, обеспечивает возможность интеграции и обмена данными между различными устройствами и системами, а также обладает необходимой вычислительной мощностью для обработки и анализа передаваемых данных.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

8.2. Ваша текущая архитектура может автоматически собирать и обработать данные из множественных источников

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

9. Уровень развития энергетических и цифровых технологий

9.1. Электроэнергетическая инфраструктура Вашей организации может быть подключена к цифровым устройства сбора данных и управления, обеспечивает возможность интеграции и обмена данными между энергетическими устройствами и цифровыми системами.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

9.2. Ваша текущая электроэнергетическая инфраструктура способна автоматически собирать и направлять данные в ИТ-систему.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

10. Уровень развития технологий защиты и безопасности данных

10.1. Ваша организация использует надежные методы защиты данных? Там, где это возможно, данные методы будут применены при развертывании технологий Индустрии 4.0?

- 1) Мы еще не думали о защите данных
- 2) Мы уже начали изучать механизмы защиты данных в системах технологий Индустрии 4.0
- 3) Мы уже определили целевые механизмы защиты данных, а также проанализировали применимость существующих механизмов для защиты данных

- 4) Да, мы уже разработали решение для обеспечения безопасности данных и систем, но еще не внедрили его
- 5) Да, у нас разработаны надежные методы защиты данных, методы уже внедрены и апробированы на практике

10.2. В вашей организации разработаны решения для обеспечения безопасности цифровых данных. Руководство организации обеспечивает финансирование развития решений в области безопасности собираемых и обрабатываемых данных.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

Направление «Специфика производственного процесса»

11. Возможность гибко управлять производственным процессом

11.1. Производственный процесс Вашей организации обладает гибкостью и может быть замедлен и ускорен по требованию. Организация не является предприятием непрерывного цикла.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

11.2. Замедление или ускорение всего производства не наносит ущерба оборудованию и не приводит к снижению эффективности.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

12. Наличие устройств с высокой маневренностью энергопотребления

12.1. В Вашей организации большая часть устройств обладает высокой маневренностью энергопотребления и может оперативно увеличивать или снижать потребляемую мощность.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

12.2. Темпы замедления или ускорения потребления мощности не приводят к ухудшению технико-экономических показателей оборудования.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

13. Наличие инерционных параметров производственного процесса

13.1. В Вашей организации большая часть энергопотребления приходится на устройства с высокой маневренностью и высоким уровнем энергопотребления, такие как осветительные, нагревательные или климатические устройства.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

13.2. Краткосрочное изменение режима работы осветительных, нагревательных или климатических устройств не оказывает существенного влияния на производственный процесс, работу здания или персонал.

- 1) Категорически не согласен
- 2) Не согласен
- 3) Нейтрально
- 4) Согласен
- 5) Полностью согласен

Направление «Финансовая готовность»**14. Доступность привлечения финансовых ресурсов**

14.1. Ваша организация способна привлечь заемные средства, которые будут направлены на внедрение модели активного потребителя и необходимого для этого энергетического и цифрового оборудования?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы находимся в поиске доступных источников заемных средств
- 3) Мы определили несколько потенциальных источников заемных средств
- 4) Да, для организации будут доступны источники заемных средств при возникновении необходимости
- 5) Да, источники заемных средств доступны уже сейчас

14.2. Ваша организация располагает свободными собственными финансовыми средствами, которые доступны для инвестирования в по крайней мере один пилотный проект?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы находимся в поиске доступных ресурсов
- 3) Мы определили несколько потенциальных источников финансирования
- 4) Да, в организации будут доступные источники финансирования при возникновении необходимости
- 5) Да, свободные источники финансирования доступны уже сейчас

15. Компетенции в сфере планирования затрат на внедрение

3.1. В Вашей организации уже есть одна или несколько команд специалистов, которые обладают компетенциями в сфере планирования затрат на внедрение?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов (внутренних и внешних)
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области
- 4) Да, у нас есть небольшая команда
- 5) Да, у нас есть отдельная профильная команда

3.2. В Вашей организации работают специалисты, которые могут самостоятельно планировать затраты на внедрение цифрового и энергетического оборудования, необходимого для той или иной модели активного потребителя?

- 1) Нет
- 2) Нет, но мы уже ищем подобных специалистов
- 3) Нет, у нас есть внешние эксперты в этой области

- 4) Да, у нас есть специалисты, обладающие определенными компетенциями в сфере планирования затрат на внедрение
- 5) Да, у нас есть профильная команда в организации, специалисты которой обладают большим опытом в сфере планирования затрат на внедрение

Приложение Е
(информационное)

Методология и расчетные формулы диффузионной модели Басса

Модель Басса в дискретном виде формулируется как соотношение (Е.1)

$$n(t) = p \times (M - N(t - 1)) + q \times \frac{N(t-1)}{M} \times (M - N(t - 1)) = n(t)_{\text{инн}} + n(t)_{\text{им}}, \quad (\text{Е.1})$$

где $n(t)$ – количество потребителей, принявших новшество в момент времени t ;
 $N(t - 1)$ – суммарное число потребителей, принявших новшество в течение предыдущего периода $(t - 1)$;
 M – потенциал рынка;
 p – коэффициент инновации;
 q – коэффициент имитации;
 $n(t)_{\text{инн}}$ – количество инноваторов, принявших новшество в момент времени t ;
 $n(t)_{\text{им}}$ – количество имитаторов, принявших новшество в момент времени t .

Первое слагаемое в формуле (Д.1) соответствует вкладу инноваторов в число покупок в момент времени t и пропорционально количеству пользователей, еще не купивших новшество, то есть сомножителю $(M - N(t - 1))$. В свою очередь, вклад имитаторов пропорционален как числу потребителей, еще не совершивших покупку, так и доле уже купивших новшество пользователей – $\frac{N(t-1)}{M} \times (M - N(t - 1))$.

В дискретной форме суммарное число потребителей, принявших новшество, выражается формулой (Е.2)

$$N(t) = N(t - 1) + n(t), \quad (\text{Е.2})$$

где $N(t)$ – суммарное число потребителей, принявших новшество.

Для удобства дальнейших вычислений выражение (Е.1) преобразовано к виду (Е.3)

$$n(t) = (p + q \times \frac{N(t-1)}{M}) (M - N(t - 1)). \quad (\text{Е.3})$$

Математическая модель Басса может быть представлена и в непрерывной форме (E.4)

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = (p + q \times \frac{N(t)}{M})(M - N(t)). \quad (\text{E.4})$$

Решение дифференциального уравнения (E.4) позволяет вывести ряд полезных соотношений (E.5) и (E.6) [129]

$$N(t) = M \times \left[\frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} \times e^{-(p+q)t}} \right], \quad (\text{E.5})$$

$$n(t) = M \times \left[\frac{p \times (p+q)^2 \times e^{-(p+q)t}}{(p+q \times e^{-(p+q)t})^2} \right]. \quad (\text{E.6})$$

В случае $p < q$ кривая $N(t)$ имеет S-образный вид с точкой перегиба T^* , определяемой соотношением (E.7)

$$T^* = \left[\frac{1}{p+q} \right] \times \ln \left(\frac{q}{p} \right). \quad (\text{E.7})$$

Важно отметить, что точка T^* в случае $p < q$ определяется как точка экстремума кривой $n(t)$, то есть является точкой наступления пика продаж.

Приложение Ж
(информационное)

**Анкета по определению уровня вероятности и последствий
для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя**

Организация _____

Добрый день, уважаемые коллеги!

Просим Вас принять участие в исследовании по определению уровня вероятности и последствий рисков проектов внедрения моделей активного потребителя.

Идентифицированные риски предлагается оценить при помощи матрицы последствий и вероятностей. Матрица последствий и вероятностей является средством объединения качественных и количественных оценок последствий и вероятностей и применяется для определения и ранжирования уровня риска.

Предлагается заполнить опросный лист, представленный на рисунке Ж.1, оценив риски: их вероятность реализации и последствия от реализации, а также предложить мероприятия по снижению данных рисков. Вероятность – шанс того, что риск может произойти. Шкала балльной оценки вероятности реализации риска представлена в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 – Таблица балльной оценки вероятности реализации риска

Значение балла	Оценка вероятности, соответствующая баллу
1	2
1	Слабовероятное событие (менее 10%) Событие может произойти при исключительных обстоятельствах

Продолжение таблицы Ж.1

1	2
2	Маловероятное событие (от 10 до 40%) Редкое событие, но уже имело место
3	Вероятное событие (от 40 до 60%) Событие может произойти при некоторых обстоятельствах или действиях
4	Возможное событие (от 60 до 90%) Событие может произойти при обычных обстоятельствах или регулярных действиях
5	Частое событие (более 90%) Событие ожидается при обычных обстоятельствах или регулярных действиях

Источник: составлено автором.

Последствие определяется как результат воздействия события риска на результат реализации проектов внедрения моделей активного потребителя. Шкала балльной оценки последствий реализации риска представлена в таблице Ж.2.

Таблица Ж.2 – Таблица балльной оценки последствий реализации риска

Характеристика	Балл 1	Балл 2	Балл 3	Балл 4	Балл 5
1	2	3	4	5	6
Срыв срока внедрения модели активного потребителя	Перенос срока отсутствует	Перенос срока незначительный, без наступления последствий	Перенос срока существенный, последствия устранимы	Перенос срока существенный, последствия трудно устранимы	Перенос срока, повлекший отказ от внедрения
Увеличение бюджета реализуемого проекта по внедрению модели активного потребителя	< 1%	> 1%, < 3%	> 3%, < 5%	> 5%, < 7%	> 7%

Продолжение таблицы Ж.2

1	2	3	4	5	6
Показатели в области качества составляющих внедряемой модели	Ухудшение качества качества практически незаметно	Ухудшение качества малой внедряемых элементов	Снижение качества требует дополнительной доработки после внедрения	Снижение качества требует существенной переработки после внедрения	Снижение качества вынуждает вернуться к ранее применяемым технологиям
Репутационные издержки	Репутационные издержки практически не выявляются	Репутационные издержки исправимы за короткий срок	Репутационные издержки исправимы за умеренный срок	Репутационные издержки исправимы за длительный срок	Репутационные издержки невозможны, могут повлечь, закрытие предприятия
Отклонение ожидания от результата внедрения моделей активного потребителя	Результат совпадает с ожиданием	Отклонениям подвержена незначительная часть показателей	Отклонениям подвержена значительная часть показателей	Отклонениям подвержена большая часть показателей проекта	Результат реализации проекта по внедрению бесполезен

Источник: составлено автором.

Для оценки рисков в опросном листе, приведенном на рисунке Ж.1, столбцы «Вероятность» заполняются баллами, определенным на основе шкалы определения вероятности, приведенной в таблице Ж.1, столбцы «Влияние» заполняются баллами, определенным на основе шкалы определения последствий, приведенной в таблице Ж.2, а столбец «Мероприятия по управлению риском» заполняется в свободной форме мероприятиями, способными снизить риск.

№	Наименование риска	Оценка текущего риска		Мероприятия по управлению риском	Оценка остаточного риска	
		Вероятность	Влияние		Вероятность	Влияние
1.1	Риск недооценки потребностей в финансовых ресурсах					
1.2	Риск нехватки свободных денежных средств					
1.3	Риск неблагоприятного колебания валютных курсов и процентных ставок					
2.1	Риск получение недостоверной информации о результатах внедрения моделей активного потребителя в иных компаниях					
2.2	Риск несогласованности внедряемых моделей активного потребителя с технологическим процессом в компании					
3.1	Риск недостатка квалифицированного персонала					
3.2	Риски несоблюдения требований по обеспечению информационной безопасности					
3.3	Риск неприятия сотрудниками внедряемых технологий					
4.1	Риск отсутствия необходимых стандартов для цифровых технологий					
4.2	Риск санкционных запретов и ограничений					
4.3	Риск недоработанности нормативного правового регулирования персональных данных и кибербезопасности					
5.1	Риск недооценки потребностей в оборудовании					
5.2	Риск неготовности инфраструктуры предприятия к внедрению цифровых технологий					
5.3	Риск отсутствия необходимых технологических решений или их низкое качество					

Источник: составлено автором.
Рисунок Ж.1 – Опросный лист

Приложение И
(информационное)

Результат оценки для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя

Таблица И.1 – Результат оценки для реестра рисков проектов внедрения моделей активного потребителя

Номер риска	Наименование риска	Оценка текущего риска		Мероприятия по управлению риском	Оценка остаточного риска	
		Вероятность	Влияние		Вероятность	Влияние
1	2	3	4	5	6	7
Финансовые риски						
1.1	Риск недооценки потребностей в финансовых ресурсах	3	5	Подробная проработка сметы проекта Привлечение внешних консультантов и подрядчиков для разработки проекта, обладающих релевантным опытом. Проектирование с учетом возможных санкционных ограничений на закупку оборудования Хеджирование рисков с поставщиками	3	4
1.2	Риск нехватки свободных денежных средств	3	5	Осуществление бюджетного и бизнес-планирования с учетом риск-ориентированного подхода Осуществление мониторинга коэффициентов ликвидности для поддержания возможности привлечения заемного финансирования Использование кредитных линий Привлечение финансирования из разных источников Использование механизмов льготного финансирования	3	4
1.3	Риск неблагоприятного колебания валютных курсов и процентных ставок	5	5	Использование форвардов, опционов и опционных коридоров для хеджирования валютного риска Уход от нефиксированных процентных ставок в кредитных договорах	4	4

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5	6	7
Управленческие риски						
2.1	Риск получения недостоверной информации о результатах внедрения моделей активного потребителя в иных компаниях	4	3	Привлечение внешних консультантов и подрядчиков для разработки проекта, обладающих релевантным опытом Соотнесение специфики своей компании с объектом бенчмаркинга при его проведении Разработка бизнес-кейса, учитывающего специфику компании, цели и ожидаемые результаты внедрения, необходимый объем ресурсов, а также ожидаемый экономический эффект	2	2
2.2	Риск несогласованности внедряемых моделей активного потребителя с технологическим процессом в компании	4	5	Анализ и описание технологических процессов, значимых для бизнес-модели предприятия, до начала внедрения цифровых технологий Согласование проектов по внедрению моделей активного потребителя с технологами предприятия Разработка комплексных дорожных карт внедрения	2	2
Риски недостатка компетенций						
3.1	Риск недостатка квалифицированного персонала	4	4	Проведение обучения по повышению уровня цифровых компетенций сотрудников Развитие системы мотивации персонала, повышение комфорта условий труда, проведение профориентационной работы	3	3
3.2	Риски несоблюдения требований по обеспечению информационной безопасности	4	3	Применение в организациях современных технологий защиты информации Осуществление инвестиций предприятием в данное направление. Внедрение международных стандартов систем менеджмента информационной безопасности	2	2
3.3	Риск неприятия сотрудниками внедряемых технологий	5	3	Проведение обучения по повышению уровня цифровых компетенций сотрудников Развитие системы мотивации персонала, повышение комфорта условий труда, проведение профориентационной работы Внедрение корпоративной культуры организации, мотивирующей использование актуальных цифровых технологий на всех уровнях организации	3	2

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5	6	7
Регуляторные риски						
4.1	Риск отсутствия необходимых стандартов для цифровых технологий	3	3	Мониторинг имеющихся отечественных и зарубежных стандартов Проактивное участие предприятий в формировании нормативной правовой базы	2	1
4.2	Риск санкционных запретов и ограничений	5	4	Регулярный анализ санкционных списков на предмет нахождения в них потенциальных контрагентов Планирование закупок отечественного оборудования или оборудования из стран дружественных юрисдикций Проектирование с учетом возможных санкционных ограничений на закупку оборудования	4	4
4.3	Риск недоработанности нормативного правового регулирования персональных данных и кибербезопасности	3	3	Мониторинг имеющихся отечественных и зарубежных стандартов Проактивное участие предприятий в формировании нормативной правовой базы	2	1
Технологические риски						
5.1	Риск недооценки потребностей в оборудовании	3	5	Подробная проработка сметы проекта Привлечение внешних консультантов и подрядчиков для разработки проекта, обладающих релевантным опытом	3	3
5.2	Риск неготовности инфраструктуры предприятия к внедрению цифровых технологий	3	4	Проведение своевременных структурных изменений в инфраструктуре организации Своевременная модернизация основных фондов	1	4
5.3	Риск отсутствия необходимых технологических решений или их низкое качество	3	4	Мониторинг технологических трендов и имеющегося на рынке оборудования Поиск технологий-аналогов и продуктов-заместителей Проектирование с учетом возможных санкционных ограничений на закупку оборудования Хеджирование рисков с поставщиками при помощи долгосрочных договоров Использование дружественных юрисдикций для закупки оборудования	2	2

Источник: составлено автором по результатам опросов экспертов.