

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель

Трачук Аркадий Владимирович,
доктор экономических наук, профессор

Москва – 2024

Диссертация представлена к публичному рассмотрению и защите в порядке, установленном ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» в соответствии с предоставленным правом самостоятельно присуждать ученые степени кандидата наук, ученые степени доктора наук согласно положениям пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

Публичное рассмотрение и защита диссертации состоится 6 июня 2024 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Финансового университета Д 505.001.102 по адресу: Москва, Ленинградский проспект, д. 55, Зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в диссертационном зале Библиотечно-информационного комплекса ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» по адресу: 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2, комн. 100, и на официальном сайте Финансового университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу: www.fa.ru.

Персональный состав диссертационного совета:

председатель – Трачук А.В., д.э.н., профессор;
заместитель председателя – Абдикеев Н.М., д.техн.н., профессор;
ученый секретарь – Погодина Т.В., д.э.н., профессор;

члены диссертационного совета:

Гаврилин Е.В., д.э.н.;
Гончаренко Л.П., д.э.н., профессор;
Кузнецов Н.В., д.э.н.;
Лосева О.В., д.э.н., доцент;
Мельник М.В., д.э.н., профессор;
Паштова Л.Г., д.э.н., доцент;
Ряховская А.Н., д.э.н., профессор;
Смирнов В.М., д.э.н., доцент;
Шаркова А.В., д.э.н., профессор;
Юданов А.Ю., д.э.н., профессор.

Автореферат диссертации разослан 8 апреля 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Финансового университета Д 505.001.102

Т.В. Погодина

I Общая характеристика работы

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, удешевление и улучшение характеристик систем накопления электроэнергии, внедрение интеллектуальных систем учета и систем управления, 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. Совместное влияние технологий цифрового перехода в электроэнергетике создает предпосылки для изменения роли конечных потребителей на розничном рынке: они перестают быть пассивными потребителями энергоресурсов в ценопринимательской позиции и стремятся активно участвовать в торговле электроэнергией и управлении своей нагрузкой. Такие потребители получили название «активные потребители» или «просьюмеры».

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 документах 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 снизить темпы роста цен на электроэнергию и привлечь дополнительные инвестиции в развитие систем управления спросом на стороне потребителей.

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 уделяли 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 работы 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, а также на его субъекты.

По результатам анализа научной литературы можно утверждать, что субъекты розничного рынка электроэнергии и цифровой энергетический переход на нем не получили необходимого освещения. 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 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 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 диссертации 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, Министерства энергетики Российской Федерации, 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».

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; 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, выделены потенциальные эффекты, создаваемые каждой из моделей.

Практическая значимость работы. На концептуальном уровне предложена целевая модель розничного рынка электроэнергии, учитывающая внедрение моделей активного потребителя; 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 проведенного 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 применялись 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 «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.

II Основное содержание работы

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 этих 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.

Проведенный анализ российских и зарубежных исследований позволил выявить, что технологическим базисом цифрового перехода в электроэнергетике на стороне розничных потребителей являются технологии распределенной генерации (далее – РГ), систем накопления электроэнергии (далее – СНЭ), интеллектуальных систем учета (далее – ИСУ).

Подходы к применению РГ, предложенные в работе 2018 г. Налбандяна Г.Г. и Жолнерчик С.С. и исследовании 2018 г. Трачука А.В. и Линдер Н.В., особенности применения СНЭ, рассмотренные в публикации 2019 г. инфраструктурного центра «Энерджинет», а также исследования роли ИСУ в статье 2018 г. Ховаловой Т.В. и

Жолнерчик С.С и работе 2019 г. Кузьмина П.С. позволили выявить спектр эффектов от внедрения современных энергетических технологий и изложить его с учетом специфики функционирования российского розничного рынка и находящихся на нем субъектов. Впервые представлена классификация эффектов в разбивке по ключевым энергетическим технологиям и субъектам розничного рынка.

В работе впервые показано, что именно применение цифровых решений на уровне взаимодействия между потребителями и энергокомпаниями позволяет достичь широкого спектра эффектов от внедрения современных энергетических технологий за счет снижения транзакционных издержек, а также управления и координации локальных децентрализованных сетей. Эффекты от внедрения современных энергетических технологий для субъектов розничного рынка, проявляющиеся в условиях цифровой трансформации в отрасли, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Эффекты от внедрения современных энергетических технологий

Субъект розничного рынка	Распределенная генерация	Системы накопления электроэнергии	Интеллектуальные системы учета электроэнергии
Население и иные субъекты розничного рынка, приравненные к нему	1) Бесперебойное снабжение производства, энергетическая безопасность и автономность	1) Непрерывное обеспечение энергией при поломках во внешних сетях или внутренних генераторах	1) Детекция наименее энергоэффективных приборов 2) Установление энергетического режима, минимизирующего цену потребленной энергии 3) Предиктивный контроль оборудования
Торговые центры, бизнес-центры и иная коммерческая недвижимость, производящие, потребляющие электроэнергию на розничном рынке	2) Переключение потребления электроэнергии из сети на внутреннюю выработку (в том числе продажа избытков выработки в сеть) и наоборот, исходя из ценовых сигналов 3) Новый поток доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг	2) Обеспечение непрерывности технологического процесса и повышение качества электроэнергии для чувствительного оборудования 3) Новый поток доходов за счет автоматизированного участия на рынке системных услуг	4) Социальный и родительский контроль посредством мониторинга работающего оборудования 5) Выявление кейсов неправомерного использования приборов и оборудования 6) Предоставление данных для участия в программах по агрегации нагрузки
Исполнители услуг в сфере ЖКХ	4) Оптимизация энергетических режимов 5) Уменьшение доли выбросов углекислого газа	4) Оптимизация энергетических режимов	1) Повышение энергоэффективности жилой и коммерческой недвижимости 2) Выявление незаконного присоединения к электросетям

Источник: составлено автором.

Анализ зарубежного и отечественного опыта функционирования децентрализованных энергетических систем (например, в работе 2020 г. Брауна Д. и

исследовании «Архитектура интернета энергии IDEA») позволил сделать вывод, что эффекты от внедрения новых энергетических технологий проявляются значительно сильнее при комплексном внедрении совместно с цифровыми решениями, такими как интернет вещей, машинное обучение, аналитика больших данных и технология распределенных реестров, что подтверждено в расчете третьей части CDM-модели: решения, включающие в себя наибольшее количество современных энергетических технологий и наиболее полно использующие цифровые технологии, продемонстрировали большие коэффициенты эластичности инвестиций в проекты их внедрения, чем более простые модели.

Совокупность названных технологий и эффектов от их внедрения позволяет розничным потребителям не только снижать нагрузку в часы с пиковой ценой, но и использовать свои генерирующие или накопительные мощности для собственных нужд и для поставки обратно в сеть. При этом изменение поведения не ограничивается единичными случаями: при помощи цифровых технологий потребитель может совместно с иными потребителями оптимизировать совокупную нагрузку. Таким образом, формируется новый, ранее не существовавший тип потребителя, участвующего в активной торговле электроэнергией и обладающего большей энергоэффективностью, – активный потребитель или просьюмер.

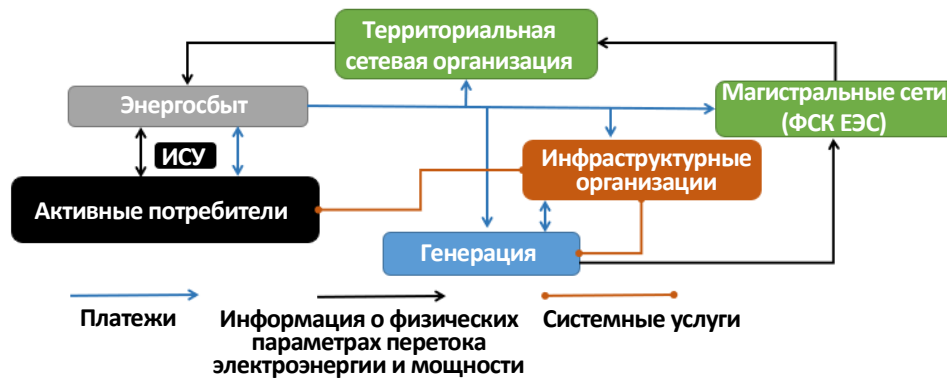
2) Сформирована классификация моделей активного потребителя, применимых на российском розничном рынке электроэнергии, формирующихся в результате внедрения новых технологий и изменения поведения субъектов розничного рынка электроэнергии. Выделено пять типов моделей активного потребителя: базовая модель, активный энергокомплекс, энергетическая ячейка, интернет энергии и агрегатор нагрузки. Показано, что распространение моделей активного потребителя способствует формированию новых ценностных предложений и для конечных потребителей на розничном рынке, и для компаний электроэнергетики.

В российских публикациях классификация моделей активного потребителя ранее не представлялась, хотя имеется ряд аналитических отчетов, посвященных пилотным проектам, например отчет 2020 г. инфраструктурного центра «Энерджинет» или работа 2018 г. АО «СО ЕЭС». В зарубежных исследованиях, например в работе 2019 г. Д. Брауна или публикации 2018 г. Р. Брэя, представлены подходы к классификации моделей активного потребителя, исходя из характера их взаимодействия с компаниями энергетики, однако данные модели ориентированы на особенности функционирования оптового рынка электроэнергии Великобритании, учитывают специфику британского тарифного регулирования, а также предполагают возможное существование моделей,

не свойственных российской регуляторной среде, и в целом не могут быть применены в условиях российского оптового и розничного рынка электроэнергии и мощности.

В исследовании представлена классификация моделей активного потребителя, адаптированных к особенностям взаимодействия на российском оптовом и розничном рынке и учитывающая опыт проведения отечественных пилотных проектов по вовлечению субъектов розничного рынка в активную торговлю электроэнергией. Выделено пять типов моделей активного потребителя.

1) Базовая модель. В базовой модели применяются все энергетические технологии Индустрии 4.0: РГ, СНЭ, ИСУ. Модель характеризуется двунаправленностью энергетических, информационных и денежных потоков при взаимодействии потребителя с энергокомпаниями (в том числе инфраструктурными), что позволяет ему покупать электроэнергию из единой сети и наоборот, а также оказывать системные услуги, что отражено на рисунке 1. Однако данная модель обладает существенным недостатком – при прямом взаимодействии с энергокомпаниями единой энергетической системы (далее – ЕЭС) уровень транзакционных издержек будет существенно превышать объем потенциальных выгод от торговли электроэнергией и управления спросом, что делает эту модель нежизнеспособной на практике.

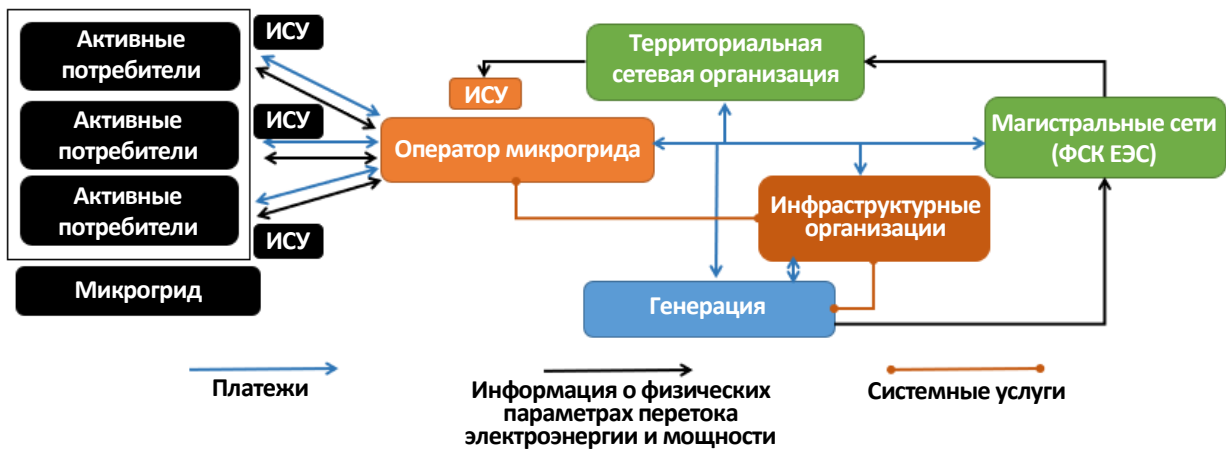


Источник: составлено автором.

Рисунок 1 – Схема взаимодействия в базовой модели

2) Активный энергокомплекс / микрогрид. Технологическим базисом этой модели также могут являться все энергетические технологии Индустрии 4.0. В данном случае локальная энергетическая сеть, состоящая из активных потребителей, оснащенных РГ, СНЭ и ИСУ, обособлена и управляется при помощи нового субъекта – цифрового оператора микрогрида, который балансирует выработку и потребление электроэнергии, при этом обеспечивая бесперебойное и качественное электроснабжение по минимально возможной цене. Также оператор может закупать электроэнергию из ЕЭС в часы, когда цена собственной выработки превышает цену в ЕЭС или, наоборот, продавать излишки выработки во внешнюю сеть. Схема модели представлена на рисунке 2. Дополнительный

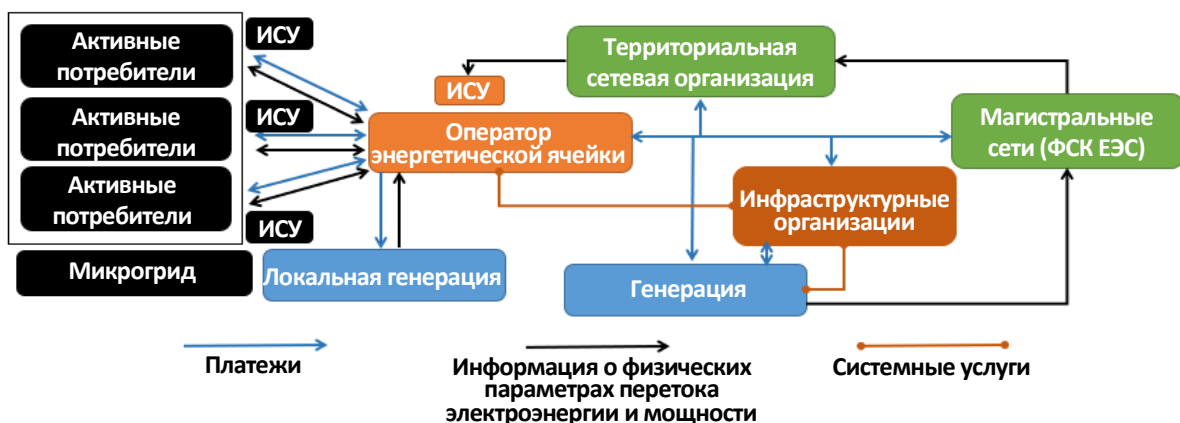
поток доходов создается за счет реализации системных услуг: управления спросом, частотного регулирования и компенсации реактивной мощности.



Источник: составлено автором.

Рисунок 2 – Схема взаимодействия в модели активного энергокомплекса / микрогрида

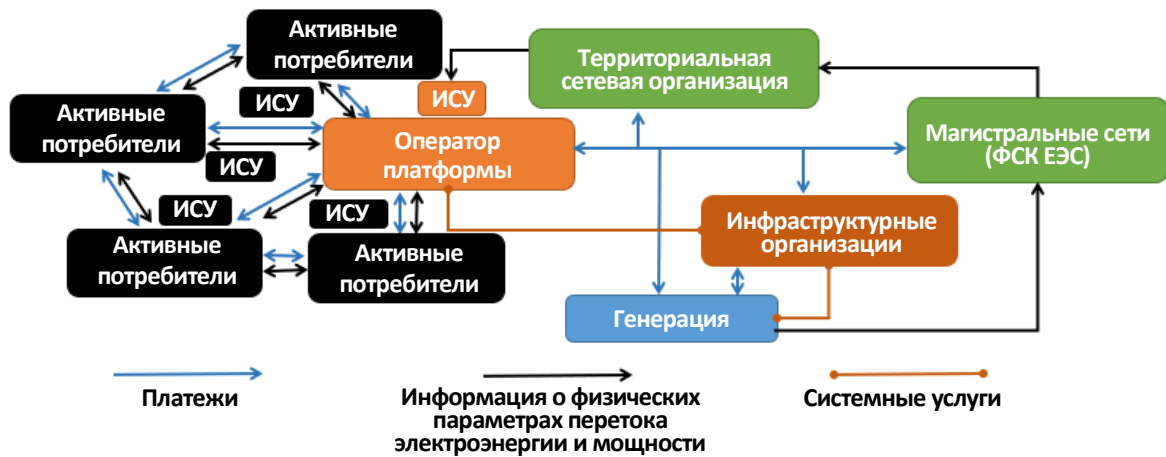
3) Энергетическая ячейка. Модель энергетической ячейки, представленная на рисунке 3, имеет много общих черт с моделью активного энергокомплекса; основным отличием является то, что в энергетическую ячейку входят компании – поставщики электроэнергии на розничном рынке, технологически соединенные с активными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



Источник: составлено автором.

Рисунок 3 – Схема взаимодействия в модели энергетической ячейки

4) P2P-модель / интернет энергии. Ключевой особенностью этой модели является отсутствие 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 отражено на рисунке 4.

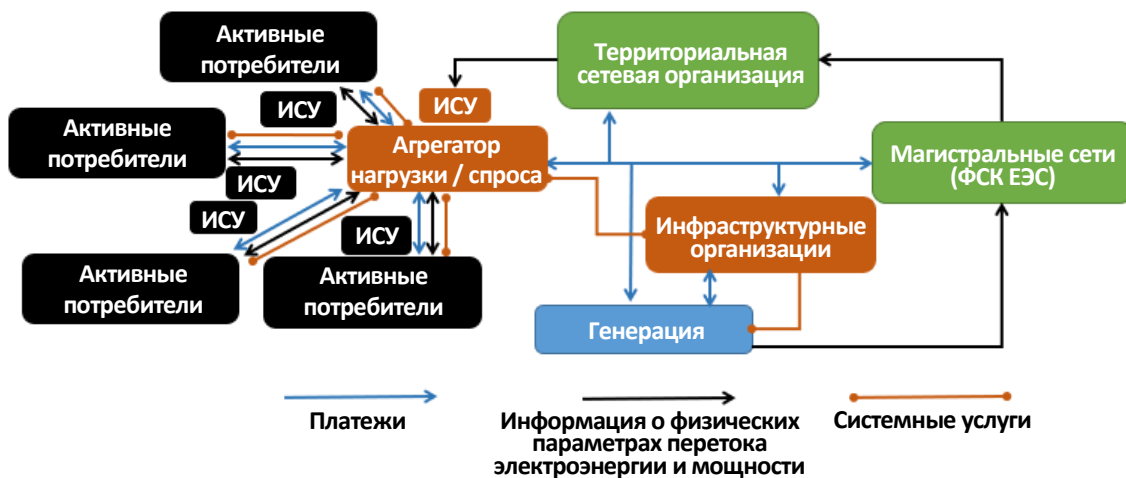


Источник: составлено автором.

Рисунок 4 – Схема взаимодействия в модели интернета энергии

Данный подход повышает 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 цен с очень высокой частотой дискретизации. При этом сохраняется возможность принимать участие в торгах с единой энергосистемой и оказывать системные услуги.

5) Агрегатор нагрузки. Основной деятельностью агрегатора нагрузки является сбор и агрегация разрозненных потребителей розничного рынка и их потенциально управляемых мощностей в единый объем управляемой 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 согласно рисунку 5.



Источник: составлено автором.

Рисунок 5 – Организация взаимодействия в модели агрегатора нагрузки

На примере рассмотренных моделей активного потребителя показано, 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, снижения эксплуатационных расходов и повышения надежности электроснабжения, так и для компаний электроэнергетики в виде формирования дополнительного поступления доходов от оказания услуг оператора модели активного потребителя и прочих услуг.

Для верификации классификации моделей и потенциальных эффектов от их распространения проведен опрос экспертов при помощи 7-балльной шкалы Лайкерта: респондентам предлагалось выбрать степень согласия с утверждениями о достижимости эффектов при распространении той или иной модели. Результаты обработки анкет позволили верифицировать модели «Активный энергокомплекс», «Энергетическая ячейка», «Интернет энергии» и «Агрегатор нагрузки» и подтвердить для них способность формировать условия для создания новых ценностных предложений. Низкий уровень оценок по всем эффектам для модели «Базовая модель активного потребителя» подтвердил ранее выдвинутый тезис о том, что она может существовать лишь в теории вследствие высоких транзакционных издержек. Таким образом, базовая модель была исключена из дальнейшего рассмотрения.

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 и органами-регуляторами.

Для проведения анализа зависимости принятия решения о внедрении модели активного потребителя от ряда факторов и анализа достижения положительных экономических эффектов при вложениях участников розничного рынка электроэнергии в проекты внедрения моделей активного потребителя использовалась структурная CDM-модель. Спецификация первой части данной математической модели имеет вид, выраженный формулами (1)-(2)

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

где D_i – переменная, которая принимает значение 1, если компания решает инвестировать во внедрение модели активного потребителя, и 0 – если нет;

D_i^* – скрытая переменная;

d_i – факторы, влияющие на принятие решения компанией об инвестировании во внедрение модели активного потребителя;
 x – вектор-столбец параметров модели;
 ε_i – вектор-столбец случайных ошибок;
 ϑ – пороговое значение (критерий выбора).

Второе соотношение в цензурированной регрессии Хекмана описывает относительную величину инвестиций при принятии положительного решения об осуществлении вложений, которая выражена как объем 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 – переменная, которая принимает значение объема вложений в проект внедрения модели активного потребителя, если компания приняла решение об инвестициях, и 0 – если нет;

Inv_i^* – скрытая переменная;

d_i – факторы, описывающие относительную величину инвестиций в проект внедрения модели активного потребителя;

y – вектор-столбец параметров модели;

e_i – вектор-столбец случайных ошибок.

Вторая часть CDM-модели описывает зависимость вложений в различные элементы проекта по внедрению модели активного потребителя от общей интенсивности вложений в проект и выражается формулами (3)-(6)

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

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

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

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

где $RGInv_i$, $SNEInv_i$, $ISUInv_i$, $CTIInv_i$ – осуществление компанией инвестиций во внедрение распределенной генерации, систем накопления электроэнергии, интеллектуальных систем учета электроэнергии, цифровых технологий Индустрии 4.0 соответственно;

\overline{Inv}_i – средний объем инвестиций во внедрение модели активного потребителя, рассчитанный на одного сотрудника компании;

k_i – факторы, описывающие инвестиции во внедрение модели;

α – вектор-столбец параметров модели;

ϵ_i – вектор-столбец случайных ошибок.

Третья часть CDM-модели позволяет оценить взаимосвязь относительной величины инвестиций в различные элементы проекта по внедрению модели активного потребителя с достижением положительных экономических эффектов на стороне конечных потребителей и выражается формулой (7)

$$Eff_i = \overline{Inv}_i \alpha + RGInv_i \beta + SNEInv_i \beta + ISUInv_i \beta + CTIInv_i \beta + \sigma_i, \quad (7)$$

где Eff_i – экономический эффект от внедрения моделей активного потребителя;

α и β – вектор-столбцы параметров модели;

σ_i – вектор-столбец случайных ошибок.

Перед расчетом CDM-модели впервые выявлен и обоснован перечень факторов, оказывающих воздействие на восприятие и готовность к внедрению моделей активного потребителя среди конечных потребителей – участников розничного рынка: на основе теоретического обзора литературы выявлен и описан ряд факторов, далее факторы и их описание верифицированы и уточнены в ходе глубинных полуструктурированных интервью с 23 представителями электроэнергетических компаний, а также компаний – потребителей электроэнергии.

Для оценки силы влияния выявленных факторов подготовлены анкеты, далее направленные экспертам – представителям компаний розничной торговли, инвестиционно-строительных компаний, собственников коммерческой недвижимости, управляющих компаний ЖКХ и промышленности на уровне розничного рынка для сбора эмпирических данных и последующего расчета первой части CDM-модели. Всего собрано 203 ответа. Результаты выполненного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Силы влияния факторов на принятие компаниями решения о внедрении

Экзогенные переменные	Активный энергокомплекс / микрогрид	Энергетическая ячейка	P2P-модель / интернет энергии	Агрегатор нагрузки
1	2	3	4	5
Решение о вложениях в модель активного потребителя				
Техническая выполнимость (d_1)	0,506 (0,101)	0,493 (0,109)	0,635 (0,114)	0,356 (0,068)
Воспринятые преимущества (d_2)	0,350 (0,092)	0,368 (0,099)	0,341 (0,091)	0,324 (0,074)
Воспринятые риски (d_3)	0,331 (0,071)	0,301 (0,079)	0,368 (0,088)	0,158 (0,032)
Ожидаемые затраты (d_4)	0,498 (0,056)	0,502 (0,106)	0,601 (0,131)	0,249 (0,046)
Сложность освоения (d_5)	0,444 (0,051)	0,424 (0,074)	0,554 (0,097)	0,274 (0,052)
Влияние органов-регуляторов (d_6)	0,506 (0,101)	0,511 (0,112)	0,498 (0,085)	0,598 (0,136)
Влияние компаний электроэнергетики (d_7)	0,550 (0,092)	0,682 (0,108)	0,596 (0,091)	0,571 (0,105)
Давление рыночной среды (d_8)	0,131 (0,071)	0,117 (0,048)	0,124 (0,066)	0,152 (0,064)
Технологические изменения в отрасли (d_9)	0,098 (0,056)	0,103 (0,037)	0,128 (0,032)	0,100 (0,029)
Надежность (d_{10})	0,244 (0,051)	0,278 (0,066)	0,305 (0,074)	0,109 (0,019)

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Размер компании (log средней численности)	0,244 (0,051)	0,254 (0,045)	0,217 (0,023)	0,199 (0,021)
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 (log вложений в оборотные активы)	0,125 (0,048)	0,159 (0,043)	0,201 (0,069)	0,138 (0,058)
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>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 и опубликовано (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).

Полученные результаты (коэффициенты регрессии Хекмана) демонстрируют, что в случае внедрения активного энергокомплекса наиболее сильное влияние оказывают факторы технической выполнимости, влияния органов-регуляторов и влияния компаний электроэнергетической отрасли. Чуть менее высокую оценку получили фактор сложности освоения и ожидаемых затрат. Умеренные оценки выявлены для факторов надежности и рискованности. Слабое влияние оказывают факторы технологических изменений отрасли и давления со стороны конкурентов.

Схожими параметрами обладает «Энергетическая ячейка», однако в данной модели большей силой обладает фактор влияния компаний электроэнергетики, так как эта модель предполагает наличие розничной генерации, принадлежащей энергокомпаниям.

Для модели интернета энергии при общей схожести силы влияния факторов существенно выделяются факторы технической выполнимости и ожидаемых затрат, так как для данной модели требуется сложное и дорогостоящее цифровое оборудование.

Силы влияния факторов для модели агрегатора нагрузки наиболее существенно отличаются, в этой модели наиболее сильное влияние оказывают компании электроэнергетики и органы власти. Техническая выполнимость, ожидаемые затраты, сложность освоения и воспринятые преимущества оказывают умеренное воздействие. Влияние остальных факторов относительно невелико.

Таким образом, из анализа факторов можно сделать следующие выводы:

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

2) для распространения моделей активного потребителя необходимо эффективное взаимодействие потребителей с энергокомпаниями, создающее ценность для обеих сторон, а также с органами-регуляторами.

Проведенный анализ факторов послужил обоснованием выбора направлений оценки зрелости при разработке методики оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя.

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, и направленная на повышение энергоэффективности и создание новой ценности как для потребителей, так и самих компаний отрасли электроэнергетики.

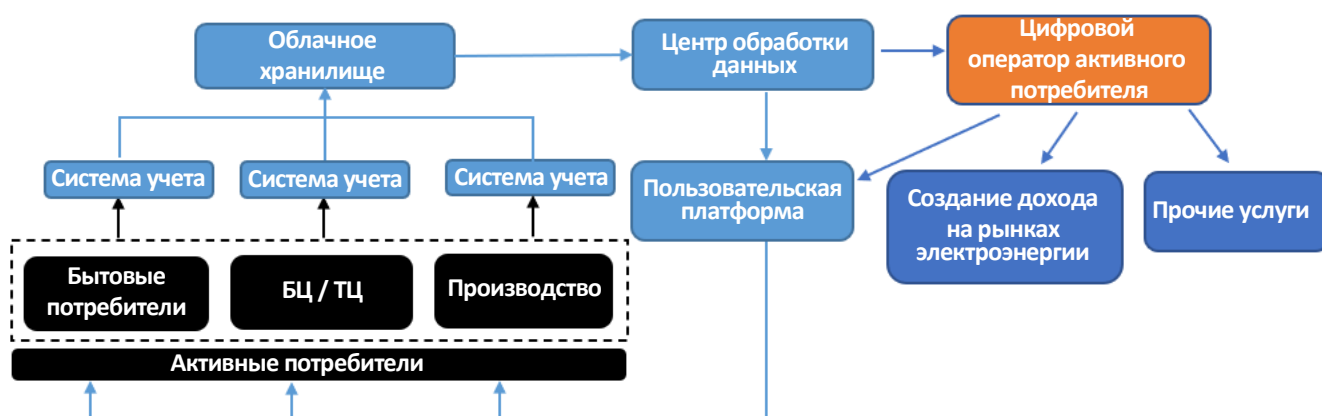
Расчет третьей части CDM-модели позволил сделать вывод, что теоретически обоснованные положительные эффекты от внедрения моделей активного потребителя достигаются при вложениях в энергетические технологии Индустрии 4.0, составляющие технологический базис данных моделей. Согласно полученным результатам, для каждой из моделей объемы инвестиций во внедрение положительно связаны с достигаемыми экономическими эффектами, что обосновывает целесообразность практического внедрения данных моделей и позволяет продолжить их рассмотрение как основу целевой модели розничного рынка электроэнергии в условиях цифровой трансформации электроэнергетической отрасли, а также сформировать целевую модель.

В предлагаемой целевой модели на стороне конечного потребителя могут располагаться РГ и СНЭ. В случае отсутствия генерирующих или накопительных мощностей розничный потребитель также будет являться важным элементом целевой модели за счет своей способности изменять нагрузку в определенные часы.

Взаимодействие между розничными потребителями и энергокомпаниями строится на основе ИСУ, которые обеспечат двунаправленные потоки данных о характеристиках энергопотребления и энерговыработки. В данные, агрегируемые ИСУ, может входить информация об объемах потребления в режиме реального времени, объемах энерговыработки на стороне конечного потребителя, объемах перетоков электроэнергии с соседними потребителями или с ЕЭС России. Также ИСУ могут собирать ряд косвенных

данных, получаемых на основе анализа характеристик энергетических режимов потребителя, у которого они установлены.

При таком характере взаимодействия возникает необходимость сбора, передачи и обработки данных, собираемых интеллектуальными приборами учета, и, соответственно, 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. Принципиальная схема взаимодействия розничных потребителей с цифровым оператором активного потребителя представлена на рисунке 6.



Источник: составлено автором.

Рисунок 6 – Схема взаимодействия с цифровым оператором активного потребителя

Цифровой оператор активного потребителя для каждой из рассмотренных моделей активного потребителя обеспечивает взаимодействие при помощи цифровой платформы, неся 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 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) для 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.

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 транслировать его конечным потребителям в зоне своей ответственности.

Цифровая платформа способна оказывать биллинговые услуги и ограничивать энергопотребление при помощи интеллектуальных систем учета в случае выявления неоплат.

Таким образом, реализуя свой функционал, цифровой оператор повышает энергоэффективность субъектов розничного рынка. Свод ключевых функций, выполняемых цифровым оператором активного потребителя, представлен на рисунке 7.



Источник: составлено автором.

Рисунок 7 – Ключевой функционал цифрового оператора активного потребителя

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.

Эффективность предложенной целевой модели розничного рынка показана при помощи анализа скорректированного показателя приведенной стоимости электроэнергии LCOE на примере четырех модельных кейсов. Расчет скорректированного LCOE в обобщенном виде может быть выражен в виде отношения суммы затрат на обеспечение электроснабжения к сумме потребленной электроэнергии. Результаты анализа модельных кейсов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – 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.

Анализ модельных кейсов демонстрирует эффективность предлагаемой целевой модели преобразования розничного рынка для ключевых субъектов: промышленных площадок и торгово-офисных центров. Экономический эффект в виде снижения LCOE лежит в интервале от 15,1% до 31,9%. Таким образом, целевая модель позволяет достичь заявленных эффектов в виде повышения энергоэффективности и создания новой ценности как для потребителей, так и для самих компаний отрасли электроэнергетики.

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.

Модели активного потребителя являются комплексными решениями, находящимися на пересечении цифровых и электроэнергетических технологий и, таким образом, включают в себя множество компонентов, которые объединяются в единую систему.

Выявленные и обоснованные ранее факторы, оказывающие воздействие на восприятие и готовность к внедрению моделей активного потребителя среди конечных потребителей, представлены в виде, более применимом для практического анализа уровня готовности субъектов розничного рынка для внедрения модели активного потребителя. Полученные пункты, раскрывающие факторы (аспекты успешности внедрения моделей активного потребителя), структурированы и сгруппированы по пяти направлениям, в рамках которых будет оцениваться готовность субъектов розничного рынка к внедрению модели: организационная готовность, внутренние компетенции организации, инфраструктурная и технологическая готовность, специфика производственного процесса и финансовая готовность.

Подготовлен опросный лист для оценки зрелости субъекта розничного рынка по каждому из представленных направлений и оценки потенциальной успешности реализации проекта внедрения модели активного потребителя. Каждое из направлений оценки ранжировано по трем уровням зрелости: низкому, среднему и высокому. По результатам опроса определяется уровень зрелости компании по направлениям.

Для верификации предложенной методики оценки готовности и ее практической применимости значимость аспектов внутри каждого из направлений рассчитана на основе опроса экспертов (23 представителей энергокомпаний, а также компаний – потребителей электроэнергии), где каждый из экспертов оценивал значимость аспектов по шкале от единицы (минимальное влияние на успешность внедрения модели) до пяти (высокая степень влияния на успешность внедрения модели). По результатам проведенного опроса рассчитаны значимости аспектов для каждого из направлений, которые используются для расчета итогового балла готовности по направлению оценки.

Далее экспертам предлагалось соотнести оценки уровня готовности по направлениям с типами моделей активного потребителя и определить, какой уровень зрелости по каждому из направлений оценки требуется для той или иной модели активного потребителя. По результатам опроса сформирована таблица 4.

Таблица 4 – Требуемые уровни зрелости для внедрения моделей активного потребителя

Направление оценки зрелости	Агрегатор нагрузки	Активный энергокомплекс / микрогрид / энергетическая ячейка	R2P 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 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.

Разработанная методика оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя призвана ускорить внедрение описанных моделей среди субъектов розничного рынка и приблизить наступление положительных экономических эффектов от их внедрения. Влияние разработанной методики на скорость

внедрения моделей активного потребителя представлено в диссертации при помощи диффузионной модели Басса.

III 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.

Поставленная цель – разработать целевую модель преобразования розничного рынка электроэнергии, соответствующую условиям цифровой трансформации электроэнергетической отрасли, в том числе учитывающую внедрение моделей активного потребителя, достигнута.

В исследовании решены следующие задачи: выявлены ключевые эффекты от технологий цифрового перехода в электроэнергетике 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 конечными потребителями, а также на их распространение среди участников розничного рынка; определена степень влияния выявленных факторов; проведено исследование эффективности внедрения моделей активного потребителя среди участников розничного рынка электрической энергии; разработана целевая модель преобразования розничного рынка электроэнергии, учитывающая внедрение моделей активного потребителя среди субъектов розничного рынка; проведен анализ экономического эффекта от внедрения моделей среди участников розничного рынка.

Показано, что эффекты, связанные с внедрением технологий четвертой промышленной революции, в сочетании с ключевыми энергетическими технологиями: распределенной генерацией, системами накопления электроэнергии и интеллектуальными системами учета, – позволяют сформулировать новые ценностные предложения как для конечных потребителей на розничном рынке, так и для энергокомпаний, а также сформировать целевую модель розничного рынка, в которой потребители вовлечены в двунаправленный обмен электроэнергией и информацией о ценовых и технических режимах их энергопотребления с энергокомпаниями в рамках одной из моделей активного потребителя, тем самым вовлекаясь в активную торговлю электроэнергией и повышая свою энергоэффективность. Показано, что в предлагаемой целевой модели для субъектов розничного рынка достигается положительный экономический эффект в виде снижения скорректированного показателя приведенной стоимости электроэнергии в интервале от 15,1% до 31,9%. Таким образом, реализация

предложенных к формированию целевой модели подходов, а также разработанной методики оценки готовности участников розничного рынка к внедрению модели активного потребителя должна способствовать развитию розничного рынка электроэнергии, вовлечению потребителей в активную торговлю электроэнергией и достижению положительных экономических эффектов, в том числе в виде повышения энергоэффективности потребителей розничного рынка.

IV Список работ, опубликованных по теме диссертации

*Публикации в рецензируемых научных изданиях,
определенных ВАК при Минобрнауки России:*

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.