

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

На правах рукописи

Мокрышев Иван Сергеевич

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ПРОЕКТАХ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика:
региональная экономика

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель

Федотова Марина Алексеевна,
доктор экономических наук, профессор

Москва – 2025

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1 Особенности пространственной организации объектов генерации электроэнергии	16
1.1 Пространственная организация экономики электроэнергетики.....	16
1.2 Электроэнергетика в энергетическом комплексе	29
1.3 Особенности работы электроэнергетического комплекса Российской Федерации	64
Глава 2 Оценка потенциала пространственной организации регионов по использованию распределенной генерации на основе ВИЭ	94
2.1 Классификация регионов по потенциалу использования распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии	94
2.2 Методический подход к оценке потенциала пространственной организации распределенной генерации на основе возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации	108
2.3 Потенциал улучшения экологической обстановки регионов Российской Федерации с помощью ВИЭ	122
Глава 3 Экономическая эффективность пространственной организации внедрения объектов распределенной генерации с использованием возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации	130
3.1 Методы оценки экономической эффективности возобновляемой энергетики.....	130
3.2 Механизм оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием энергии солнца	143

3.3 Практические рекомендации экономической оценки проекта распределенной генерации на основе солнечной энергии	151
Заключение	163
Список сокращений и условных обозначений.....	169
Список литературы	171
Список иллюстративного материала.....	190
Приложение А Ранжированная балльная оценка региона по отношению выработки солнечной электростанции к среднему показателю КИУМ по Российской Федерации	192
Приложение Б Ранжированная балльная оценка региона по отношению попадания выработки солнечной электростанции в пиковый час потребления к среднему показателю КИУМ по Российской Федерации	195
Приложение В Балльная оценка региона по отношению сетевой составляющей тарифа на электроэнергию к средневзвешенной нерегулируемой цены электрической энергии (мощности)	198
Приложение Г Общая оценка регионов по всем показателям предлагаемого методического подхода	201
Приложение Д Описание характеристик расчетного проекта солнечной генерации.....	204
Приложение Е Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации с помощью разработанной методики.....	205
Приложение Ж Нормированная стоимость электроэнергии по регионам, согласно методике LCOE	208

Приложение И Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации методом нормированной стоимости электроэнергии	211
Приложение К Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации методом дисконтирования денежных потоков	215
Приложение Л Результаты сравнения результатов расчета экономической эффективности классической и предлагаемой методиками	218

Введение

Актуальность темы исследования связана с тем, что в современном мире для генерации электроэнергии используются, в основном, традиционные ископаемые углеводороды, а альтернативой им являются способы генерации, подверженные высоким техногенным и природным рискам. Последствия от реализации таких рисков приводят к значительным потерям, не сопоставимым с экономической пользой. Такими последствиями могут быть техногенные катастрофы, загрязнение почвы и рек, а также другое негативное воздействие на окружающую среду.

Мировая экологическая повестка и мировой энергетический кризис, растущая цена на ограниченные природные ресурсы, развитие общества с соответствующим ростом потребления электроэнергии привели к тому, что человечество вынуждено признавать ценность наиболее экологически чистых видов генерации электроэнергии, и не только за их «чистоту». Все развитые страны приняли необходимые решения и зафиксировали на законодательном уровне глобальный энергопереход на возобновляемые или экологически чистые источники энергии. Так и в Российской Федерации принята «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [118], которая предусматривает развитие нашей страны в совершенно новом направлении с учетом экологической повестки. Смена ценностей в парадигме экономического и энергетического развития, со все большим фокусом на устойчивое развитие, требует трансформации на всех этапах жизненного цикла и развития как технологий производства, так и всей промышленности. Не менее важным вопросом за последние годы также стал энергетический суверенитет, как целой страны, так и отдельного региона. Именно техническая независимость электроэнергетических систем стоит как одна из задач

развития энергетики нашей страны, согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2036 года [117].

На долю энергетики приходится 73% всех выбросов, загрязняющих атмосферу нашей планеты, а на долю непосредственного производства электроэнергии приходится 55%. Приведенная статистика показывает, что говорить об экологической повестке и сокращении загрязняющих атмосферу выбросов без того, чтобы принимать во внимание экологически чистые источники энергии, просто невозможно.

Помимо этого, не менее важным вопросом является растущее потребление энергии во всех направлениях экономики и жизни человека, которая на данный момент, в основном, обеспечивается исключительно централизованными системами. Такая ситуация ставит не только потребителей, но и целые регионы в положение зависимости от поставщиков энергии.

На протяженности всей Российской Федерации, каждый регион имеет свои уникальные особенности в вопросе климатических и погодных условий, экономического и промышленного развития, работе электроэнергетического рынка и сетевой инфраструктуры, как и других пространственных инфраструктурных систем. Реформирование, доставшейся по наследству, советской структуры требует определения новых подходов к пространственной организации не только экономики, но и электроэнергетики в особенности.

Степень разработанности темы исследования. Научные аспекты оценки экономической эффективности генерации электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии, а также экономической эффективности проектов распределенной генерации сформулированы в результате анализа и синтеза работ российских и зарубежных ученых.

Теоретические основы распределенной генерации рассматриваются в работах Н.И. Воропай, К.С. Дегтярева, С.С. Жолнерчик, О.В. Климовец, У.И. Плоткиной, О. Селляховой, В.А. Стенникова, А.В. Трачук. Среди

зарубежных авторов можно выделить Т. Аккреманна (T. Ackermann), Г. Андерсона (G. Andersson), Ф.Х. Гуана (F.H. Guan), М.М. Хогшвика (M.M. Hoogwijk).

Вопросы оценки возобновляемых источников энергии, их экономической, технологической и экологической особенностей в границах Российской Федерации, рассматриваются в работах И.А. Башмакова, О.В. Кудрявцевой, О.И. Маликовой, С.М. Никонорова, В.А. Зубакина.

Основы теоретические представления о региональной экономике и пространственной организации и их модели приведены в работах М. Фудзиты (M. Fujita), П. Кругмана (P. Krugman), Э. Венейблса (A. Venables), Й.Х. фон Тюнена (Johann Heinrich von Thünen), П.А. Минакира, А.Г. Гранберга, Р.В. Фаттахова, Н.К. Попадюк, И.А. Рождественской, А.Н. Демьяненко, З.А. Атаева, А.И. Татаркина.

Анализ степени разработанности темы, касающиеся развития возобновляемых источников энергии и новых альтернативных видов генерации в Российской Федерации, а также оценки пространственной организации направления развития с точки зрения экономической, экологической и географической эффективности такого рода проектов, с учетом особенностей российского рынка, недостаточно исследованы. Основной причиной сложившейся ситуации является то, что возобновляемая энергетика в Российской Федерации не является приоритетным направлением развития российского энергетического сектора. Большая часть проектов возобновляемой энергетики реализуются лишь с помощью государственных субсидий, а коммерческая возобновляемая электроэнергетика не получила большого развития, на данный момент. В свою очередь, международные подходы к оценке экономической, социальной, экологической и технологической применимости проектов возобновляемой энергетики, в связи с уникальностью управляемо-рыночной структуры российской энергетики, не учитывают все возможные преимущества и недостатки такого рода генерации в Российской Федерации.

Цель исследования заключается в разработке комплексного подхода к оценке пространственной организации распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии в регионах Российской Федерации, учитывающей не только капитальные затраты и общую альтернативную стоимость, но и показатели почасового замещения электроэнергии с учетом технико-экономических характеристик использованного энергоресурса, и разработке на его основе методических и практических рекомендаций по оценке экономической эффективности.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие **задачи**:

- 1) определить особенности и системные принципы пространственной организации возобновляемых источников энергии на основе технико-экономических характеристик рынка российской энергетики;
- 2) разработать классификацию российских регионов по потенциалу использования распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии;
- 3) разработать методический подход к технико-экономической оценке потенциала пространственной организации регионов для использования распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии на примере солнечной энергетики;
- 4) разработать методические рекомендации по комплексной оценке экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии в соответствии с особенностями работы энергетического рынка Российской Федерации.

Объект исследования – пространственная организация использования возобновляемых источников энергии в регионах Российской Федерации.

Предмет исследования – организационно-экономические отношения, возникающие в процессе использования возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации в регионах Российской Федерации.

Область исследования диссертации соответствует
 п. 1.2. «Пространственная организация национальной экономики. Пространственное распределение экономических ресурсов» Паспорта научной специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика: региональная экономика (экономические науки).

Научная новизна исследования состоит в разработанных научно-методических положениях о принципах и классификации пространственной организации распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии и разработанных методических рекомендациях, и комплексном подходе по оценке потенциала и экономической эффективности пространственной организации использования распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии.

Теоретическая значимость работы состоит в расширении и углублении научных положений о пространственной организации распределенной генерации, современном состоянии рынка электроэнергетики и особенностях возобновляемой энергетики в рамках российской электроэнергетики. Результаты исследования составляют теоретическую основу для развития оценки потенциала пространственной организации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии в регионах Российской Федерации и оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии.

Практическая значимость работы заключается в разработке методических рекомендаций по оценке экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии для использования в перспективе государственными органами, финансовыми директорами и инвесторами с целью развития осуществляемой ими инвестиционной деятельности.

Самостоятельную практическую значимость имеют:

- методика технико-экономического обоснования потенциала пространственной организации регионов для проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии;
- методические рекомендации оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации.

Методология и методы исследования. В работе использованы такие методы исследования, как системный анализ, сравнительный анализ, метод анализа и синтеза, метод группировки и классификации, статистический анализ и математические средства представления информации, а также получены экспертные оценки текущего состояния объекта исследования. Применены методы экономического анализа регионов Российской Федерации, статистического отраслевого анализа рынка электроэнергетики, оценки потенциалов возобновляемой энергетики (технического, экономического и экологического), проводились полевые исследования и экспертные оценки. Проведены эконометрические расчеты с помощью специального программного обеспечения PVSyst, выведен ряд ключевых количественных экономико-технологических показателей регионов страны и энергосистем, проведена классификация и ранжирование субъектов Российской Федерации, входящих в состав Единой Энергетической Системы. В работе применялся метод анализа конкретных ситуаций («case study») для исследования применимости международной методики оценки экономической эффективности и проверки апробации методики оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации, с использованием возобновляемых источников энергии, с учетом особенностей ценообразования российского рынка электроэнергетики.

Информационной базой исследования выступили нормативные документы Российской Федерации и международные соглашения, а также отчеты и аналитические материалы Организация экономического сотрудничества и развития, Организации объединенных наций, Международного Энергетического Агентства, Ассоциации развития

возобновляемых энергетики, Lazard, Bloomberg, Министерства энергетики Российской Федерации и многие другие, отечественные и зарубежные официальные источники статистических данных. Кроме того, использовалась информация СМИ, экспертные оценки и собственные полевые наблюдения, и измерения. Также, информационную базу исследования составили статистические отчеты Системного оператора Единой Энергетической Системы, АО НП «Совет рынка» и АО «АТС». Апробация методов оценки потенциала пространственной организации использования возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации произведена на примере данных 276 вариантов подключения потребителей в 69 регионах Российской Федерации, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы до 1 января 2025 года, по показателям установленных тарифов за 2024 год.

Положения, выносимые на защиту:

1) теоретически обоснованы системные принципы пространственной организации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии (выработка электроэнергии в конкретный час, покрытие графика пиковой нагрузки, замещение сетевой составляющей) на основании экономической целесообразности размещения в конкретном регионе, особенностей работы возобновляемых источников энергии в российской электроэнергетике и энергетического баланса региона, совместно с графиком потребления электроэнергии в нем, для более эффективного достижения целей энергетической стратегии Российской Федерации, в отличие от текущего развития возобновляемой энергетики на основании государственных договоров долгосрочной поставки электроэнергии без учета потребностей и особенностей регионов размещения генерации. Данные принципы позволяют осуществлять пространственную организацию такого рода проектов с учетом экономической эффективности не только для производителей электроэнергии, но и для энергосистемы в целом, а также ее потребителей (С. 86-90);

2) разработана классификация регионов по высокому, среднему и низкому потенциалу использования распределенной генерации с помощью возобновляемых источников энергии на основе технических возможностей такого рода генерации и отношения производимой электроэнергии к замещаемой из сети согласно графику потребления в регионе, в отличие от используемой классификации по техническим характеристикам используемых энергоресурсов. Данная классификация позволяет идентифицировать регионы перспективного развития пространственной организации распределенной генерации с помощью возобновляемых источников энергии (С. 105-108);

3) разработан и апробирован авторский методический подход к технико-экономической оценке потенциала пространственной организации регионов для проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии, основанный на показателях выработки такого рода генерации и замещаемой электроэнергии из сети в каждый час работы, в отличие от существующего подхода с оценкой исключительно по показателю объема вырабатываемой электроэнергии. Такой подход позволит повысить объективность оценки потенциала реализации проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии для замещения сетевого электроснабжения, а также целесообразность в таком виде генерации для каждого региона (С. 108-122);

4) разработаны методические рекомендации по комплексной оценке экономической эффективности проектов распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии, основанные на конкретном графике выработки электроэнергии при влиянии на все составляющие тарифа на электроэнергию на территории Российской Федерации, такие как плата за мощность, плата за содержание сетей, стоимость услуг по передаче и стоимости электроэнергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности в каждый конкретный час потребления и другие. Данные методические рекомендации, в отличие от международного подхода к оценке экономической эффективности проектов генерации, основанного на

показателях капитальных затрат и стоимости вырабатываемой электроэнергии, позволяют более комплексно и эффективно определить пути развития пространственной организации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии и получить точные данные об экономической эффективности реализуемых проектов с учетом всех особенностей работы российской электроэнергетики (С. 151-158).

Степень достоверности, апробация и внедрение результатов исследования. Достоверности полученных результатов и выдвинутых положений подтверждается корректностью использования существующих нормативно-правовых актов Российской Федерации, теоретических положений пространственной организации электроэнергетики, а также актуальных методов исследования.

Основные результаты исследования опубликованы, апробированы в установленном порядке, обсуждались и получили одобрение на научных конференциях различного уровня: на 7-й Международной Научно-Практической Конференции Technoperspective 2021 Технологическая перспектива: новые рынки и точки экономического роста (Санкт Петербург, СПбГУ, 11-12 ноября 2021 г.), на Седьмой ежегодной научной конференции консорциума журналов экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 25 октября 2023 г.).

Материалы диссертации используются в практической деятельности по реализации проектов солнечной генерации ООО «ЭкоЭнерджи», в частности используется разработанная в диссертации методика технико-экономической оценки потенциала пространственной организации регионов для проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии. По материалам исследования внедрены разработанные в диссертации научно-практические рекомендации оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии, что позволило существенно увеличить экономическую привлекательность реализуемых проектов и увеличить зоны присутствия

компании. Используется описанная в исследовании методика оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии. Выводы и основные положения диссертации используются в практической работе ООО «ЭкоЭнерджи» и способствуют увеличению финансовых показателей компании.

Получено свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности № 2024614954 от 29.02.2024 (заявка № 2024610514 от 16.01.2024) на программу для ЭВМ «Программа управления солнечной электростанцией с использованием искусственного интеллекта». В августе 2024 года программа для ЭВМ «Программа управления солнечной электростанцией с использованием искусственного интеллекта» внесена в Реестр отечественного программного обеспечения (№ 23503 от 12.08.2024). Данное программное обеспечение внедрено в качестве цифрового элемента алгоритма организации работы предприятия в вопросе выбора места и оценки экономической эффективности проекта, а также контролем за эксплуатацией проектов распределенной генерации с использованием солнечной энергии. Внедрение программного обеспечения позволило повысить достоверность оценки экономической эффективности проектов распределенной генерации и доступность солнечной генерации для потребителей, а также снизило ошибки некорректного инвестиционного планирования.

Материалы диссертации используются Кафедрой отраслевых рынков Факультета экономики и бизнеса Финансового университета в преподавании учебной дисциплины «Формирование инвестиционных программ и проектов». В частности, использованы уточненный подход к сущности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии с учетом особенностей работы российского топливно-энергетического комплекса, а также предложенный методический подход к оценке экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии на российском рынке электроэнергетики.

Апробация и внедрение результатов исследования подтверждены соответствующими документами.

Публикации. Основные положения исследования отражены в 8 публикациях общим объемом 6,91 п.л. (авторский объем – 6,22 п.л.), в том числе 6 статей общим объемом 4,68 п.л. (авторский объем – 4,43 п.л.), опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России, из которых 5 статей опубликованы в изданиях, отнесенных к категории К2. Все публикации по теме диссертации.

Структура и объем диссертационной работы определяется по цели и поставленным задачам. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 121 наименование, списка иллюстративного материала, а также 10 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 221 страницу и включает 10 рисунков, 16 таблиц и 19 формул.

Глава 1

Особенности пространственной организации объектов генерации электроэнергии

1.1 Пространственная организация экономики электроэнергетики

В сегодняшней глобальной экономике достижение устойчивого роста и эффективности в управлении ресурсами стало важнейшей задачей. Страны по всему миру ищут решения для оптимизации своей экономической деятельности, обеспечивая сбалансированное развитие при устранении узких мест инфраструктуры и региональных различий. Традиционные экономические теории часто предполагают без учета пространства и положения экономических агентов относительно друг к другу, где расстояние и география не имеют значения. Однако в действительности пространство является фундаментальным фактором, влияющим на экономические решения. Пространственная экономика вводит географию в экономический анализ, позволяя политикам и предприятиям принимать обоснованные решения относительно производства, передачи и распределения ресурсов.

Пространственная экономика — это важнейшая область исследований, которая изучает, как экономическая деятельность распределяется по географическому пространству. Она объединяет принципы экономики, географии, городского планирования и региональной науки для понимания пространственной организации экономики, расположения отраслей, потока товаров и услуг и развития городов и регионов. Во все более взаимосвязанном и глобализованном мире, пространственная экономика позволяет понять какие основные принципы того, как формируется экономический рост, распределение финансовых и промышленных ресурсов, а также достигаются экономические преимущества.

Например, успех Кремниевой долины как глобального центра технологий и инноваций во многом обусловлен эффектами агломерации. Близость технологических компаний, венчурных капиталистов и квалифицированных специалистов способствует сотрудничеству, инновациям и предпринимательству. Аналогичным образом, финансовые центры, такие как Нью-Йорк и Лондон, процветают из-за концентрации финансовых учреждений, талантов и вспомогательных услуг.

Агломерация также имеет последствия для регионального развития. Хотя она может стимулировать экономический рост в городских центрах, но также может усугубить региональное неравенство, отвлекая ресурсы и таланты от периферийных районов. Понимание этой динамики имеет решающее значение для разработки политики, способствующей сбалансированному и равномерному росту всех территорий.

Транспорт и торговля играют центральную роль в пространственной экономике. Стоимость перемещения товаров, услуг и людей в пространстве существенно влияет на экономические результаты. Улучшения в транспортной инфраструктуре, такой как автомагистрали, железные дороги и порты, могут снизить эти расходы и улучшить связь между регионами. В свою очередь, это способствует торговле, способствует экономической интеграции и стимулирует рост.

Пространственная экономика также изучает влияние глобализации на торговые модели. Достижения в области транспортных и коммуникационных технологий облегчили компаниям работу за пределами границ, что привело к появлению глобальных цепочек создания стоимости. Так, например, строительство Суэцкого канала также ознаменовало значительную пространственную реформу. Однако, эти изменения также создали победителей и проигравших, поскольку некоторые регионы выигрывают от роста торговли, в то время как другие сталкиваются с экономическим упадком и потерей рабочих мест.

Урбанизация является определяющей чертой современной пространственной экономики. Города являются двигателями экономического роста, составляя непропорционально большую долю мирового ВВП. Около 60% всего мирового ВВП приходится на 600 городов мира. Они привлекают таланты, способствуют инновациям и обеспечивают экономию масштаба. Однако быстрая урбанизация также создает проблемы, такие как перегруженность, загрязнение и доступность жилья, не говоря уже о проблемах, вызываемых в регионах за счет оттока населения.

Пространственная экономика предоставляет инструменты для анализа моделей роста городов и их последствий для устойчивости и качества жизни. Например, разрастание городов или неконтролируемое расширение городов — может привести к неэффективному использованию земли, увеличению транспортных расходов и ухудшению состояния окружающей среды. Политики могут использовать пространственные экономические модели для разработки стратегий, которые способствуют компактному развитию, ориентированному на улучшение состояния необходимой инфраструктурной системы и уменьшению экологического следа городов.

Данная область экономики опирается на основополагающие теории, такие как модель сельскохозяйственного землепользования Иоганна Генриха фон Тюнена, теория промышленного размещения Альфреда Вебера и теория центрального места Вальтера Кристаллера. Эти ранние вклады заложили основу для понимания того, как организована экономическая деятельность в пространстве. Совсем недавно работа таких экономистов, как Пол Кругман и Масакиса Фудзита, которые представил новую экономическую географию, включив несовершенную конкуренцию, растущую отдачу от масштаба и транспортные издержки в пространственные модели, получили Нобелевскую премию по данному вопросу.

Первым ученым, кто применил методы пространственной экономики является Иоганн Генрих фон Тюнен, который использовал расчет экономического развития путем дифференциации целесообразности

расположения производства в том или ином регионе, в которых учел даже транспортные расходы на единицу расстояния до потребителя и до производства [82].

В. Лаунхардт продолжил идеи Тюненa и до Вебера начал теорию размещения производства. Основной идеей Лаунхардта являлось определение оптимального места для идентичных предприятий по производимой продукции, на основании транспортных издержек к четырем экономическим центрам на единицу продукции. Согласно его теории, наиболее эффективным будет предприятие где данный показатель минимальный [16]. Однако, А. Вебер сформулировал теорию размещения производства отталкивая от всех общих производственных расходов [24].

Таким образом, наиболее актуальное теоретическое описание пространственной экономики представлено в работе Пола Кругмана и Мусахиса Фудзиты [101]. По изложенным в их труде идеи, наиболее весомыми факторами в пространственной экономике нашего полярного мира является урбанизация и метрополизация экономического пространства. Они разработали первую модель общего пространственного равновесия, учитывающую несовершенную конкуренцию и растущий эффект от масштаба. Их идея основана на том, что экономические агенты стремятся к тому, чтобы концентрироваться в определенном пространстве и притягиваются друг к другу. Именно это приводит к усугублению региональных различий и регионального дисбаланса экономического развития.

С. Бракман и Г. Гарретсен подчеркивают, что важность идей Кругмана заключается в обосновании роли географического фактора и сближении концепций развития международной и региональной экономики [97].

Дж. Клинич и Э. О'Нил предлагают использовать пространственную экономику для планирования государственной политики и достижения целей национального развития. По их мнению, именно пространственная экономика может корректно распределить дифференциацию экономической активности

в стране [98]. Такой подход позволит наиболее эффективным способом достичь экономического роста.

Однако, российская экономика еще не освоила все принципы и нюансы пространственной экономики. Начиная с учета особенностей географического развития Российской Федерации и ресурсных особенностей каждого конкретного региона, с его уникальными социальными, природными, логистическими и экономическими нюансами. Так и заканчивая частым изменением пространственной экономики региональной политики в Российской Федерации. Когда от политики выравнивания страна переходит к политике «регионов – локомотивов развития», а дальше к политике зон опережающего развития. Теперь же российская политика сконцентрирована на особых экономических зонах [84].

Согласно исследованию Р.Р. Нельсона и У.Дж. Уинтера, российская экономика функционирует на совершенно других закономерностях и основаниях, не таких как принято в мире [56]. Причиной этому служит значительное отличие Российской Федерации от других стран, как в географическом, так и в культурно-историческом плане.

В своей работе П.А. Минакир раскрывает три этапа пространственной экономики, как особенностей развития Российской Федерации [51]. Основной идеей является необходимость развития в первую очередь экономики регионов до почти самостоятельного уровня, с дальнейшим переходом в региональную экономику.

Тем не менее, в настоящих реалиях развития российской экономики выделяют приоритетные направления пространственной экономики в направлениях энергетической и транспортной инфраструктуры. Именно эти направления выполняют основные функции и образуют пространство для дальнейшего развития экономики в целом [28]. Так и в стратегии пространственного развития Российской Федерации обозначены именно эти направления для развития, как и в рамках данного исследования [116].

Энергетический рынок, в частности рынок электроэнергии, является краеугольным камнем современной экономики, промышленности, домохозяйств и всей инфраструктуры. Пространственная экономика играет жизненно важную роль в оптимизации распределения ресурсов, развитии энергетической инфраструктуры и региональном распределении энергии. Однако производство, распределение и потребление электроэнергии находятся под сильным влиянием пространственных факторов, что делает пространственную экономику критически важной точкой рассмотрения данного вопроса для понимания и оптимизации энергетических систем. В контексте Российской Федерации, крупнейшей страны в мире по площади, пространственная экономика играет особенно важную роль в формировании рынка электроэнергии. Огромные географические просторы, неравномерное распределение ресурсов и разнообразные климатические условия создают уникальные проблемы и возможности для российского энергетического сектора.

Рынки электроэнергии по своей сути являются пространственными из-за физической природы генерации, передачи и потребления электроэнергии. В отличие от других товаров, электроэнергию нельзя легко хранить, и ее необходимо потреблять практически сразу после генерации, а следовательно, эти два показателя должны быть синхронизированы. Это создает сильную зависимость от географического распределения электростанций, сетей электропередачи и центров спроса на этот продукт. Пространственная экономика предоставляет основу для анализа того, как эти элементы взаимодействуют и как их пространственная организация влияет на эффективность, надежность и устойчивость рынка. А надежность энергоснабжения является основной целью любой энергосистемы, в виде возможности в любой момент обеспечить необходимое потребление.

Одним из основных аспектов пространственной экономики на российском рынке электроэнергии является распределение объектов генерации электроэнергии и их интеграция в единую сеть.

Электроэнергетический сектор Российской Федерации характеризуется сочетанием централизованной и децентрализованной генерации электроэнергии со значительными региональными различиями в спросе и предложении энергии. Пространственная экономика помогает анализировать различия между богатыми энергией регионами, такими как Сибирь, и регионами с высоким потреблением, такими как Москва и Санкт-Петербург, способствуя разработке более эффективных инвестиционных стратегий в развитие инфраструктуры. В рамках российской электроэнергетики с 75 регионами, входящими в Единую Энергетическую Систему и с деление на семь Объединенных Энергетических Систем это является более чем актуальным вопросом.

Огромная территория Российской Федерации создает значительные проблемы в передаче и распределении электроэнергии. Эффективные электросети необходимы для обеспечения надежного электроснабжения, однако высокие затраты на передачу на большие расстояния и обслуживание сетей создают неэффективность. Пространственная экономика изучает влияние географических ограничений на распределение энергии и помогает разрабатывать оптимальные планы расширения сети, сокращая потери при передаче и повышая энергетическую безопасность.

Так, например, как уже говорилось ранее, согласно теории размещения производства, реализация проекта производства и выбор точного места реализации такого рода проекта должен строиться исходя из учета транспортных расходов и их минимизации. Однако, в рамках текущей электроэнергетики данный подход почему-то не применяется. В рамках российской электроэнергетики логистические издержки учитываются усреднённым показателем относительно всех потребителей и с производителя они не взимаются. Таким образом, в рамках размещения производства электроэнергии не учитывается базовый показатель стоимости ее транспортировки. Тем не менее как будет рассмотрено далее, для потребителя

данный показатель оказывает значительное влияние в затратах на электроэнергию.

Правительственная политика играет решающую роль в формировании рынка электроэнергии, а пространственная экономика обеспечивает основу для разработки региональной энергетической политики. В Российской Федерации пространственное планирование влияет на решения о размещении электростанций, инвестициях в возобновляемые источники энергии и трансграничной торговле энергией. Понимая принципы пространственной экономики, политики могут повысить доступность энергии, сократить региональные различия и способствовать устойчивому развитию.

Переход к возобновляемым источникам энергии, таким как энергия ветра и солнца, требует пространственного подхода к развитию инфраструктуры с учетом современных правил устойчивого развития [72]. Огромная территория Российской Федерации предлагает значительный потенциал для проектов в области возобновляемых источников энергии, но при планировании и развертывании необходимо учитывать географические и климатические факторы, как и экономические особенности энергосистемы. Технологические достижения, включая интеллектуальные сети и решения по хранению энергии, еще больше изменяют пространственную экономическую динамику, обеспечивая более эффективное распределение и потребление энергии.

Однако, в современных реалиях такой подход не применяется. Согласно текущей ситуации, пространственная организация распределения возобновляемых источников энергии строится исключительно на основании технических показателей, относительно самой генерации, пренебрегая даже целями безопасности электросети. Так, например, согласно федеральной программе поддержки возобновляемых источников энергии, производитель сам назначает регион, в котором предполагает разместить генерацию, без учета потребностей энергосистемы или целесообразности такого расположения для экономики электроэнергетики и экономики региона.

Основными факторами для выбора мест расположения производства, в таком случае, является лишь выработка электроэнергии без уточнений о ее необходимости и простота расположения. Такой подход, пренебрегая потребностями потребителей и системы в целом не может давать значительные выгоды для развития данного направления.

Пространственная экономика имеет важное значение для понимания и решения проблем рынка электроэнергии в Российской Федерации. Включая пространственные особенности в анализе энергетического рынка, предприятия, политики и исследователи могут разрабатывать стратегии, которые повышают энергоэффективность, улучшают надежность сетей и способствуют сбалансированному региональному развитию. По мере развития энергетического сектора пространственные экономические идеи останутся незаменимыми в формировании будущего российского рынка электроэнергии, хотя сейчас они основаны исключительно на технических особенностях. Таким образом, например, проблема балансирующего рынка Единой Энергетической Системы может быть решена в некоторых регионах с помощью внедрения возобновляемых источников энергии, основываясь на текущем распределении пиковых часов потребления.

Ключевые пространственные факторы на рынках электроэнергии включают:

- распределение ресурсов: энергетические ресурсы, такие как уголь, природный газ, гидроэнергия, ветер и солнце, неравномерно распределены по территории нашей страны. Например, огромные запасы природного газа Российской Федерации сосредоточены на севере страны, в то время как ее гидроэнергетический потенциал в основном находится в Сибири и на Дальнем Востоке, а центры наиболее эффективного солнечного излучения расположены на юге Российской Федерации;

- инфраструктура передачи: стоимость и эффективность передачи электроэнергии на большие расстояния являются критически важными факторами. Потери при передаче и инвестиции в инфраструктуру сильно

зависят от географии. На таком большом расстоянии, содержание и поддержание работоспособности всей сетевой инфраструктуры является комплексной задачей и критическим фактором;

- модели спроса: спрос на электроэнергию варьируется по времени потребления в зависимости от местоположения из-за различий в плотности населения, промышленной активности и климата. Например, спрос на отопление в холодных северных регионах Российской Федерации резко контрастирует с более мягкими южными. А промышленные центры имеют перекося графика потребления электроэнергии преимущественно на дневное время, в отличие от регионов с высокой концентрацией населения, где пик потребления приходится на вечернее время.

В Российской Федерации эти пространственные факторы особенно выражены из-за огромных размеров страны и разнообразной географии. Понимание и учет этой пространственной динамики имеют важное значение для оптимизации рынка электроэнергии и обеспечения не только энергетической безопасности, но и экономической безопасности каждого региона и страны в целом [79].

Российский рынок электроэнергии является одним из крупнейших в мире, со сложным сочетанием источников генерации, включая тепловую (уголь, газ и нефть), гидро- и атомную энергию. Пространственная организация рынка формируется несколькими ключевыми факторами:

географическое распределение энергетических ресурсов. Энергетические ресурсы Российской Федерации в значительной степени сконцентрированы в определенных регионах:

- западная Сибирь является сердцем российской газовой промышленности, которая обеспечивает топливом значительную часть тепловых электростанций страны;

- восточная Сибирь и Дальний Восток богаты гидроэнергетическим потенциалом с такими крупными гидроэлектростанциями, как Саяно-Шушенская ГЭС;

- европейская часть Российской Федерации, где расположена большая часть населения и промышленной деятельности, в значительной степени зависит от импортируемой энергии из Сибири и других регионов.

Это неравномерное распределение создает пространственное несоответствие между спросом и предложением, что требует обширных сетей передачи для транспортировки электроэнергии из богатых ресурсами регионов в центры потребления;

Проблемы передачи. Единая энергетическая система Российской Федерации является одной из крупнейших взаимосвязанных энергосистем в мире, охватывающей 11 часовых поясов, семь объединенных энергетических систем, не говоря уж о технологически изолированных системах. Однако огромные расстояния между местами генерации и центрами спроса создают значительные проблемы:

- потери при передаче: потери электроэнергии при передаче увеличиваются с расстоянием, что снижает эффективность и увеличивает затраты;

- затраты на инфраструктуру: строительство и обслуживание линий электропередачи большой протяженности в суровых климатических условиях Российской Федерации является дорогостоящим и технически сложным;

- устойчивость сети: обеспечение стабильности и надежности сети на такой большой и разнообразной территории требует сложного управления и инвестиций, а в нашей стране в процессе передачи и управления электроэнергией задействовано значительное количество организаций. Однако, даже им не всегда получается достигать поставленной перед ними цели.

Пространственная экономика помогает определять оптимальные места для новых электростанций и линий электропередачи, чтобы минимизировать затраты и потери, обеспечивая при этом надежные поставки. Сбалансированное развитие инфраструктуры электроэнергетической системы

с учетом пространственных особенностей позволит достичь целей повышения надежности энергоснабжения всей страны [4].

Региональные различия в спросе и предложении. Спрос на электроэнергию в Российской Федерации в значительной степени сосредоточен в европейской части страны, на которую приходится около 70% от общего потребления. Напротив, в Сибири и на Дальнем Востоке спрос ниже, но энергетические ресурсы обильны. Этот пространственный дисбаланс создает возможности для экспорта энергии в пределах Российской Федерации и в соседние страны. Однако он также поднимает вопросы о справедливости и региональном развитии, поскольку богатые ресурсами регионы могут не в полной мере извлечь выгоду из своего энергетического богатства.

Возобновляемая энергия и пространственные ограничения. У Российской Федерации есть значительный потенциал возобновляемой энергии, особенно гидроэнергетики, ветровой и солнечной. Однако пространственное распределение этих ресурсов часто не совпадает с центрами спроса.

Гидроэнергетика: большая часть гидроэнергетического потенциала Российской Федерации находится в Сибири и на Дальнем Востоке, вдали от основных районов потребления.

Ветряная и солнечная энергия: эти природные ресурсы имеются в отдаленных регионах с низкой плотностью населения, что затрудняет их интеграцию в сеть.

Пространственная экономика может направлять разработку проектов возобновляемой энергии, определяя места, где затраты на производство электроэнергии низкие, а инфраструктура передачи осуществима. Более того, пространственная экономика добавит в рассмотрение вопроса критерии, которые ранее не приняты во внимание. Так, например, как будет предложено далее — будут добавлены критерии экономической эффективности для потребителей, а не только для производителей электроэнергии.

Энергетическое наследство. Большая часть энергетической системы Российской Федерации досталась стране по наследству и, на данный момент, порядка 60% всего сетевого оборудования и 30% генерирующего оборудования превысили допустимый срок службы [32].

Электроэнергетика имеет не только свою собственную пространственную организацию, но также и является значительным фактором в пространственной экономике других отраслей экономики. Это делает вопрос пространственной организации электроэнергетического комплекса не только более важным, но и более сложным, так как в учет приходится брать еще и потребности, и цели других отраслей, помимо своих. Электроэнергетическая инфраструктура является значительным условие развития всего социально-экономического пространства страны и каждого региона [28].

Более того, уникальность устройства электроэнергетического рынка и неоднородность региональных особенностей работы приводит к тому, что пространственная экономика электроэнергетического комплекса должна быть основана не только на затратных показателях организации самого производства, но на экономических показателях потребителей. Это обусловлено тем, что разный энергетический баланс каждого региона и график потребления в нем может иметь не самый рациональный показатель с технической точки зрения покрытия потребления, но с экономической точки зрения быть более чем эффективным.

Энергетический переход Российской Федерации представляет собой убедительный аргумент в пользу применения пространственной экономики. Страна поставила амбициозные цели по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению доли возобновляемых источников энергии в своем энергетическом балансе [69].

Используя правила и принципы пространственной организации, Российская Федерация может разработать более эффективную, устойчивую и справедливую энергетическую систему, которая будет поддерживать ее долгосрочные цели развития.

1.2 Электроэнергетика в энергетическом комплексе

Энергетика — это область экономической и хозяйственной деятельности, науки и техники, которая охватывает энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, хранение и распределение различных видов энергии.

Целью энергетики является обеспечение населения и производственных процессов энергией. Для реализации данной цели, осуществляется большой технологический цикл, где различными путями происходит преобразование первичных природных энергоресурсов в энергию, например, электрическую или тепловую.

В рамках данного процесса производства энергии, чаще всего происходит несколько этапов:

- получение и концентрация энергетических ресурсов;
- передача ресурсов электростанциям;
- преобразование первичной энергии во вторичную энергию;
- передача вторичной энергии потребителям [52].

Общее потребление первичной энергии в мире составляет (по состоянию на 01.01.2023):

- нефть – 30%;
- уголь - 28%;
- природный газ - 23%;
- электроэнергия - 10%;
- биомассы - 9% [63].

Топливо-энергетические ресурсы являются важным фактором мировой политики и успешного развития мировой экономики [23]. Мировое потребление первичной энергии оценивается примерно в 10 миллиардов тонн нефтяного эквивалента в год [31].

Основными показателями объема и структуры любой энергосистемы являются установленная мощность электростанций (МВт, является паспортной величиной, характеризующей возможность генерирующего объекта производить электрическую энергию, но не фактическим объемом производства), выработка электроэнергии (кВт*ч, сумма фактически произведенной электроэнергии) и потребление электроэнергии (кВт*ч, не обязательно равное выработке). Для упрощенного понимания основных показателей электроэнергетики, можно использовать аналогию с водоснабжением. Мощность – это пропускная способность подведенной трубы или мощность насоса, интегрированного в нашу водяную систему, в литрах в час. Выработка – это объем фактически прокачанной по трубе воды за определенное время. А потребление – это тот объем воды в литрах, что из данной системы использовал для своих нужд потребитель (не потребленная вода усилием насоса продолжала циркулировать в трубе).

Классифицировать энергетику можно по многим характеристикам, будь то отношение к топливу, вид вырабатываемой энергии, по видам генерации и по многим другим. Нас же интересует именно электроэнергетика и разделение ее на виды генерации.

Традиционная энергетика

Традиционная энергетика в начале XXI века является основным поставщиком электроэнергии в мире. В рамках традиционной энергетики, основное производство ведется с помощью тепловых электростанций (далее - ТЭС), атомных электростанций, гидроэлектростанций [36].

Альтернативная энергетика включает в себя также различные виды генерации, часто основанные на возобновляемых источниках энергии, таких как преобразование энергии солнечного излучения, внутреннего тепла Земли (геотермальные станции), энергии ветра (ветряные генераторы), использование энергии приливов и отливов (приливные станции), мини-гидроэлектростанции и микроэлектростанции, технологии производства биотоплива и нетрадиционные технологии использования невозобновляемых

источников энергии - производство синтетического жидкого топлива, водородного топлива, технологии переработки твердых отходов, новые электроустановки или преобразователи (в том числе с прямым преобразованием) различных видов электрической энергии и тепла, синтетические, атомные электростанции и другие.

Электроэнергетика — это энергетическое направление, ответственное за производство, распределение, передачу и продажу электроэнергии. Среди других отраслей, именно электроэнергетика является наиболее популярной и распространенной одновременно по разным причинам. Например, благодаря простоте распределения, способность передавать энергию на большие расстояния и в кратчайшие сроки. Вторым важным качеством электроэнергии является ее универсальность: электрическая энергия может быть легко преобразована в другие виды энергии, такие как тепло, свет, химические процессы и т.д. Именно поэтому, развитию данной отрасли правительства ведущих мировых держав уделяют наибольшее внимание. Электроэнергетика — отрасль промышленности, за которой будущее [27]. Согласно законодательству Российской Федерации, электроэнергетика является основой для существования и функционирования экономики и обеспечения жизни [110].

Электроэнергетика Российской Федерации связана со значительным количеством проблем, в основном связанном с естественным устареванием используемого оборудования, а также порожденных большой географической протяженностью нашей страны. В то же время, для развития экономики нашей страны, необходимо развитие электроэнергетического сектора и решение большого количества связанных с ним проблем, таких как низкая эффективность генерации электроэнергии, большая доля затрат, не связанных с фактическим производством электроэнергии, избыточный возраст как генерирующего оборудования, так и сетевого хозяйства.

При расчете стоимости любых услуг, включая поставку электроэнергии, нужно учитывать и различные дополнительные расходы: организационные,

административные, выплата дохода акционерам, выплаты топ-менеджерам [15].

В электроэнергетическом секторе экономики можно выделить следующие подсекторы:

- самым большим подсектором по общему объему выработки электроэнергии является подсектор теплоэнергетики, а именно -теплоэлектростанции. Тепловая электроэнергетика включает в себя преобразование тепловой энергии в электрическую, которое может быть реализовано как в крупном, так и мелком масштабе. Крупные тепловые электростанции в Российской Федерации, такие как Сургутская ГРЭС-2, Сургутская ГРЭС-1 и Рефтинская ГРЭС, достигают установленной мощности до 5600 МВт;

- гидроэнергетика, в ее классическом виде, представлена системой гидроэлектростанций. В Российской Федерации, обладающей огромным потенциалом (9% мирового объема гидроэнергетических ресурсов), освоено и используется менее одной пятой известного гидропотенциала страны. Основной причиной является удаленность большинства гидроэнергетических ресурсов от ключевых потребителей энергии. В настоящий момент, в Российской Федерации существует 102 гидроэлектростанции с большой установленной мощностью - от 25 МВт, а также начата программа развития малой гидроэнергетики и строительство малых гидроэлектростанций мощностью до 5 МВт;

- атомная энергетика, хотя и не является ключевым подсектором, может считаться гордостью российской электроэнергетики. Российская Федерация осуществляет ядерные энергетические технологии на протяжении всего производственного цикла - от добычи сырья для производства топлива до выработки электроэнергии и утилизации отходов. Сегодня потенциал сектора распределен между 10 атомными электростанциями, которые производят около 1/5 от общего объема электроэнергии в стране. Наиболее крупными атомными электростанциями являются Ленинградская, Белоярская,

Балаковская и Калининская. Более того, в настоящий момент в мире присутствует не так много компаний, занимающихся и имеющих достаточное количество компетенций для строительства атомных электростанций. Американская компания Westinghouse объявила о своем банкротстве, а французская компания EDF закрыла направление атомной энергетики. И по сути, российская атомная отрасль является одним из трех оставшихся игроков на данном рынке во всем мире, на равне с Китаем и Южной Кореей;

- ветроэнергетика сосредоточена в северной части нашей страны, а также в горных районах Сибири, Урала и Кавказа. Более того, в нашей стране развивается почти полный цикл производства необходимого оборудования для ветроэнергетики. Крупные ветряные электростанции работают в северных прибрежных районах. Потенциал отрасли достаточно высок – она может производить почти треть электроэнергии в нашей стране;

- солнечная электроэнергетика опирается на территории Российской Федерации, в основном, только на государственные субсидируемые конкурсные процедуры и расположена в отдельных регионах страны, таких как Алтайский или Забайкальский край. В рамках программы импортозамещения, с учетом объемов конкурсного строительства солнечных электростанций, существует всего два основных российских производителя оборудования для солнечной энергетики – ГК «Хевел» и ГК «Солар Системс». Однако коммерческое и свободное применение их продукции на коммерческом рынке не осуществляется;

- альтернативные источники энергии – геотермальные, приливные, волновые, химические, а также энергетика с использованием биомассы - практически не имеют примеров применения на территории Российской Федерации, хотя в зарубежной практике такие виды генерации набирают все большие обороты, если судить по объему вновь вводимых генерирующих мощностей [70]. Более того, в развитых странах, абсолютное большинство вновь вводимые генерирующие мощности электростанций работают исключительно на возобновляемых источниках энергии, таких как солнце

и ветер. Однако в Российской Федерации ситуация обратная и, наоборот, большая часть вводимых новых генерирующих мощностей относится к традиционной энергетике, и направление использования возобновляемых источников энергии не развивается так активно, хоть наша страна и имеет значительный потенциал их на протяжении всей территории. Согласно данным Международного Энергетического Агентства почти 95% вновь вводимых мощностей на территории многих стран ближайшие 5 лет будут на основе возобновляемых источников энергии.

Основными тенденциями в электроэнергетическом секторе Российской Федерации можно считать следующие [119]:

- внедрение энергосберегающих технологий;
- локализация всего используемого оборудования на территории нашей страны;
- потребность в привлечение инвестиций;
- высокий уровень дефицита производственных мощностей;
- перспективная работа по направлению развития электросетей;
- цифровизация;
- переход на более «чистые» источники энергии, но не обязательно возобновляемые.

Среди основных проблем отрасли - недостаток инвестиций, сокращение научно-технических возможностей отрасли, высокий износ генерирующего оборудования и энергосетевого хозяйства, а также высокая централизация производства электроэнергии [2].

Невозможно достоверно спрогнозировать ключевые производственные показатели, уровень выручки и себестоимость генерирующих объектов без глубокого понимания основных технологических процессов производства электроэнергии. Также необходимо учитывать внешние факторы, оказывающие влияние на объем ее выработки в различных типах генерации. Построение фундаментального и эконометрического анализа без учета

перечисленных характеристик не будет достаточно релевантным и может иметь большую погрешность.

Как уже упоминалось, существует значительное количество классификаций генерации. В рамках исследования используется классификация по источникам энергоресурсов для производства электроэнергии:

А) невозобновляемые источники энергии:

1) тепловая генерация.

Б) возобновляемые источники энергии:

1) гидрогенерация;

2) ветряная генерация;

3) солнечная генерация;

4) геотермальная генерация [62].

Процесс генерации электроэнергии в большинстве случаев основан на преобразовании механической энергии вращающегося вала в электрическую. Такую механику производства электроэнергии используют большинство указанных видов. Единственная разница между ними заключается в том, откуда получается энергия вращения механизма: от порывов ветра, от давления водяного пара, от движения водных масс.

Другой вид классификации производства электроэнергии основан на критерии используемых энергоресурсов и представлен в виде уже упомянутых возобновляемых и невозобновляемых энергоресурсов. Основная разница между ними заключается в том, как быстро происходит «восполнение» данного энергоресурса в природе. Возобновляемыми считают те, что восполняются в природе быстрее их потребления. Невозобновляемые ресурсы потребляются человечеством быстрее, чем восполняются природой. Примерами первого вида могут быть солнечное излучение, ветер, биотопливо и другие, а второго – нефть и нефтепродукты: мазут, дизельное топливо, а также уголь, газ.

Тепловая генерация

Тепловая генерация или классическая генерация основана на одном простом принципе, независимо от вида энергоресурса. Данный принцип заключается в производстве тепловой энергии с последующей трансформацией тепловой энергии в механическую энергию, а затем - в электрическую. Электроэнергия вырабатывается на тепловых электростанциях двух типов. Немаловажно принимать во внимание и дополнительное преимущество таких генераций: возможность попутного использования тепловой энергии, остаточной от основной продукции [103].

На данный момент тепловая генерация остается наиболее востребованным методом производства электроэнергии. Крупнейшие компании, работающие в этом сегменте в России, включают Интер РАО, РусГидро, Юнипро, Мосэнерго, ОГК-2, ТГК-1 и Энел Россия.

При производстве тепла, как следует из названия, тепловая энергия превращает воду в пар. Накапливаясь, пар создает большое давление. Под высоким давлением, пар приводит в движение турбину. То есть, создает механическую энергию. Механическая энергия подается на генератор, создающий электрическую энергию.

Существует также и формат тепловых электростанций, где используется поршневая система, аналогичная двигателю внутреннего сгорания в автомобиле. Однако, в крупномасштабном формате они не так сильно развиты.

Все больше компаний, представленных на Московской бирже, переводят свои тепловые электростанции на газ, который является более экологичным топливом. Использование угля и других традиционных энергоносителей постепенно сокращается. Это имеет важное экономическое значение, поскольку затраты на топливо составляют значительную часть расходов предприятий. Стоимость данного топлива формируется в зависимости от биржевых цен, в основном газа. Цена газа, как стратегически важного ресурса, в России устанавливается заранее и индексируется ежегодно, без привязки к биржевым котировкам, а с учетом прогнозируемого уровня

инфляции, публикуемого Министерством экономического развития. Также, помимо стоимости самого энергоресурса, большое влияние имеет вопрос доставки данного энергоресурса. Более того, Министерство экономического развития публикует лишь «целевые» показатели инфляции (а точнее, индексы потребительских/промышленных цен), которые тоже не сильно коррелируют с текущей экономической обстановкой и биржевой ситуацией на какой-то конкретный энергоресурс [50].

Атомные станции

По большому счету, атомная электростанция – это всего лишь подвид тепловой электростанции. Суть работы атомной электростанции абсолютно такая же, как описана выше. С помощью ядерного топлива и разгона частиц в реакторе, высвобождается значительное количество тепла. С помощью получаемого тепла, нагревают воду и создают пар с высоким давлением. В свою очередь пар под высоким давлением, вращает турбину и генерирует электроэнергию. Единственное различие заключается в том, что ядерное топливо не сгорает, а лишь меняет свои физические свойства при долгой физической реакции. Такого рода станции, чаще всего, невозможно очень быстро запустить, остановить и использовать как маневренный источник электроэнергии.

Перейдем к рассмотрению производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Возобновляемые источники энергии обладают важным преимуществом: они фактически неисчерпаемы, так как их восстановление происходит быстрее, чем потребление. Считается что некоторые из возобновляемых источников энергии, такие как солнечная энергия, ветровая и геотермальная, являются менее вредоносными по отношению к окружающей среде. Однако не все возобновляемые источники энергии оказывают минимальное воздействие на окружающую среду, как прямое так и косвенное. Например, строительство крупных гидроэлектростанций может влиять на экосистему водоемов. Поэтому при

развитии возобновляемой энергетики важно учитывать не только эффективность, но и экологические последствия каждого типа генерации.

Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, предоставляют устойчивый источник энергии, не ограниченный истощением ресурсов в долгосрочном временном периоде. К тому же, ВИЭ существенно снижают выбросы парниковых газов, содействуя смягчению изменения климата [20].

Внедрение возобновляемых источников также способствует инновациям, создает рабочие места и увеличивает конкурентоспособность национальной экономики. Осуществление перехода к низкоуглеродной экономике требует финансовых и политических усилий, но долгосрочные выгоды включают в себя уменьшение экологического воздействия, улучшение качества воздуха и сохранение природных ресурсов [21].

Использование возобновляемых источников энергии становится неотъемлемой частью стратегии по применению большего объема «чистой» электроэнергии. Этот подход не только несет значительные экологические выгоды, но также имеет существенное экономическое и социальное значение. Более того, согласно исследованию Р.М. Качалова, О.В. Кудрявцевой и С.В. Чернявского отказ от перехода на возобновляемые источники энергии несут за собой дополнительные финансовые риски или «углеродные риски» [35].

Невозможно недооценить важность ускорения перехода к ВИЭ для уменьшения зависимости от ископаемого сырья, сокращения экологических рисков и обеспечения устойчивого энергетического будущего [12].

ВИЭ играют важную роль в современной электроэнергетике, обеспечивая разнообразие источников энергии. Солнечная, ветровая и другие ВИЭ предоставляют чистую и стабильную электроэнергию, снижая зависимость от традиционных источников топлива, обеспечивая устойчивое снабжение и способствуя уменьшению затрат на производство энергии. Это улучшает энергетическую безопасность и снижает стоимость производства

электроэнергии, что важно для современной экономической ситуации. Однако такого рода переход невозможен без развития технологий в направлении эффективности генерации, хранение электроэнергии и многим другим, которым стоит уделять отдельное внимание [46].

Эксперты во всем мире говорят о важности и неизбежности энергетического перехода. На протяжении последнего десятилетия возобновляемая энергетика укрепила свои позиции в качестве источника энергии в мире, во многом благодаря снижению себестоимости и политической поддержке [41]. Фактически, энергетический переход – это стратегический переход к устойчивым и чистым источникам энергии, позволяющим сократить выбросы углерода и обеспечить устойчивое энергетическое будущее. При этом, следует понимать, что различные авторы характеризуют данную категорию с разных точек зрения. Так, С. И. Коданева, отмечая необходимость и важность энергетического перехода для обеспечения устойчивого развития мировой экономики в долгосрочном временном периоде, акцентирует внимание на потенциальных рисках, возникающих при такой трансформации для топливно-энергетических комплексов стран, ориентированных на экспорт энергоносителей (Российская Федерация, страны Ближнего Востока, Венесуэла и т.д.).

Такого же мнения придерживается и А. М. Мастепанов [49], отмечая, что энергетический переход затронет не только нефтегазовый сектор экономики мира, но и сектора, которые ориентированы на потребление данных ресурсов. Фактически, ориентируясь на работы данных ученых, можно отметить угрозы для мировой экономики в рамках энергетического перехода к «зеленой» экономике. Данный процесс должен быть сбалансированным и учитывать особенности развития современной экономики, которая в большей степени ориентирована на ископаемые энергоносители, так как они характеризуются более низкой стоимостью.

В то же время, В.А. Барина [8] отмечает безальтернативность энергетического перехода, прогнозируя поступательное снижение

себестоимости энергии, произведенной ВИЭ, в долгосрочном временном периоде. Так, автор характеризует энергетический переход как стратегическую трансформацию энергетической системы, направленную на снижение зависимости от ископаемых энергоресурсов, повышение энергоэффективности и сокращение выбросов парниковых газов.

В своей работе В.Н. Андреев [6] отмечает, что энергетический переход – это многолетний процесс перехода от использования ископаемого топлива к «чистым», устойчивым и возобновляемым источникам энергии, с целью снижения выбросов парниковых газов и обеспечения энергетической устойчивости. Фактически, автор акцентирует внимание на том, что данный процесс будет длительным, и что он формирует ряд рисков и угроз в сфере быстрого достижения целей устойчивого развития.

В целом, ориентируясь на исследования современных авторов, а также на особенности развития современного энергетического сектора, можно дать следующее определение категории «энергетический переход» – стратегическая трансформация энергетической системы, включая производство, распределение и потребление энергии, с целью достижения устойчивости, уменьшения выбросов парниковых газов, и переход к чистым и возобновляемым источникам энергии, с целью сокращения зависимости от ископаемого топлива и борьбы с изменением климата.

Как отмечено выше, невзирая на весь свой потенциал, энергетический переход сопряжен с рядом проблем и вызовов. К ключевым из них рационально будет отнести [18; 19; 37; 42; 75; 87]:

- инфраструктура и инвестиции – необходимость модернизации и строительства новой энергетической инфраструктуры требует значительных инвестиций. Это может быть вызовом в финансовом и организационном плане;
- технологические инновации – развитие новых технологий и методов производства чистой энергии и энергоэффективности являются

необходимостью, но также могут представлять сложности в разработке и внедрении;

- социальные и политические аспекты – энергетический переход может повлечь социальные изменения, включая изменение рабочих мест и социальные аспекты энергетики, что требует внимания к вопросам адаптации и справедливости;

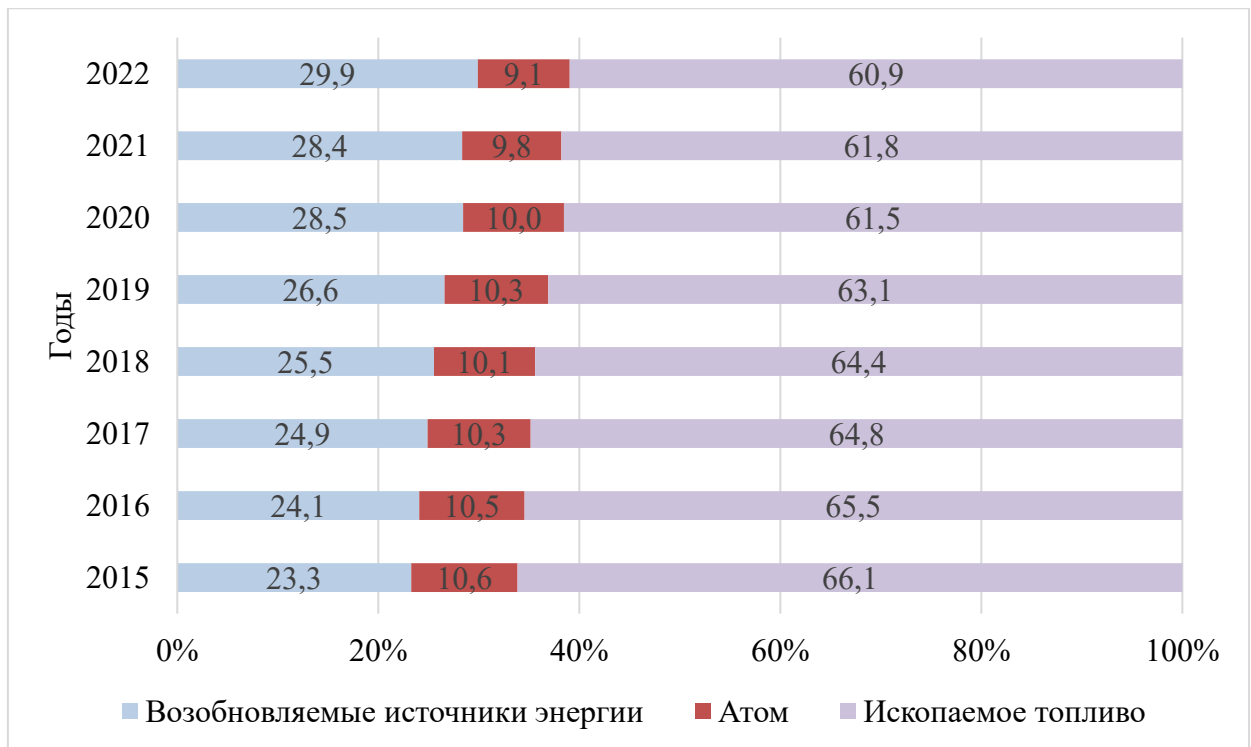
- энергетическая безопасность – с переходом к новым источникам энергии возникают вопросы обеспечения энергетической безопасности, устойчивости и надежности энергоснабжения;

- экологические и экономические аспекты – соблюдение экологических стандартов и обеспечение экономической эффективности являются важными аспектами энергетического перехода;

- международное сотрудничество – климатические изменения и энергетические вызовы требуют международного сотрудничества и согласованных действий на глобальном уровне;

- потребительское поведение – изменение потребительского поведения и стимулирование эффективного использования энергии среди населения и предприятий также является важной задачей.

Учитывая исследовательскую проблематику данного параграфа работы, существует необходимость раскрытия тенденций и текущего состояния особенностей энергетического перехода в структуре мирового экономического пространства, на современном этапе развития мировой экономики. Для описания тенденций и текущего состояния рационально будет проанализировать данные за период с 2015 года по 2022 год включительно в сфере источников производства электроэнергии (в разрезе источников, которые работают на ископаемом топливе, возобновляемых источников энергетики и источников энергии, которые функционируют на ядерном топливе) по информации представленной на рисунке 1.



Источник: составлено автором по материалам [99].

Рисунок 1 – Структура производства электроэнергии в мире по источникам

В целом, вышеприведенные диаграммы дают возможность определить следующие особенности в сфере электроэнергетики:

- доля производимой энергии из ископаемых источников сократилась с 66,1% в 2015 году до 60,9% по итогам 2022 года;
- при этом, более чем на 6,5 п.п., выросла доля генерации энергии из альтернативных источников энергии - с 23,3% до 29,9%. А в целом, производство электроэнергии из источников без углеродного следа возросло до 40% в 2022 году.

Данные преобразования дают возможность определить, что текущие тенденции в сфере энергетического перехода характеризуются ежегодным увеличением доли производимой энергии из «чистых» источников энергии, однако, на сегодняшний день, около 60% все еще приходится на источники энергии со значительным «углеродным следом».

Последние несколько лет в информационном мировом пространстве активно обсуждается энергетический переход или трансформация, часто – в

его неразрывной связи с концепцией 3Д: декарбонизация, диджитализация, децентрализация (decarbonization, digitalization, decentralization) [48].

Эти три аспекта стали важными в стратегиях энергетического перехода в современном мире. Декарбонизация направлена на снижение вредного воздействия на окружающую среду путем перехода к чистым источникам энергии. Диджитализация позволяет улучшить управление и эффективность энергетическими системами. Децентрализация способствует повышению гибкости и надежности сетей энергоснабжения.

Изучение климатических явлений и их воздействия на окружающую среду для человечества приобретает приоритетное значение в современном контексте энергетического перехода. Глобальное потепление и изменения климата подчеркивают неотложную необходимость снижения выбросов парниковых газов и перехода к устойчивым, экологически чистым источникам энергии [91]. Климат, взаимодействуя с энергетикой, имеет существенное влияние на эффективность и устойчивость энергетических систем [3]. Исследования климата и разработка климатически совместимых энергетических решений становятся неотъемлемой частью стратегического планирования и разработки энергетического сектора, обеспечивая устойчивое и экологически безопасное будущее.

В целом, можно определить что возобновляемая энергетика играет ключевую роль в достижении устойчивого развития и перехода к низкоуглеродной экономике. Она снижает зависимость от ископаемого топлива, ограничивает выбросы парниковых газов и способствует сохранению природных ресурсов. Поэтому, инвестиции и развитие возобновляемых источников энергии критически важны для будущего планеты и энергетической отрасли.

Возобновляемые энергоресурсы включают в себя потоки водных ресурсов, силу ветра, солнечное излучение или природную тепловую энергию из недр Земли, а, которая может воспроизводиться искусственным или натуральным путем.

Принцип работы гидроэлектростанций (далее - ГЭС) заключается в преобразовании кинетической энергии воды в электрическую. Обычно на реке строится плотина, создающая водохранилище. Вода через специальные каналы подается на турбину, заставляя ее вращаться. Вода вращает турбину и продолжает свой путь к руслу реки, расположенному ниже уровня водохранилища. Аналогично другим, описанным ранее, видам генерации электроэнергии, вращение турбины создает механическую энергию и приводит в действие генератор. Генератор непосредственно производит электроэнергию. Таким образом, используя простую гравитацию и энергию потока воды, происходит генерация электрической энергии [90].

Благодаря использованию силы тяжести и энергии водного потока процесс генерации становится эффективным и экологически чистым. Гидроэнергетика также характеризуется низкой себестоимостью производства электроэнергии. Интересным фактом также является, что в рамках гидроэнергетики меньше энергии затрачивается для закачки энергоресурса (воды) обратно в резервуар для сброса, чем вырабатывается при генерации электроэнергии.

В Российской Федерации явным лидером в области гидроэнергетики является ПАО «РусГидро», так как именно данной организации принадлежит более половины мощности гидроэлектростанций в Российской Федерации.

Достоинства гидроэнергетики:

- восстановление используемых природных ресурсов происходит в достаточно короткие сроки и не требует больших затрат относительно получаемой выгоды. В результате, стоимость электроэнергии, вырабатываемой таким способом, значительно ниже, чем у других типов электростанций. На российских гидроэлектростанциях, например, себестоимость электроэнергии в два раза ниже, чем на тепловых электростанциях;

- гидроэлектростанции отличаются гибкостью в управлении. С помощью их турбин можно оперативно регулировать мощность станции от

минимальной до максимальной. В то же время, в отличие от тепловых и других электростанций, они способны быстро набирать рабочую мощность с максимальным КПД, при благоприятных условиях;

- работа гидроэлектростанции не сопровождается вредным загрязнением воздуха. Одним из положительных факторов является влияние водохранилищ, образываемых при строительстве гидроэлектростанций, на формирование более умеренного климата в соответствующем регионе;

- строительство плотин с образованием водохранилищ улучшает судоходство, влияет на увеличение рыбных запасов, способствует разведению рыбы [83].

Недостатки гидроэнергетики:

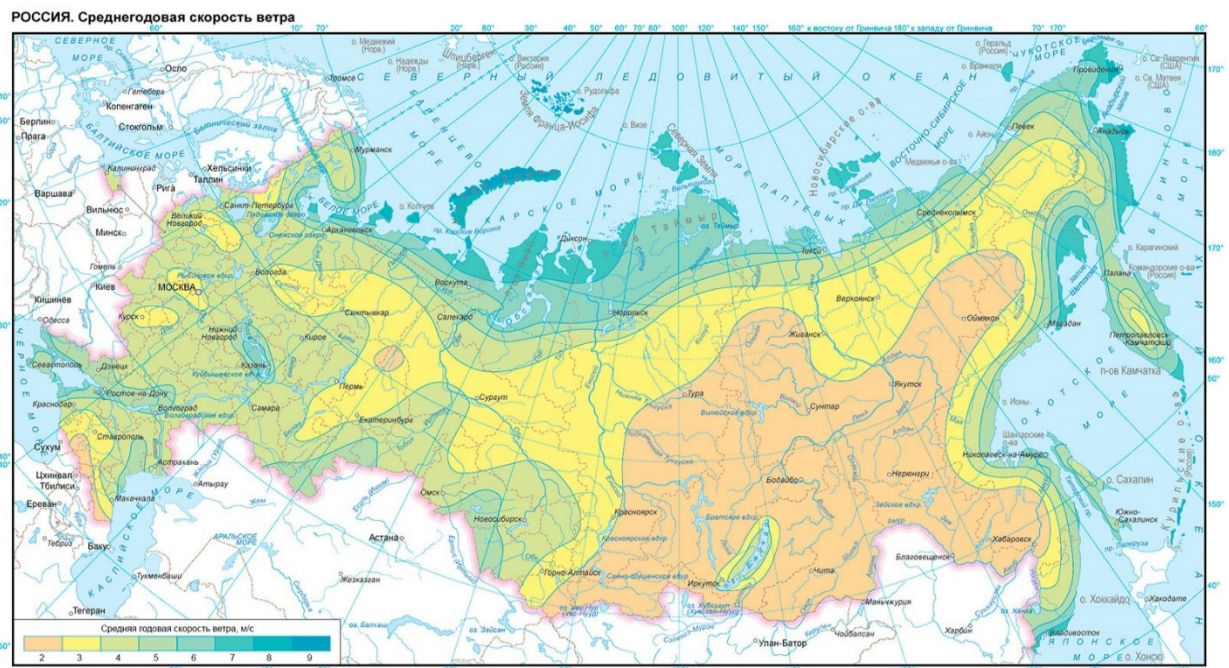
- отзывы о гидроэлектростанциях справедливо указывают на проблемы, в основном, экологические, которые вызваны их появлением. Прежде всего, это связано с затоплением больших площадей сельскохозяйственных угодий, в том числе - плодородных земель. Оставшаяся пойменная почва теряет влагу. Многие виды растительности исчезают. В результате, моря и океаны получают меньше ценных питательных веществ;

- ограниченные или остановленные водные пути на плотинах изменяют уникальные экологические системы ручьев и пойм. Такие географические изменения не редко приводят к тому, что некоторые реки, недополучающие водных ресурсов, начинают мелеть, загрязняться, а флора и фауна, в том числе и уникальная для каждого конкретного водоема, умирать. Некоторые беспозвоночные и другие водные обитатели исчезают с одновременным появлением обилия насекомых. Многие перелетные птицы лишены своих обычных мест гнездования;

- при проектировании и строительстве станций приоритет отдается только районам с большими запасами воды. Они часто находятся гораздо дальше от потребителей, чем ТЭС. Кроме того, имеют место риски, которые не всегда принимаются во внимание. Потенциальный риск представляют

гидроэлектростанции на горных реках, которые иногда строятся в районах с высокой сейсмической опасностью.

На ветроэлектростанциях (далее - ВЭС) ветер приводит в движение генератор. Ветроэлектростанция – это такая же турбина, но приводимая в движение с помощью силы ветра. Ветроэнергетика работает по схожему принципу: ветер вращает лопасти турбины, которые приводят в движение генератор. Для эффективной работы ветряных электростанций требуется минимальная скорость ветра 4,5 м/с. По этой причине ветрогенераторы устанавливают на возвышенностях, а высота самих турбин обычно составляет от 30 до 60 метров [85]. Распределение средней силы ветра по регионам Российской Федерации можно увидеть на рисунке 2.



Источник: [34].

Рисунок 2 - Средняя скорость ветра по регионам Российской Федерации

На российском рынке ветроэнергетики основными компаниями являются Enel Russia, NovaWind (ГК Росатом) и Fortum, из тех, кто делает большую ставку на данный вид генерации и активно развивает это направление.

Преимущества ветроэлектростанций:

- бесплатный энергоресурс. Использование силы ветра является бесплатным. Возникновение ветра и его наличие – это естественное и неиссякаемое явление природы;

- управляемость. Принципы возникновения и наличия ветра – естественны и изучены. Существуют территории, где ветер не исчезает и является величиной достаточно постоянной. Точно так же, как поток воды в реке. Это делает работу ветроэлектростанции менее стохастической и более предсказуемой. Тем самым ветроэнергетика составляет конкуренцию классической генерации;

- инновационность. Развитие технологии невозможно без апробации. Создание новых ветряных электростанций ведет к технологическому развитию, техническим инновациям. Именно эти инновации, возможно, позволят перевести и другие направления использования ископаемого топлива на возобновляемые энергоресурсы;

- снижение затрат. Постоянный технологический процесс и развитие данного направления привело к тому, что в течение последних десяти лет себестоимость производства электроэнергии с помощью ветроэлектростанций снизилась на 80%. Это делает ветроэнергетику одним из самых выгодных видов генерации электроэнергии из всех типов электростанций. А морские ветроэлектростанции входят в тройку лидеров среди всех видов генерации электроэнергии и оказывают серьезную конкуренцию гидроэнергетике и солнечной энергетике;

- безопасность. Аварийные ситуации при производстве такого вида электроэнергии не могут привести к значительным техногенным катастрофам, в отличие от атомных электростанций или даже угольных электростанций. Если удастся избежать аварийных ситуаций, то по завершении срока полезного использования и демонтажа станции – не остается никаких следов ее жизнедеятельности, наносящих вред природе, ни на земле, ни в воздухе;

- эффективность. Эксплуатация ветроэлектростанций имеет конкурентные показатели не только в стоимости электроэнергии, но также и в КПД такого рода выработки, при грамотном проектировании. В отличие от солнечной генерации, которая работает только в светлое время суток, или других видов возобновляемых источников энергии, которые сильно привязаны к конкретному географическому положению. Ветроэлектростанция работает с определенной регулярностью и может быть установлена практически на любой территории;

- приемственность. Установка ветроэлектростанции признана общественностью и не вызывает вопросов о своей экологичности и энергонезависимости, хотя и имеет некоторые спорные моменты [86].

Недостатки ветроэлектростанций:

- стохастичность выработки. К нашему великому сожалению, ветер не постоянен в большинстве мест, как и многие другие природные явления на нашей планете, подвержен влиянию спутника земли и движению солнца. Хотя, такое природное явление, как ветер, и подчиняется определенным законам природы, имеет свои источники и закономерности, но далеко не всегда предсказуем в необходимой степени. Ветра может не быть в течение длительного времени, вопреки любой статистики и прогнозам. Отсюда вытекает одна из основных проблем ветрогенерации – она не может предоставить бесперебойную поставку электроэнергии;

- орнитологическая опасность. Ветроэлектростанции не являются полностью безопасными для окружающей среды, ведь они, тем не менее, выполняют механическую работу и являются неестественными конструкциями для окружающей среды. К примеру, мощные движущиеся элементы ветроэлектростанций не только создают во время работы вибрацию, которая отпугивает животных и насекомых, но привлекает птиц, летучих мышей. Будучи установленными на пути миграции птиц, наносят значительный ущерб фауне, приводя к гибели этих птиц;

- влияние на человека. Как уже упоминалось ранее, движение лопастей ветроэлектростанции создает вибрации и низкочастотный шум, оказывающий влияние не только на фауну, но также и на людей. Такого рода шумы на уровне ультразвука могут вызывать головные боли, головокружение или даже, так называемый, синдром ветряных турбин. Все это пагубно отзывается на здоровье человека. Поэтому, установка ветрогенерирующей электростанции в непосредственной близости с местом постоянного пребывания людей не рекомендуется;

- звуковые и электромагнитные излучения, оказывающие влияние на человека, также влияют и на приборы связи. Помехи, сбои или магнитные отклонения – это частое явление вокруг ветроэлектростанций;

- необходимость поддержки. Ветряные электростанции вырабатывают электроэнергию на длительном временном промежутке только в 30% времени. Поэтому, для бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией, должны «поддерживаться» альтернативными генерациями. Такие поддерживающие электростанции часто являются «грязными». Например, угольными электростанциями, которые, в свою очередь, производят вредные выбросы.

Геотермальные электростанции (далее - ГеоТЭС) используют почти классическую систему тепловой электростанции, только электрическая энергия вырабатывается за счет тепловой энергии из недр Земли, замещающей тепловую энергию от сжигания энергоресурсов.

В Российской Федерации геотермальная энергетика почти не развита, а все ГеоТЭС расположены в Камчатском крае, на большом удалении от крупных поселений и значительных промышленных объектов.

Достоинства:

- впечатляющие запасы геотермальной энергии. Одним из главных преимуществ геотермальной энергии является то, что ядро земли по отношению к продолжительности жизни человечества - величина постоянная. Ее температура не будет сильно колебаться в обозримом будущем;

- экологичность. Геотермальная энергия, по сути, использует естественный процесс, который повторяется на тепловых электростанциях с помощью сжигания вредных, загрязняющих атмосферу, веществ. Именно отсутствие главного этапа, где на тепловых электростанциях производится основное загрязнение атмосферы, и делает геотермальную энергию экологически чистой;

- экономичная эксплуатация. Эксплуатация геотермальной электростанции, как и многих видов электростанций с использованием возобновляемых источников энергии, не требует затрат на энергоресурсы, что значительно снижает общие операционные расходы на производство электроэнергии;

- двойное назначение. Геотермальная энергия является естественным способом опреснения воды, а геотермальная электростанция не только использует ее для генерации электроэнергии, но и может накапливать для дальнейшего использования во всех остальных сферах деятельности.

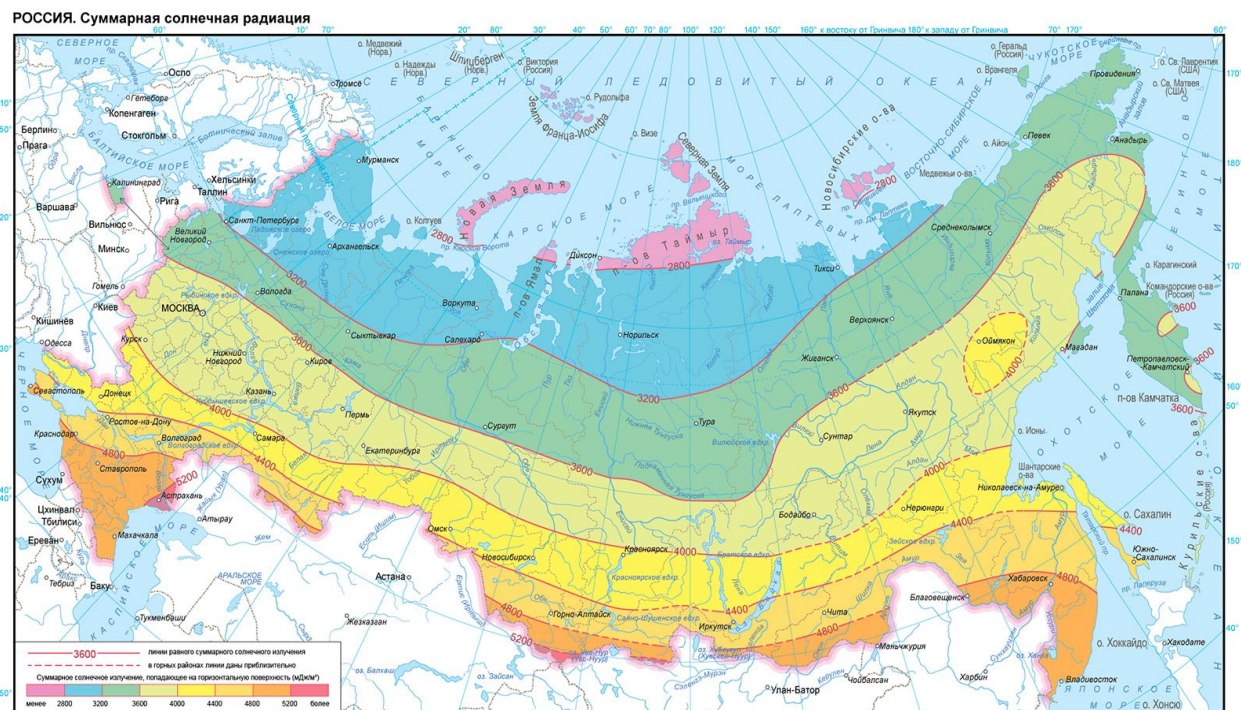
Негативные эффекты:

- повышенная опасность в местах установки. Геотермальные источники расположены в местах трещин или разломов земной коры. То есть в зонах потенциально опасной сейсмоактивности. Даже на современном этапе развития науки, отсутствует возможность точно спрогнозировать опасные движения коры, землетрясения, выбросы лавы и других негативные явления. Все это делает использование такой генерации опасной и не предсказуемой;

- вредные вещества. Помимо выбросов воды, в источниках геотермальной генерации могут иметь место выбросы различных вредных веществ, которые нагреваются и проникают в атмосферу.

Отличительной особенностью, последнего из списка наиболее распространенных, видов генерации является совсем иной принцип преобразования энергии в электричество. Данный принцип отличается тем, что генерация электроэнергии происходит без использования турбин и механического движения. Таким видом генерации является

фотоэлектрическая солнечная энергетика. Основанная технология на улавливание солнечной радиации (инсоляции). Карта инсоляции по регионам Российской Федерации представлена на рисунке 3.



Источник: [34].

Рисунок 3 – Суммарная годовая инсоляция по регионам Российской Федерации

В генерации электроэнергии с помощью солнечного излучения сразу можно увидеть несколько очевидных негативных моментов, таких как сезонность, большая зависимость от времени суток и других проявлений особенности положения Земли и Солнца. Тем не менее, это кардинально иной способ получения электроэнергии, имеющий огромный потенциал и свои несомненные достоинства.

Солнечные электростанции (далее - СЭС) состоят из большого количества солнечных панелей. Солнечные панели включают в себя фотоэлектрические элементы - полупроводниковое устройство, преобразующее солнечную радиацию в электрическую энергию.

В Российской Федерации солнечная генерация, в настоящий момент, развивается, в основном, за счет государственных субсидий. В силу жестких

правил локализации оборудования, данная отрасль представлена, по сути, только тремя компаниями. Две из которых имеют собственные производства на территории Российской Федерации: ГК «Хевел», ГК «Солар Системс», ГК «Т-Плюс».

Преимущества солнечных электростанций:

- солнечный свет относительно постоянен. Солнце является звездой, питающей своей энергией нашу солнечную систему. Более миллиарда лет человечество может не беспокоиться о ее исчезновении;

- солнце светит по всей поверхности Земли. На поверхности нашей планеты не так много мест куда солнечный свет никогда не доходит. Конечно, где-то солнечного света бывает много, а где-то солнечного света существенно меньше. Тем не менее, солнце светит в какие-то промежутки времени везде. Даже на полюсах планеты присутствует солнечное излучение. В свою очередь, солнечная электростанция вырабатывает электроэнергию даже при минимальном объеме солнечного излучения, не взирая на температурные условия;

- минимальное воздействие на окружающую среду. Конечно, производство, транспортировка и установка солнечных систем сопровождаются выбросами в атмосферу, как и утилизация солнечных панелей. Однако по сравнению с традиционными энергетическими системами, эти эффекты незначительны;

- солнечная энергетика статична. Чаще всего, солнечная электростанция включает в себя статично установленные солнечные элементы. Для выработки электроэнергии не требуется вращения или перемещения солнечных панелей. Конечно, иногда, для улучшения выработки электроэнергии, можно использовать гелиостатические трекинговые системы, которые повторяют движение солнца, но они являются скорее дополнением, а не необходимостью. Отсутствие движущихся элементов и механического воздействия снижает потребность в техническом обслуживании, износ оборудования и операционные расходы;

- долгий срок эксплуатации. Современные технологии обеспечивают такое качество оборудования, что за первые 25 лет использования производительность солнечных панелей падает незначительно (от 2% до 10%). Даже после паспортного срока эксплуатации выработка электроэнергии не прекращается;

- солнечные системы используются в разных областях. они обеспечивают электроэнергией труднодоступные регионы, где нет централизации электросети. Они используются для опреснения воды. Они питают орбитальные спутники и т.д.;

- потенциал СЭС возрастает с развитием науки. Открытия в области квантовой физики и нанотехнологий позволят увеличить мощность гелиостатических станций.

Недостатки солнечных электростанций:

- большая зависимость от погодных условий. Работа солнечных панелей зависит исключительно от солнечной радиации, которая в малой степени отражается и от поверхности Луны в ночное время. Однако во время сильной облачности почти не пропускается облаками. Хотя, например, вакуумные СЭС очень чувствительны к инфракрасному излучению, поэтому они накапливают солнечную энергию даже в пасмурные дни (с более низким КПД). В большинстве случаев, эта проблема солнечных электростанций решается путем оснащения их батареями для накопления энергии для ее последующего использования в неблагоприятных условиях;

- неполная экологичность. Хотя, солнечная энергетика, обычно, считается экологичным видом генерации электроэнергии, но, как и почти любое другое производство, производство оборудования для солнечных электростанций происходит с выбросами парниковых газов;

- солнечные панели имеют мощность около 300 Вт на квадратный метр. Этот показатель можно считать как преимуществом, так и недостатком солнечной электростанции. Основной проблемой является то, что для

выработки значительного количество электроэнергии требуется большая площадь [5; 7; 17].

Разработка и поиск новых способов получать и хранить любого вида энергию является одной из наиболее важных задач в настоящее время. Человечество потребляет ископаемые энергоресурсы в больших объемах, что пагубно влияет на всю окружающую среду, не говоря о том, что данные запасы данных энергоресурсов является ограниченным. Научная «мечта» для ряда ученых состоит в том, чтобы получить альтернативу электричеству, но она все еще недостижима и остается «мечтой». Топливный кризис в обозримом будущем неизбежен, и нетрадиционные источники энергии призваны помочь предотвратить топливный кризис или хотя бы смягчить [47].

Альтернативные источники энергии — это совокупность разного вида источников энергии, которые не являются традиционными для генерации любого вида энергии, как тепловой, так и электрической. Можно допустить появления прорывных технологий и видов генерации. Но сегодня главная задача — увеличение доли генерации через уже открытые и освоенные «зеленые» технологии. В настоящий момент, со всей очевидностью, выбор будет стоять между:

- энергией ветра и солнца;
- энергией воды: рек и морей;
- теплом от ядра Земли;
- биотопливом, для которого используется биологическая масса растительного и животного происхождения.

Однако важно учитывать, что «возобновляемость» источника энергии или «альтернативность» еще не означает сто процентную «экологичность» данного источника энергии или отсутствие значительного влияния на окружающую среду.

Каждый источник энергии, будь то традиционный или альтернативный, имеет ряд преимуществ и недостатков, характерных для них. Кроме того, каждая группа энергоресурсов имеет общие преимущества и недостатки.

Более того, альтернативный источник энергии совсем не означает возобновляемый источник энергии.

Преимущества и недостатки использования возобновляемых источников энергии.

Если говорить о возобновляемых источниках энергии, то среди преимуществ стоит упомянуть:

- возобновляемость источников энергии;
- экологическую безопасность;
- доступность и возможность использования в широком спектре применений;
- отсутствие зависимости от поставок энергоресурсов;
- низкую стоимость энергии, производимой после преобразования.

Недостатками использования являются:

- высокая стоимость оборудования и значительные материальные затраты на этапах, связанных со строительством и монтажом;
- низкая эффективность установок;
- зависимость от внешних факторов: погодных условий, силы ветра и т.д.;
- относительно низкая установленная мощность единицы генерирующих объектов, за исключением гидроэлектростанций.

Российская Федерация может получать от ветра около 10% всей энергии, и около 15% - за счет солнечной энергии. Однако возобновляемые источники энергии в нашей стране не очень распространены. Это связано с пока еще не дорогим доступом к «не возобновляемым» ресурсам (нефти и газу, углю). Также, нет экономических стимулов для строительства новых электростанций. Во многих странах Европы существует стимулирующий тариф, по которому государство покупает энергию, полученную альтернативными способами, существенно дороже. В Российской Федерации такой тариф все еще не введен.

Развитие возобновляемых источников энергии позволит сохранить природу для будущих поколений и избежать кризиса истощения невозобновляемых ресурсов. И, согласно долгосрочным прогнозам, будущее энергетики как раз связано с энергией солнца и ветра. Наши надежды связаны с тем, что движение в сторону освоения возобновляемых источников позволит успеть сделать прорыв до того момента, когда запасы нефти и газа на планете будут истощены [11].

В 2009 году Европейский парламент и высший политический орган Европейского союза - Европейский Совет: приняли директиву о содействии использования возобновляемых источников энергии. Данный документ является основой всей политики Европейского союза по отношению к возобновляемым источникам энергии. Например, в рамках данного постановления предусматривается возможность устанавливать фиксированные тарифы для приобретения электроэнергии, произведенной из возобновляемых источников энергии. Причем не только для продавцов такого рода электроэнергии, но также и для покупателей. В обмен, потребители получают субсидии от правительства своей страны на приобретение такого рода электроэнергии. В настоящее время, такой инструмент почти не используется, в связи с нерыночностью, но именно так начиналось развитие возобновляемой энергетики. В текущей практике, чаще всего можно встретить субсидии в виде бонусов для потребителей, связанные с конкретным объемом выкупа электроэнергии из возобновляемых источников [43].

В Соединенных Штатах, в качестве поддержки развития возобновляемых источников энергии, полагаются на систему налоговых вычетов, и не только для потребителей чистой электроэнергии, но также и для всех участников рынка, кто занимается развитие соответствующего направления. Имеется практика выделения субсидий на реализацию проектов возобновляемой энергетики для частных домохозяйств и покрытия их собственного потребления.

Уникальной особенностью поддержки возобновляемых источников энергии в Соединенных Штатах является развитие не только производства, но и объектов хранения энергии. Это происходит потому, что при таком большом объеме перехода на стохастичные возобновляемые виды генерации сложно осуществлять бесперебойность поставки электроэнергии, как одного из основополагающих продуктов для жизнедеятельности человека. Системы хранения электроэнергии, в настоящий момент, не так хорошо изучены и развиты. Многие ученые и научные институты стараются ответить на вопрос, каким образом лучше всего сохранять выработанную электроэнергию из дешевых источников электроэнергии. Так, в США уже с 2016 года налоговые льготы также применяются к компаниям, осуществляющим не только производство, но и хранение энергии [25].

Однако важно понимать, что развитие возобновляемых источников энергии в Соединенных Штатах изначально не являлось основной целью, а лишь способом заменить грязные производства. В частности, генерацию электроэнергии с использованием угля.

В 2022 году на долю возобновляемых источников энергии в Соединенных Штатах приходилось 21.3% производства электроэнергии [108]. Около половины чистой электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях.

Основным документом, регламентирующим поддержку генерации электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии на территории Российской Федерации, является распоряжение Правительства Российской Федерации «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» [114].

Это, фактически, единственный документ в нашем законодательстве, в котором говорится о возобновляемой энергетике не только в рамках гидроэлектростанций, или, спорно приписываемых к ней, газовых

электростанций, но рассматриваются также солнечная, ветряная, и малая гидроэнергетика. Основной вопрос документа - поддержка ветряных турбин, проблема развития солнечной генерации и применение мини-гидроэлектростанций.

Для содействия использованию возобновляемых источников энергии, планируется увеличить вовлеченность возобновляемых источников электроэнергии в рынок электроэнергии, а также выделять государственные субсидии для ввода новых генерирующих мощностей не только классической генерации, но и на основе возобновляемых источников энергии. В рамках данного содействия, даже создавалась своя конкурсная программа для отбора проектов малых ГЭС, СЭС и ВЭС. Однако, не успев прийти на этот рынок и получить достаточное количество опыта, вся реализация данных программ оказалась основана на импортозамещении, а не на применении лучших международных практик. Тем не менее, электростанции, в рамках данного конкурсного отбора, получают возможность реализации электроэнергии по разыгранной цене в течение нескольких лет.

Возобновляемая энергия обладает неисчерпаемым запасом, поскольку она выделяется в результате естественных природных процессов, которые не будут истощены в обозримом будущем. В связи с этим, наиболее перспективной заменой классических ископаемых энергоресурсов является использование возобновляемых источников энергии.

Тем не менее, в настоящий момент возобновляемые источники энергии не так развиты и покрывают лишь 29,8% мирового производства энергии. Оставшиеся 70,2% мировой энергетики все еще приходятся на ископаемые ресурсы или на другие виды классической энергетики. Только на долю ядерной энергии приходится около 6%. Поэтому большая часть мировой электроэнергии поступает из ископаемого топлива [107].

В условиях современной геополитической обстановки, накладываемых санкций на ископаемые энергоресурсы и трансформации взаимодействия между государствами, классическая система со странами-донорами

и странами импортерами энергетических ресурсов не оправдывает себя. Проблемы XXI века приводят к тому, что вопросы энергетической безопасности и поиска идеального ресурса для добычи энергии как тепловой, так и электрической, становятся все более важными и актуальными. Однако такой ресурс должен обладать большим количеством характеристик. В первую очередь - быть экономически эффективным.

Экономическая эффективность генерации электроэнергии подразумевает не только низкую цену самой генерации и операционных затрат на производство, но обязательно должна учитывать и капитальные затраты на создание такого рода производства, а также утилизацию и возможные негативные последствия. Негативные последствия, оказываемые как на природу, в рамках обычной эксплуатации, так и в случае каких-то аварийных ситуаций.

Многие виды генерации с использованием возобновляемых источников энергии, наоборот, отвечают требованиям экологической безопасности в рамках устойчивого развития человечества, и не могут принести значительного ущерба, даже при возникновении аварийных ситуаций. Более того, многие возобновляемые источники энергии являются независимыми от геополитических ситуаций и, скорее, имеют вопрос региональной доступности. Никто не сможет лишить страну доступа к солнцу в случае разрыва дипломатических отношений, как и остановить ветер не получится в случае, если какая-то страна не захочет продлевать договорные отношения. Более того, отсутствие значительных операционных затрат на энергоносители делает возобновляемые источники энергии наиболее привлекательными с экономической точки зрения. Они позволяют фиксировать стоимость электроэнергии еще на этапе строительства, ведь удельная стоимость одного кВт*ч зависит только от общей суммы капитальных затрат. Кроме того, с развитием технологий, стоимость сооружения объектов генерации с использованием возобновляемых источников энергии становится все меньше

и меньше. Все это положительно влияет на цену на единицу производимой продукции [13].

Например, согласно международным отчетам, стоимость ветровой электроэнергии в размере 0,03 - 0,04 долларов США за кВт/ч в настоящее время возможна в местах даже со средним уровнем природных ресурсов и хорошей институциональной и нормативной базой [106].

В «солнечных» странах, таких как Чили, Мексика, Перу, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Казахстан и других странах близких к экватору, новые солнечные электростанции имеют среднюю удельную стоимость производимого кВт/ч на уровне 0,03 долларов США [99].

Если сравнивать такую удельную стоимость производимого кВт/ч с себестоимостью классической генерации на основе невозобновляемых энергоресурсов, то их стоимость варьируется от 0,05 долларов США за кВт/ч до более чем 0,15 долларов США. Такой показатель выше средней стоимости электроэнергии в мире.

Постоянное снижение стоимости новых возобновляемых источников энергии позволяет им конкурировать с объектами классической генерации, даже не учитывая обширную поддержку возобновляемых источников энергии со стороны правительств. Во многих регионах мира некоторые виды генерации электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии уже являются наиболее эффективным вариантом выработки электроэнергии. Экономическая эффективность такого рода проектов не сравнима с классической генерацией, даже при доступности традиционного энергоресурса. В том числе, и на территории нашей страны существуют регионы, где генерация электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии является наиболее дешевой и эффективной для решения текущих проблем не только потребителя, но и всей энергетической системы в целом. Такими регионами являются Дальний Восток, где существуют огромные территории, что усложняет доставку энергоресурсов для отдаленных территорий или южные регионы Российской Федерации, где

выработка солнечных электростанций является наиболее эффективной, а также северные морские регионы Российской Федерации с высокими показателями ветряной нагрузки. Вероятнее всего, с развитием технологий хранения электроэнергии, данная позиция только усилится, и возобновляемые источники энергии получат повсеместное применение, вне зависимости от доступности ископаемых энергетических ресурсов [33].

Учитывая растущую важность вопросов экологии, связанных с приближающимся экологическим кризисом, повышением температуры земли из-за выбросов парниковых газов и другими антропогенными проблемами, после промышленной революции, основное внимание уделяется экологически чистым альтернативным источникам энергии. Многие возобновляемые источники энергии такими и являются.

Давно доказано, что сжигание ископаемого топлива наносит ущерб всей природе, ставя под вопрос возможность выживания всего человечества. Ухудшение климатических условий, причинение вреда здоровью человека, ущерб биологии всей планеты и другие проблемы являются последствиями использования ископаемых энергоресурсов. Использование возобновляемых источников энергии не решит всех описанных проблем, и нельзя сказать, что использование альтернативных источников энергии является полностью экологически чистым. Однако такого рода энергетический переход и учет не только экономической составляющей, но и другого рода экстерналий, являются одним из доступных способов перехода к экологической устойчивости. Уровень загрязнения окружающей среды или негативные эффекты от использования разных видов возобновляемых источников энергии бесконечно малы в сравнении с использованием классических видов генерации электроэнергии [14].

Таким образом, возобновляемые источники энергии, несомненно, являются востребованным решением для глобальной декарбонизации (сокращения выбросов углекислого газа).

Возобновляемых источников энергии, на долю которых приходится всего 29 процентов мирового производства энергии, крайне недостаточно для удовлетворения потребностей всей мировой экономики. Более того, постоянно растущее население земли предполагает также и рост потребления энергии, даже с учетом всевозможных энергосберегающих технологий и политик. Таким образом, другим, не менее важным, фактором оценки перспективы развития энергетической отрасли и спроса на новую генерацию должен стать учет необходимости удовлетворения растущего потребления.

Принимая все это во внимание, правительство, политики и нефтегазовые компании утверждают, что до тех пор, пока перспективы использования возобновляемых источников энергии в качестве ключевых поставщиков не станут достаточно жизнеспособными, использование ископаемых ресурсов является единственным выходом для осуществления жизнеобеспечения. Очевидно, что в одночасье перейти на возобновляемые источники энергии просто невозможно, а человечество еще не привыкло к тому, что следует учитывать какие-либо показатели, помимо финансовых. Тем более, когда нефинансовые показатели так сложно измеримы и не имеют прямого эффекта влияния и оценки на какую-либо деятельность в ближайшем будущем.

Несмотря на то, что перспектива использования возобновляемых источников энергии для замены ископаемого топлива привлекательна, полный глобальный переход к новой генерации потребует ряда сложных и трудоемких процессов, которые приведут с существенным затратам [26].

Перспектива к 2050 году обеспечить большую часть мировой энергии использованием возобновляемых источников энергии всё ещё слишком оптимистична, хотя мировые лидеры могут, благодаря правильным политическим решениям, повлиять на их мировое производство.

Такого рода цели потребуют колоссальных изменений не только в рамках экономических аспектов, но потребуются также и корректировка социальных, политических, культурных и других сфер жизни общества. Существуют также и примеры, где страны максимально приблизились к тому,

чтобы энергетический переход прошел в срок. Такие страны как Дания, Испания и Германия уже в большей степени снабжаются электроэнергией исключительно из возобновляемых источников энергии. Франция на 80% обеспечивается с помощью атомной энергетики, что, не являясь полностью экологически чистым источником энергии, все равно значительно меньше оказывает негативного воздействия на окружающую среду при обычном режиме эксплуатации. Также необходимо учитывать, что помимо готовности к энергетической трансформации со стороны государств, в настоящий момент еще требуются значительные технологические прорывы для осуществления полноценного энергетического перехода. Все эти вопросы делают почти невозможным рассчитать трудозатраты, стоимость и сроки такого рода перехода. Надо быть готовым к тому, что это не обойдется дешево, просто и быстро [78].

Если рассматривать вопрос технологической возможности энергетического перехода, то самой очевидной проблемой является стохастичность выработки и невозможность осуществления поставки электроэнергии не тогда, когда она необходима, а лишь тогда, когда это является возможным. Другим, не менее важным фактором, является вопрос удельной мощности объектов генерации. Многие возобновляемые источники энергии требуют значительных площадей для генерации электроэнергии, сравнимой с классической генерацией. Для сравнения, строительство ветроэлектростанции потребует в среднем 10 гектаров промышленной земли, что не сопоставимо с приходящимися на одного жителя Земли 1,3 гектарами промышленной земли.

Ожидается, что глобальная и чрезмерная зависимость от ископаемого топлива будет снижаться. Классической генерацией станет то, что сейчас выносятся в отдельные виды как возобновляемые источники энергии, или альтернативные источники энергии. Помимо описанных выше направлений развития общества, также следует учитывать, что запасы ископаемых энергоресурсов конечны, и их добыча становится все сложнее и сложнее.

Добыча требует все больших капитальных затрат и инвестиций. Все это, рано или поздно, приведет к тому, что зависимость от ископаемых энергоресурсов сойдет на нет. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в снижении этой зависимости и поиске альтернатив, многое еще предстоит сделать для предотвращения потенциального энергетического и экологического кризиса [77].

Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. [119]. также подразумевает развитие направления возобновляемых и «чистых» источников энергии. Тем не менее, в нашей стране нормативно-правовая база по поддержанию направления технологий возобновляемых источников энергии любого вида появилась не так давно. Более того, после внесения в Энергетическую стратегию до 2030 года [120] данного направления, долгое время не существовало никаких реальных программ или вспомогательных нормативных актов по регулированию и организации соответствующей деятельности.

Вот уже несколько лет в Российской Федерации проводятся конкурсы по отбору проектов по возведению крупных объектов генерации электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии. Не так давно объявлена вторая стадия и продление соответствующей программы, так называемая ДПМ ВИЭ 2.0. Тем не менее, вопрос перехода на более «чистые» источники энергии и развития технологий возобновляемых источников энергии касается не только централизованной генерации электроэнергии. Не менее важным аспектом данного вопроса является также и распределенная генерация. Распределенная генерация мало того, что сокращает значительные потери в сети передачи энергии, так еще и в наибольшей степени подходит для возобновляемых источников энергии.

1.3 Особенности работы электроэнергетического комплекса Российской Федерации

Согласно Федеральному Закону №35 «Об электроэнергетике» [110], отрасль электроэнергетики является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения человека. В современном мире сложно себе представить существование каких-либо процессов производства или жизнедеятельности без применения электроэнергии. Наша страна является одним из лидеров по объему энергетического рынка среди остальных стран мира. Нужно отметить, что в Российской Федерации организация рынка электроэнергетики имеет свою специфику. Он работает по несколько иным правилам и законам, отличным от остального мира. На формирование этой специфики повлияли особенности политических систем, имевших место в Российской Федерации на протяжении длительного времени ее развития. Кроме того, это специфика играет роль в подходе к управлению экономикой в целом и к ее развитию, и в настоящее время. Так, электроэнергетика в нашей стране считалась и считается социально значимой отраслью, которую необходимо административно контролировать, которой нужно помогать «сверху». В результате, электроэнергетика в Российской Федерации развивалась исключительно с технологической стороны и мало связана с экономической эффективностью и экономической обоснованностью решений. Это привело к тому, что российский рынок электроэнергетики имеет уникальную и малоэффективную структуру.

Российская электроэнергетика, с момента своего появления, основывалась на высокой централизации производства электроэнергии и систем электроснабжения. В основном, это обусловлено тем, что во время индустриализации в СССР приоритет отдавался строительству заводов-гигантов и особых промышленных центров. Наследием этого процесса являются моногорода с населением в почти миллион человек. Помимо этого, растущая урбанизация, плановый и амбициозный рост промышленного производства, создание промышленных кластеров по всей территории страны, как раз, и создали систему с высокой централизацией

электроэнергетики, с огромной сетевой инфраструктурой для передачи электроэнергии на тысячи и тысячи километров.

Лишь в 2002 году началось реформирование этой отрасли [111]. В результате чего образовался новый рынок электроэнергетики. Произошли значительные изменения в государственном регулировании отрасли. Положено начало трансформированию отрасли в том направлении, в каком страна движется сейчас. Конечно, уже проведенные реформы не сформировали рынка идеальной конкуренции. Остается значительное количество монополий. Независимые частные игроки появляются на рынке достаточно медленно. Тем не менее, начало данному процессу положено. В рамках процесса реформирования рынка, разделены на отдельные сегменты генерирующие компании, сетевые компании, сбытовые компании и диспетчерские управления. Появилось территориальное деление рынков электроэнергетики, исходя не из установленных тарифов сверху, а руководствуясь именно рыночными условиями производства и поставки электроэнергии на определенных территориях. Текущая структура рынка электроэнергетики будет рассмотрена далее. Тем не менее, именно эта реформа открыла возможность для доступа на рынок частных инвесторов, зарубежных компаний с более прогрессивными технологиями и более релевантным ценообразованием, тарификацией.

Регулирование рынка электроэнергетики включает в себя большое количество нормативных актов, но основным является Федеральный Закон №35 «Об электроэнергетике» [110]. Помимо основного федерального закона, также используются и отдельные нормативные акты, определяющие основные этапы и разделы работы рынка электроэнергетики. Основными отдельными актами являются: «Правила работы оптового рынка, розничного рынка», «Правила технологического присоединения к сетям» и другие. Однако, не смотря на наличие уже достаточно обширной законодательной базы в отрасли, все еще имеют место пробелы и «белые пятна». Например, в части регулирования ВИЭ. Данный вопрос будут рассмотрен в дальнейшем.

Основной отличительной чертой административной структуры на рынке электроэнергетики является существование законодательных и согласующих органов при отсутствии исполнительных и контролирующих органов. Получается, что функции контроля за исполнением основных правил и требований на рынке – не осуществляется. Тем не менее, считается, что представителями государственного регулирования в отрасли являются такие инстанции, как Министерство Энергетики Российской Федерации, Федеральная Антимонопольная служба, Ростехнадзор, а также Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Помимо контролирующих органов, рынок электроэнергетики включает в себя большое количество разных субъектов, таких, как производственные компании, представители технологической инфраструктуры, коммерческой инфраструктуры, сбыта и потребления. Все это обширное разнообразие рынка исполняет свои функции и отвечает за свои направления деятельности, подчиняясь различным правилам и ставя перед собой разные задачи. Много субъектов рынка все еще являются государственными компаниями и обеспечивают жизнедеятельность и поддержание работоспособности всей системы.

Согласно международной статистике по производству и потреблению электроэнергии, Российская Федерация находится на четвёртом месте по объёму производства и потребления электроэнергии в мире [107]. Больше всего электроэнергии производится в Китае, затем в США и Индии. Распределение по выбросам диоксида углерода от вырабатываемой электроэнергии соответствует такому же положению в соответствующем рейтинге.

В настоящее время Единая Энергетическая Система Российской Федерации представлена в виде 75 региональных энергосистем и делится на 7 объединённых энергетических систем [115]. Карта принадлежности регионов Российской Федерации к ценовым зонам Единой

Энергетической Системы, согласно данным оператора оптового рынка электроэнергии и мощности, приведена на рисунке 4.

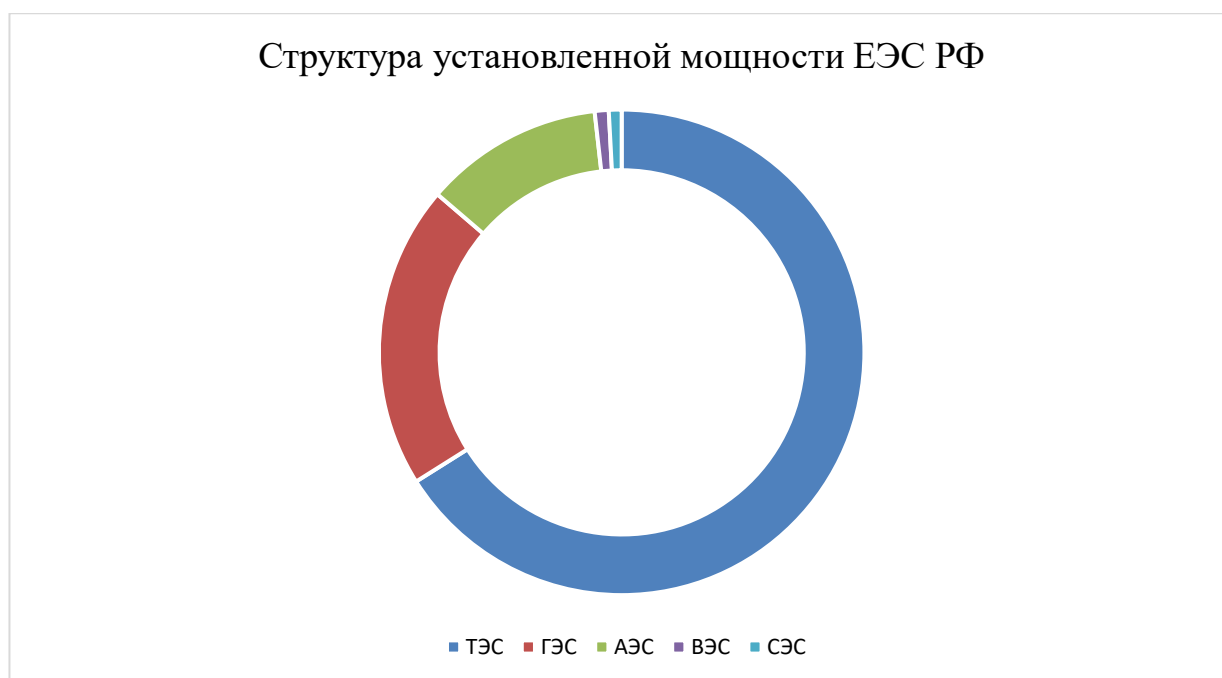


Источник: составлено автором по материалам [1].

Рисунок 4 - Отнесение регионов Российской Федерации к ценовым и неценовым зонам ЕЭС Российской Федерации на 01.01.2025

Объединенные энергетические системы максимально приближены к границам федеральных округов и административному делению страны: ОЭС Востока, ОЭС Сибири, ОЭС Урала, ОЭС Средней Волги, ОЭС Юга, ОЭС Центра и ОЭС Северо-Запада. Все энергосистемы объединены между собой и работают синхронно.

Помимо этого, в энергетическом комплексе Российской Федерации работает 911 электростанций с установленной мощностью выше 5 МВт. Согласно официальной отчетности, суммарная установленная мощность всех объектов генерации на территории Российской Федерации на начало 2024 года находилось на уровне 248,1 ГВт. Общая структура установленной мощности российского электроэнергетического комплекса представлена на рисунке 5.



Источник: составлено автором по материалам [65].

Рисунок 5 - Структура установленной мощности электростанций объединенных энергосистем и ЕЭС Российской Федерации на 01.01.2024

Из рисунка 5 видно, что в 2020 году картина с установленной мощностью, по сравнению с 2019 годом, поменялась незначительно. Доля ВИЭ в общем энергобалансе выросла до 1,89% (на 0,4% относительно общего объема), чего все еще недостаточно для покрытия всего возможного спроса на «зеленую» энергию.

Согласно данным Системного оператора Единой Энергетической Системы, за 2024 год выработка электроэнергии распределялась следующим образом:

- ТЭС – 757 ТВт*ч;
- ГЭС – 212 ТВт*ч;
- АЭС – 215 ТВт*ч;
- ВЭС – 8,7 ТВт*ч;
- СЭС – 2,9 ТВт*ч;
- ЭСПП – 67 ТВт*ч.

Визуализация структуры производства электроэнергии представлена на рисунке 6.



Источник: составлено автором по материалам [65].

Рисунок 6 - Структура производства электроэнергии в ЕЭС Российской Федерации в 2024 году по типам электростанций

Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года

В 2020 году Правительством Российской Федерации утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Согласно данной стратегии, основные цели, которые ставит перед собой российская энергетика, это содействие социально-экономическому развитию Российской Федерации и укрепление позиций в мировой энергетике к 2035 году.

Выработка электроэнергии.

По данным программы развития Единой Энергетической Системы Российской Федерации до 2026 года, в нашей стране планируется увеличение производства электроэнергии на 10% таким образом, что в период с 2021 года по 2026 год в эксплуатацию будет введено 10,5 ГВт генерирующих мощностей, в том числе 6 ГВт придется на ТЭС, 2,2 ГВт — на ВЭС и СЭС, и менее 1 ГВт - на ГЭС. Все эти прогнозы строятся исключительно на размере государственных субсидий по каждому из направлений и не учитывают

частные инвестиции в электроэнергетику. В то же время, в рамках вывода из эксплуатации генерирующих мощностей, за тот же период, планируется общий объем вывода в 9 ГВт, где 5 ГВт – это теплоэлектростанции, чаще всего - старые угольные ТЭЦ, 4 ГВт – атомные электростанции и ни одной электростанции с использованием возобновляемых источников энергии.

Стоит также отметить увеличение объемов ввода нового генерирующего оборудования на основе ВИЭ, в частности, ВЭС, СЭС и малых ГЭС. В рамках реализации программы ДПМ ВИЭ 1.0, разыграны конкурсы по стимулированию установки 5 ГВт мощности ВИЭ, а в программе ДПМ ВИЭ 2.0 планируется установка 6,7 ГВт мощности ВИЭ. Общая мощность может быть увеличена в случае снижения стоимости капитальных затрат на реализацию такого рода проектов, ведь выделено 350 млрд рублей на стимулирование данного направления. Основными регионами для реализации такого рода проектов стала Оренбургская область, Астраханская область и Забайкальский край.

Более того, введение углеродного налога на выбросы вредоносных газов в атмосферу на международном уровне [10] уже обеспечило практику регионального стимулирования развития возобновляемых источников энергии в некоторых регионах страны, таких как Омская область, Ленинградская область и Ростовская область. Все это говорит о развитии данного направления.

В нашей стране действует, с одной стороны, уникальная, а с другой стороны - достаточно классическая структура электроэнергетики. В ней играют свою роль многие технологические и экономические особенности работы электроэнергетики.

Во-первых, не вся территория Российской Федерации входит в Единую Энергетическую Систему. Поэтому, правила работы энергетической системы распространяются далеко не на всей территории Российской Федерации. Во-вторых, не на всей территории Российской Федерации цена на электроэнергию формируется на основе конкуренции и механизмов выбора

выгодного, с экономической точки зрения, предложения. Легко объяснить почему так сложилось на территории, не присоединенной к Единой Энергетической Системе. Однако даже на территории, которая входит в Единую Энергетическую Систему, имеется разделение на разные ценовые и не ценовые зоны.

Как и во многих других отраслях, рынок электроэнергетики разделен на оптовый рынок электроэнергии и мощности (далее - ОРЭМ), и на розничный рынок электроэнергии. Соответственно, на большей части Российской Федерации электроэнергия реализуется и оборачивается с помощью оптового рынка электроэнергии. Всего существует две зоны, где оборот электрической энергии и мощности производится по нерегулируемым ценам. Такое разделение обусловлено исключительно технологическими возможностями системы и механико-физическими правилами работы электроэнергетики. Первая ценовая зона включает в себя Европейскую часть Российской Федерации и Урал. Вторая ценовая зона располагается, в основном, в Сибири и недавно к ней присоединили регионы Дальнего Востока. Электрической энергией на территории ценовых зон можно торговать согласно регулируемым ценам и не регулируемым ценам. В перечень договоров с регулируемой ценой входят лишь особые виды, такие как резервное обеспечение системы или государственная субсидиарная программа по договорам поставки мощности, или поставка электроэнергии населению и приравненным к ним потребителям. Конкурентные цены используются в случае, если электроэнергия продается напрямую от продавца к покупателю, вне биржевой торговли, а также если электроэнергия торгуется внутри биржи с помощью, так называемого, рынка «на сутки вперед» и балансирующего рынка.

Однако в нашей стране рынок электроэнергетики четко разделяет понятия электроэнергии и мощности, как двух разных товаров. Более того, тариф на электроэнергию для конечного потребителя включает в себя значительное количество разных частей, не относящихся напрямую к

биржевой торговле или потреблению электроэнергии и мощности. К таким частям относятся: ставки за содержание сетей, ставка за передачу, инфраструктурные надбавки и так далее. Учитывая двухуровневость рынка электроэнергии и мощности, можно сказать, что сам рынок почти ничем не отличается от рынка любой другой сферы и отрасли. Энергетический рынок делится на оптовый и розничный сегменты. Оптовый рынок, в общем виде, есть биржа, на которой приобретается и продается товар - электроэнергия. Оптовый рынок включает в себя крупных производителей и потребителей электроэнергии, а также компании, занимающиеся ее перепродажей. Розничный рынок представлен, в основном, поставщиками электроэнергии с оптового рынка и потребителями, кто не захотел или не может заниматься самостоятельным приобретением электроэнергии на оптовом рынке. На розничном рынке электроэнергии происходит реализация все тех же продуктов, но в упрощенном виде. Таким образом под электроэнергией на розничном и на оптовом рынках подразумеваются разные продукты. Электроэнергия на розничном рынке представляется в виде совокупности всех необходимых составляющих для доставки его до конечного потребителя, производства, диспетчеризации, наценки продавцов и других необходимых процессов, в то время как на оптовом рынке происходит реализация непосредственно самой электроэнергии в чистом виде. Существует и другой товар под названием мощность. Мощность не является реальным товаром, который получает потребитель. Мощность является необходимой оплатой для поддержания работоспособными электростанции, которые были построены согласно государственным конкурсам по развитию электроэнергетики. Таким образом, потребитель несет расходы по мощности вне зависимости от реально потребления этого товара.

Электроэнергия продается и покупается на оптовом рынке только участниками оптового рынка, к которым применяются особые требования. Не каждое предприятие, а тем более - физическое лицо, может стать участником оптового рынка. Перед тем, как электроэнергия достигнет конечного

потребителя, есть еще несколько субъектов оптового и розничного рынков, принимающих участие в работе системы. В соответствии с правилами работы розничного рынка электроэнергии [113], основными субъектами рынка являются [28]:

- производители электроэнергии на розничных рынках;
- производители электроэнергии на оптовом рынке;
- энергосбытовые компании;
- сетевые компании;
- гарантирующие поставщики;
- исполнители коммунальных услуг;
- потребители;
- субъекты оперативно-диспетчерского управления;
- операторы коммерческого учета;
- контролирующие органы.

Давайте рассмотрим каждого из них подробнее и разберемся в том, какую функцию выполняет каждый из них.

Продажей электроэнергии для конечного потребителя занимаются так называемые «сбытовые компании». Сбытовая компания занимается исключительно реализацией электроэнергии и ничем больше. Это сделано для развития конкуренции на рынке. Однако сбытовая компания – это коммерческая организация, занимающаяся реализацией электроэнергии для получения прибыли. Сбытовая компания должна заботиться о платежеспособности и чистоте своих клиентов, а такой важный продукт, как электроэнергия, должен быть доступен всем гражданам и предприятиям нашей протяженной страны. В связи с этим, на каждой территории (чаще всего совпадающей с территориальным делением субъектов Российской Федерации) существует так называемый «гарантирующий поставщик». Гарантирующий поставщик – это точно такая же сбытовая компания, но, в соответствии с законодательством, назначенная на исполнение

особой функции доступности электроэнергии для всех желающих. Гарантирующему поставщику предписано не отказывать никому в продаже электроэнергии. Конечно же, за такое требование гарантирующий поставщик имеет и свои преференции. Например, если потребитель подключается к централизованной сети, то в случае, если он не выбрал альтернативную сбытовую компанию, он автоматически заключает договор электроснабжения с гарантирующим поставщиком. Более того, на самом деле, договор с гарантирующим поставщиком должен быть подписан с каждым потребителем, находящимся на территории деятельности гарантирующего поставщика. Данное требование существует исключительно для того, чтобы в какой-то момент времени ни один потребитель, подключенный к Единой энергетической системе, не оказался без соответствующего поставщика электроэнергии. К сожалению, это решение не имеет отношения к гуманистическим ценностям, а лишь обеспечивает отсутствие возможности появления неучтенного потребления. Тем не менее, обязывать пользоваться услугами только гарантирующего поставщика никто на рынке не вправе. Основными отличительными чертами гарантирующего поставщика являются [112]:

- «поставщик последней надежды». Это означает то, что гарантирующий поставщик на законодательном уровне обязан заключить договор с любым желающим, потребляющим электроэнергию в зоне ответственности;
- шаблонный договор. Форма договорной конструкции с гарантирующим поставщиком публичная, и все условия регламентируются действующим законодательством. Тогда как сбытовая компания может придумывать и использовать свои самостоятельные формы и модели договорной конструкции с потребителем;
- зона деятельности гарантирующего поставщика. Гарантирующий поставщик имеет свою особую зону деятельности и за ее пределами выступает как обычная энергосбытовая компания.

Помимо продажи и реализации электроэнергии, физически эту энергию нужно как-то передать из пункта А в пункт Б. Поэтому, выделяется отдельный субъект энергетического рынка – «сетевая компания». Сетевой компанией может быть как частная компания, так и специальная государственная компания, например ПАО «Россети». По факту, сетевая организация просто владеет электросетевым хозяйством и обязуется поддерживать это хозяйство в работоспособном состоянии. За свои услуги по передаче электроэнергии каждая сетевая компания берет отдельную плату с участников оптового рынка электроэнергии и мощности, а также с участников розничного рынка, которые пользуются каким-то конкретным участком электросетевого хозяйства. Более того, сетевая организация получает выплаты не только за то, что кто-то использует принадлежащие им сети, но и за сам факт поддержания их в работоспособном состоянии в её пользу взимается ставка за содержание сетей. Частные сетевые компании чаще всего называются «территориальными сетевыми организациями». Однако не все так просто и с сетевыми организациями. В рамках естественного процесса передачи электроэнергии, существуют потери в проводах сетевого хозяйства, которые должны оплачивать сетевые организации. Таким образом, сетевые организации так же, как и все остальные потребители, приобретают электроэнергию, чтобы компенсировать потери энергии во время использования их электросетевого хозяйства.

Производители электрической энергии и мощности владеют определенными генерирующими мощностями и имеют право реализовывать электроэнергию на розничном рынке, гарантирующему поставщику или даже выходить на оптовый рынок, при соответствии определенным правилам и требованиям. Более того, крупные электростанции (более 25 МВт), вне зависимости от вида генерирующего оборудования, подключенные к Единой Энергетической Системе, обязаны реализовывать свой товар исключительно на оптовом рынке, если только у них нет законного предписания этого не делать. Производителем электроэнергии может быть любая газовая, гидро,

солнечная, атомная или иная электростанция, занимающаяся реализацией электроэнергии на рынке. Не имеет значение то, за счет каких источников финансирования она построена: с привлечением государственных субсидий или исключительно с привлечением частного капитала. Таким образом, согласно действующему законодательству, любой желающий может построить генерирующий объект и начать реализацию электроэнергии на рынке, как на оптовом, при соответствии требованиям, так и на розничном.

Помимо всех, уже рассмотренных субъектов рынка электроэнергии, важнейшую функцию выполняют также и субъекты оперативно-диспетчерского управления. Все описанные выше участники рынка представляют инфраструктуру для работы, но из-за того, что электроэнергия является продуктом немедленного потребления, ее невозможно накапливать в чистом виде. То есть технически существуют методы хранения, но в виде химической, тепловой, гидроэнергии и так далее. В каждую секунду времени кто-то должен управлять всем этим хаотически действующим «организмом». В нашей стране за такого рода диспетчерское управление отвечает единственная компания – Акционерное общество «Системный оператор Единой Энергетической системы» (далее - АО «СО ЕЭС»). Данная организация на 100% принадлежит государству и отвечает за управление всем электричеством в Российской Федерации, а также отправляемой электроэнергией за границу, кем бы она не произведена.

Помимо диспетчеризации электроэнергии, также существует процесс управления коммерческой составляющей электроэнергетики и некая «коммерческая инфраструктура». В нее входят такие предприятия, как НП «Совет рынка», АО «АТС» и АО «ЦФР» [110; 115]. Эти организации, в основном, отвечают за проведение торгов на оптовом рынке электроэнергии и мощности, за проведение конкурсных отборов проектов ВИЭ, статистику и прогнозирование рынка электроэнергетики, проведение платежей за электроэнергию.

Одним из наиболее важных факторов работы рынка электроэнергетики в части субъектов рынка электроэнергетики, является то, что субъекты рынка и их аффилированные лица не имеют права совмещать конкурентные и неконкурентные виды деятельности в рамках одной ценовой зоны. К конкурентным видам деятельности относится производство электроэнергии и купли-продажа электроэнергии. К неконкурентным видам деятельности относится передача и оперативно-диспетчерское управления электроэнергией. Получается, что одна организация не может владеть энергосетевым хозяйством и продавать электроэнергию, которая проходит по этим сетям.

Если говорить о том, как на практике действуют описанные выше субъекты рынка электроэнергетики, то необходимо погрузиться в то, как в действительности работают оба уровня рынка электроэнергетики. Оптовый рынок является одним из самых сложных и запутанных частей рынка электроэнергетики, с большим количеством нюансов, видов рынка, оплат и требований по работе с ним. Для того, чтобы получить возможность выйти на оптовый рынок электроэнергии и мощности, необходимо соответствовать многим требованиям:

- мощность. Для продавцов электроэнергии необходимо владеть генерирующими мощностями не менее 5 МВт, а для потребителей суммарное потребление должно составлять не менее 20 МВт;

- техническое оснащение. Оптовый рынок электроэнергии и мощности – это сложная структура, действующая в изменяющихся каждую минуту обстоятельствах, работающая с временными интервалами в 1 час. Для того, чтобы рынок функционировал, каждый участник должен иметь соответствующие системы сбора информации, контроля и управления, чтобы иметь возможность, в случае развития нештатной ситуации, изменить те или иные характеристики сети;

- членство в Совете Рынка и других объединениях. Для того, чтобы иметь доступ к оптовому рынку электроэнергии и мощности, необходимо также иметь и достаточные юридические основания, как, к примеру, для

строительства необходимо членство в саморегулирующихся организациях. Помимо того, что компании требуется соответствие некоторым показателям, необходимо наличие компетентного штата сотрудников, каждое такое членство является еще и не самым дешевым решением.

Помимо требований и правил, относящихся к членам оптового рынка электроэнергии и мощности, существует большое количество видов рынка и поставок электроэнергии, с существенной разницей между ними. Основное их различие заключается в условиях договоров, сроках поставки и целях поставки. Выделяются следующие части оптового рынка электроэнергии и мощности:

- рынок на сутки вперед;
- балансирующий рынок;
- рынок регулируемых договоров;
- рынок свободных договоров.

Отличительной чертой оптового рынка электроэнергии и мощности является то, что описанная выше структура учитывается только при продаже электроэнергии, фактически выработанной, то есть по количеству кВт*ч. Помимо этого, как уже упомянуто ранее, на оптовом рынке действует так называемая «плата за мощность». Плата за мощность является ничем иным, как просто рентой за наличие генерирующего объекта в системе, и рассчитывается она с помощью умножения ставки платы за мощность на количество мощности, зарегистрированной за каким-то генерирующим объектом на оптовом рынке. Самое интересное, что не имеет значения, вырабатывал ли электроэнергию данный объект в какой-то конкретный месяц, день или час. Оплата производится исключительно за то, что генерирующий объект присоединен к данной системе, за что полагается регулярная выплата. Мощность – это особый вид товара, который подразумевает не фактически произведенный товар, а только возможность предоставления соответствующего товара. Конечно, в ответ генерирующий объект должен быть в готовности произвести энергию, поскольку, с теоретической точки

зрения, если этот объект не готов генерировать электроэнергию, он теряет статус генерирующего объекта.

Во всей этой непростой структуре взаимодействия на оптовом рынке электроэнергии и мощности существует значительное количество механизмов получения дохода [110; 115]:

- по регулируемым ценам;
- по свободным договорам;
- по свободным договорам на сутки вперед (РСВ);
- по свободным договорам конкурентного отбора мощности (КОМ);
- по свободным договорам балансирующего рынка, формируемого за час до поставки (Балансирующий рынок);
- по свободным договорам на компенсацию отклонения потребления;
- по договорам купли-продажи мощности по итогам дополнительного отбора мощности;
- по договорам формирования перспективного технологического резерва мощности;
- по регулируемым договорам в неценовых зонах;
- по договорам купли-продажи мощности вынужденного режима;
- по договорам поставки мощности по перечню Правительства Российской Федерации;
- по свободным договорам для обеспечения деятельности ЕЭС Российской Федерации и иностранных государств;
- по свободным договорам для компенсации потерь;
- по договорам поставки мощности в результате конкурсного отбора объектов ВИЭ;
- по договорам поставки мощности в результате конкурсного отбора объектов ВИЭ для компенсации потерь.

Все это большое многообразие форм поставок двух основных товаров оптового рынка электроэнергетики, с одной стороны, открывает существенные возможности для реализации производимой электроэнергии (также и для ее приобретения), с другой - использование каждой из возможных конструкций происходит только при определенных условиях осуществления деятельности. Поэтому, для каждого вида генерации, расположенного в конкретном географическом пространстве, существует не так много вариантов работы и реализации производимой продукции. Так, например, цены на поставку электроэнергии и мощности по регулируемым договорам устанавливаются ФАС для снабжения населения или приравненных к ним групп потребителей. Каждая генерация имеет право продавать не более, чем 35% от своего объема производства, по такого рода договорам. Вся остальная вырабатываемая электроэнергия должна быть реализована по любой другой конструкции взаимодействия. Обычно, рынок электроэнергии и мощности использует конструкцию голландского аукциона с понижением стоимости поставляемого кВт*ч.

Более того, торговля мощностью, на самом деле, не является свободной и доступной для любого участника рынка. Для реализации мощности, Системным Оператором Единой Энергетической Системы проводятся специальные конкурентные отборы мощности (далее – КОМ), при этом, стоимость каждой единицы мощности ограничена для каждого вида генерации, в соответствии с установленными ФАС прогнозами.

Розничный рынок электроэнергии является финальной стадией работы оптового рынка электроэнергии. Оптовый рынок является неотъемлемой частью розничного рынка, так как существование оптового рынка без доставки энергии до конечного потребителя в этой непростой конструкции, просто невозможно [92]. То есть, биржевая торговля электроэнергией является реальным механизмом купли-продажи такого товара как электроэнергия.

На розничном рынке реализуется и доходит до конечного потребителя электроэнергия, приобретенная на оптовом рынке, а также вся энергия, что не поставляется на оптовый рынок и генерируется розничными генерациями.

Розничный рынок отличается тем, что помимо продавца и покупателей, на нем еще существует значительное количество услуг и товаров, которые должны быть оплачены и реализованы. Так, как уже упоминалось ранее, существуют сетевые организации, которые получают плату за передачу электроэнергии.

Работа розничного рынка устроена намного проще, с точки зрения возможных конструкций взаимодействия и упрощенной системы взаиморасчетов, а также действующих лиц. Основное их различие заключается только в том - кто, за что и кому платит. Выделяют, в основном, только Договор электроснабжения и договор купли-продажи электроэнергии и мощности. Главное их различие в том, что по договору электроснабжения сбытовая организация вкладывает в тариф все возможные расходы: на передачу, управление, мощность и так далее, а вот договор купли-продажи электроэнергии и мощности подразумевает, что потребитель сам заключает отдельные договора с сетевой организацией, с диспетчерским управлением, с генерациями или другими субъектами рынка, которые оказывают необходимые действия для потребления электроэнергии.

В итоге, при всем этом многообразии субъектов рынка, договорных конструкций и большом количестве оказываемых услуг, остается понять, за что же платит конечный потребитель и, главное, сколько придется платить.

Конечно, электроэнергия для населения, либо приравненных к нему видов потребителей, является социально значимым продуктом, тарифы на который регулируются государством. Однако эти цены не могут существовать в полном отрыве от оптового рынка. В настоящий момент, все ценовые разницы между стоимостью электроэнергии для населения и оптовой ценой на электроэнергию и реальной стоимостью на осуществление всех необходимых действий по поддержанию работоспособности Единой Энергетической

Системы компенсируются за счет промышленных потребителей. Конечно, если же растет средняя стоимость единицы энергии на оптовом рынке в долгосрочной перспективе, то и тарифы для населения не могут долго оставаться на прежнем, низком уровне. Более того, в настоящий момент, согласно законодательству, предусмотрена индексация стоимости электроэнергии в ежегодном порядке, в соответствии с прогнозами социально-экономических индексов Министерства экономического развития Российской Федерации. В среднем, этот показатель находится на уровне 4-5% [71]. Таким образом, через 5 лет стоимость электроэнергии сама по себе вырастет на 27,6%, а через 10 лет на 62%. Такие регулируемые цены, как уже упоминалось ранее, устанавливаются комиссией по тарифам Федеральной Антимонопольной Службы в каждом конкретном регионе, в зависимости от текущей ситуации на рынке электроэнергетики. Однако, даже такой рост стоимости электроэнергии для населения или приравненных к ним потребителей – не может компенсировать реальный рост затрат на выполнение всех необходимых функций в электроэнергетике.

Нерегулируемые цены для прочих потребителей сильно дифференцированы для разных потребителей, с разными условиями поставки электроэнергии и мощности, а также дополнительными выплатами по разным условиям поставки.

В общем виде, цена на электроэнергию формируется из следующих частей:

- нерегулируемая цена на электроэнергию оптового рынка;
- стоимость услуг по передаче;
- ставка за содержание сетей;
- сбытовая надбавка поставщика электроэнергии;
- плата за мощность;
- инфраструктурные надбавки.

Каждая из представленных выплат варьируется в зависимости от соответствия потребителя тем или иным характеристикам. Одной из таких характеристик является ценовая категория потребителя. Всего выделяется 6 ценовых категорий [112]:

- первая ценовая категория учитывает объем на покупку электроэнергии суммарно за расчетный период по единому тарифу, устанавливаемому Гарантирующим поставщиком или другой сбытовой компанией по предельному уровню нерегулируемых цен;

- вторая ценовая категория учитывает объем покупки электроэнергии с учетом зон суток потребления. Зонами суток потребления является день, ночь и пиковые часы;

- третья ценовая категория ведет учет объема покупки электроэнергии по почасовой стоимости услуг, по передаче по одноставочному тарифу, но со стоимостью электроэнергии по среднему тарифу, а также отдельный расчет оплаты мощности на основании потребления в пиковый час рабочего дня;

- четвертая ценовая категория подразумевает оплату объема приобретаемой электроэнергии также по среднему тарифу в каждый час и учет услуг по передаче по часовому потреблению, но с разделением по зонам суток и оплате по двухставочному тарифу;

- пятая ценовая категория почти полностью повторяет третью ценовую категорию, но предполагает не только оплату электроэнергии по цене оптового рынка в каждый конкретный час потребления, но также и планирование потребления в каждый конкретный час времени, с выплатой штрафных санкций в случае отклонения от прогнозируемого графика потребления;

- шестая ценовая категория является синтезом четвертой и пятой ценовых категорий, при которых в формате того, что услуги по передаче также оплачиваются по двухставочному тарифу с учетом сетевой мощности,

потребление электроэнергии должно быть спрогнозировано и оплачено по текущей стоимости в каждый конкретный момент времени согласно разыгранным заявкам на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Помимо дифференциации по ценовым категориям, на розничном рынке различается также ценообразование и назначаемая цена для оплаты услуг по передаче для потребителя по показателю напряжения потребления электроэнергии. По общим правилам, стоимость услуг по передаче и ставка за содержание сетей назначаются также Федеральной антимонопольной службой по видам напряжения:

- низкое напряжение (0,4 кВ) (далее – НН);
- среднее напряжение 1 (6-10 кВ) (далее – СН1);
- среднее напряжение 2 (35 кВ) (далее – СН2);
- высокое напряжение (110 кВ) (далее - ВН).

В рамках оплаты работы сетевой организации, также выделяют одноставочный и двухставочный тарифы. Каждый из них также разделяется по уровню напряжения. Уровень напряжения потребителя определяется согласно объектам энергосетевого хозяйства, с помощью которого производится поставка электроэнергии до места потребления. Цены на предоставление услуг сетевой организации, в зависимости от уровня напряжения значительно различаются.

Помимо описанных ранее частей тарифа на электроэнергию и мощность, также существует и плата за мощность, которая во всех ценовых категориях, кроме первой и второй, взимается отдельно. Как уже говорилось ранее, отличительная особенность платы за мощность заключается в том, что она не привязана к сумме потребляемой электроэнергии и даже имеет отдельную единицу измерения в виде не кВт*ч, а просто кВт. Плата за мощность взимается с потребителя исключительно за среднее число потребленных киловатт в пиковый час в расчетном периоде. Происходит это следующим образом. Каждый рабочий день в энергосистеме какого-то гарантирующего поставщика существует момент, когда потребление электроэнергии достигает

максимума. Именно этот временной промежуток и является «пиковым часом» потребления. Более того, данный пиковый час определяется лишь по факту потребления и не может быть спрогнозирован с релевантной точностью. Именно по тому, сколько электроэнергии каждый конкретный потребитель использовал в течение каждого пикового часа за расчетный период, и взимается плата за мощность, как компенсация для генераций, которые резервировали свою возможность выработать электроэнергию в период пиковое потребление. Конечно, пиковое потребление контролируется и прогнозируется контролирующими органами. Более того, не так давно открыта программа «ценозависимого потребления», где потребителю предлагается снижать нагрузку на энергосистему при команде Системного Оператора о наступлении пикового часа. Однако, не во всех регионах данный прогноз имеет низкую погрешность.

Коммерческий учет и работа инфраструктурных организаций является платной для каждого потребителя. Аналогично другим, установленным ФАС, тарифам, плата за работу диспетчерских управлений и операторов коммерческого учета взимается с каждого поставляемого кВт*ч для потребителя.

Все описанные выше многочисленные выплаты составляют тариф на электроэнергию, который оплачивает каждый из потребителей за каждый кВт*ч потребленной электроэнергии. Статистика говорит о том, что с учетом такого значительного количества разных сторонних выплат и текущих биржевых цен на электроэнергию, стоимость самой работы по генерации, как и стоимость полученной электроэнергии, составляет лишь от 18% до 40% от общей суммы, выплачиваемой потребителем. Остальная часть расходов на электроэнергию приходится на оплату транспортных расходов и оперирование всей системы.

Таким образом, можно выделить основные принципы пространственной организации генерирующих объектов электроэнергетического комплекса с

использованием возобновляемых источников энергии для достижения наибольшего эффекта для потребителя электроэнергии:

выработка электроэнергии. Наиболее значимым принципом размещения объектов генерации в настоящий момент является выработка электроэнергии. Касательно возобновляемых источников энергии на данный показатель больше всего влияют природные явления в конкретной территории. Безусловно, данный показатель все также остается одним из ключевых для определения целесообразности использования вида генерации, но не является единственным. Наравне с тем, что строительство газовой или угольной генерации в местах, где доступ к энергоресурсам сильно затруднен – не является целесообразным. Так и в вопросе выработки возобновляемых источников энергии необходимо принимать во внимание возможности выработки. Однако, не использовать данный показатель как единственный для сравнения. В рамках экономического выражения, данный критерий покажет сколько конкретного электроэнергии может быть замещено с помощью выбранного вида генерации, а это является основополагающим моментом для всех остальных частей тарифа на электроэнергию. Сам показатель оценивается по биржевому курсу в каждый час выработки. Таким образом, для определения наиболее рационального использования показателя выработки электроэнергии, имеет значение не только суммарная выработка, но и график выработки внутри дня, а также значение стоимости данной электроэнергии на бирже. Примером противоречия выработки электроэнергии и графика потребления может являться работа гидроэлектростанций на рынке Сибири, когда существует явление «ценопринимаемого предложения». Данная ситуация заключается в том, что электроэнергия может продаваться и поставляться по цене заявки потребителя, даже самой минимальной, а может и за бесплатно, лишь по той причине, что согласно природным явлениям и графику выработки электроэнергии ее вырабатывается значительно больше, чем требуется, когда потребление минимально. Таким образом не только простаивает оборудование, но и в момент повышенного потребления

приходится компенсировать стоимость простоя за счет повышенных цен. Конечно, данная ситуация складывается исходя из природных ресурсов и стохастичности выработки, но тем не менее показывает, что руководствоваться исключительно максимизацией выработки не является целесообразным с экономической точки зрения;

покрытие графика пиковой нагрузки. Помимо выработки электроэнергии согласно биржевым показателям стоимости электроэнергии, со стороны потребителя и всей энергетической системы расположение объектов генерации с использованием возобновляемых источников энергии должно исходить из потребности графика пикового потребления энергетического баланса региона, а не страны в целом. Так, например, в некоторых регионах страны, оценка которых будет произведена далее, пиковое потребление электроэнергии, когда система находится в затрудненном состоянии – приходится на время работы солнечной генерации. Именно в промежуток времени пикового потребления приходится обращаться к так называемому балансирующему рынку и привлекать резервные генерирующие мощности для покрытия потребления. Содержание и поддержание в работоспособном состоянии такого рода генерации, которая работает только в случае необходимости является не самым эффективным способом покрытия потребности пикового потребления. Как рассмотрено ранее, в силу того что большая часть видов генерации использует перевод механической энергии в электрическую энергию, данный процесс не может быть моментальным и требует времени для выхода на запрашиваемый уровень выработки. Следовательно, основными причинами является аналогичная ситуация с выработкой при нулевой стоимости электроэнергии, что некоторые электростанции должны работать не имея потребителей, лишь для возможной ситуации потребности срочной выдачи электроэнергии. В структуре затрат на электроэнергию данная ситуация выражена в плате за мощность, которая как раз и взимается за потребление в пиковый час. Таким образом, для повышения эффективности реализации проектов генерации электроэнергии имеет смысл

принимать во внимание показатели текущего состояния графика потребления энергии в энергобалансе региона и учитывать не только общее положение стоимости электроэнергии на бирже, но и на сколько возводимая генерация покрывает возникающие потребности, а также может заместить меры поддержки, принимаемые для компенсации проблемы пикового потребления;

стоимость сетевой составляющей. Как уже описывалось ранее, значительная доля стоимости электроэнергии для потребителя приходится не на саму электроэнергию и мощность, но значительная часть ее относится к сетевой составляющей электроэнергетики. Данный показатель стоимости услуг по передаче или ставки за содержание сетей не учитывает факт расстояния для передачи электроэнергии и рассчитывается лишь на основании общего потребления электроэнергии. Таким образом, не имеет значение откуда потребитель берет свою электроэнергию, от электростанции за 1000 километров от себя или с соседнего здания через дорогу – показатель стоимости сетевой составляющей тарифа на электроэнергию будет одинаковым. Более того, данный показатель рассчитывается не относительно всей энергосистемы в целом, а назначается на территорию конкретного региона Российской Федерации. С другой стороны, генерация электроэнергии никак не взаимодействует со стоимостью сетевой составляющей и с точки зрения производителя электроэнергии у него не существует логистической стоимости, которую необходимо принимать во внимание при принятии решения о производстве, согласно теории пространственной организации экономики. Таким образом, проблема логистической инфраструктуры и учета стоимости передачи такого товара как электроэнергия до потребителя является вопросом для учета самого потребителя или энергосистемы в целом. Тем не менее, на данный момент, вопрос целесообразности размещения объектов генерации электроэнергии со стороны контролирующих органов никак не оценивает возможность снижения нагрузки на сетевую инфраструктуру для передачи электроэнергии из отдаленных регионов. Однако, изменение подхода может значительно снизить затраты на

содержание сетей путем оптимизации размещения генерации электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии при учете центров спроса. Конечно, не всегда центр спроса электроэнергии может быть наиболее эффективен относительно выработки электроэнергии, но экономическая эффективность такого рода генерации ощутима за счет экономии на инфраструктуре. Таким образом, даже в не самой солнечной Ленинградской области – установка солнечной электростанции может привести к значительной экономии ресурса, исключительно за счет экономии на сетевой составляющей тарифа на электроэнергию.

Помимо экономической важности описанных принципов, все они тесно связаны еще и с технической составляющей всего устройства электроэнергетического рынка. Электроэнергетический комплекс хоть и построен по принципу перекрестного субсидирования, когда плата одних потребителей не обязательно идет на осуществление услуги конкретно для них, а для всей энергосистемы в целом, но тем не менее имеет некоторые региональные привязки. Так, например, места с наивысшей сетевой составляющей имеют самые большие проблемы с сетевой инфраструктурой и с надежностью оказания услуг по передаче электроэнергии. Регионы, где пиковое потребление приходится на наибольшее количество потребителей, связано с недостатком генерации электроэнергии в регионе для покрытия потребностей.

Все описанные выше принципы являются теми самыми элементами системы, на основании которой должна строиться пространственная организация проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии.

Исходя из этого, возникает вполне резонный вопрос о том, как же можно сократить такие значительные издержки для потребителя и получать тот самый продукт, приносящий основную полезность, с учетом всех ключевых принципов. Для данного вопроса наиболее подходящим решением является распределенная генерация.

Выводы по главе 1

Глобальный энергетический переход и необходимость изменений уже не являются чем-то не доказанным или вызывающим споры и обсуждения. Переход от ископаемых энергоресурсов к более «чистым» способам генерации энергии, в настоящий момент, является устойчивой тенденцией и возможным направлением развития электроэнергетики. Основным вопросом является лишь то, как реализовать энергетический переход как можно быстрее и с наименьшими затратами. Согласно международной энергетической политики, планируется что к 2050 году возобновляемые источники энергии станут мировыми лидерами в производстве электроэнергии. «Зеленая» энергетика становится все более доступной в связи со снижением стоимости оборудования для генерирующих объектов с использованием возобновляемых источников энергии. Это обусловлено все большим вовлечением различных участников рынка энергетики и смежных отраслей в направление зеленой энергетики. Не менее важным фактором также является и геополитическая ситуация в мире. Практика последних лет показывает все больше техногенных и природных катаклизмов, в которые оказываются вовлечены классические виды генерации, приводящие к значительным издержкам. Кризисная экономическая ситуация и значительная волатильность цен на любые виды товаров, а особенно энергоресурсы, в мире, делают классическую генерацию все более рискованной и энергетически небезопасной, в связи с зависимостью от этих энергоресурсов и их доступности. Тем не менее, и уровень технологического прогресса перешел рубеж, когда возобновляемые источники энергии могли рассчитывать исключительно на многокритериальность отбора. В настоящий момент, возобновляемые источники энергии могут соперничать с классическими видами генерации в вопросе экономической эффективности проекта, а не только по критериям экологичности, автономности и долгосрочного воздействия на окружающую среду. Генерация электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии перестало быть сферой, в которой вопросы

экономической эффективности рассматривались не в первую очередь, а во главу угла ставились как раз иные преимущества.

Возобновляемые источники энергии и современные новые технологии в производстве электроэнергии, без использования ископаемого или экологически «грязного» топлива, не являются идеальным способом для решения и преодоления всех проблем, стоящих перед человечеством. Каждый из вариантов имеет свои недостатки и преимущества. Данный вариант если не полностью избавят нас от накапливающихся проблем и вызовов, то хотя бы снизят негативные последствия развития экономики на окружающую среду и окажут положительное влияние на перспективы решения сложившейся ситуации и перехода к устойчивому развитию.

Учитывая данные факты, невозможно игнорировать глобальный переход к «зеленой» энергетике и в Российской Федерации. Доля возобновляемых источников энергии в Единой Энергетической Системе Российской Федерации пока остается крайне незначительной. Российская Федерация, благодаря большому потенциалу по всем видам возобновляемых источников энергии и всему огромному природному и территориальному разнообразию страны, вполне может стать одним из лидеров энергетического перехода. К сожалению, российское законодательство и экономика электроэнергетики пока не приспособлены к такому энергетическому переходу. Дело заключается не только в том, что Российская Федерация является страной-донором энергетических ресурсов и занимает значительную долю на рынке ископаемых энергоресурсов, но и в том, что пока и устройство энергетического сектора в нашей стране не готово к тому, чтобы внедрять возобновляемые источники электроэнергии, как с экономической, так и с технической точки зрения. Большая часть рынка является субсидируемым даже для классической генерации и не существует рыночных механизмов поддержки свободной реализации коммерческих проектов возобновляемых источников энергии. Отсутствие готовности

российского энергетического сектора проявляется даже в том, что позволяет объектам генерации электроэнергии быть сверхдоходными.

Тем не менее, для потребителя сложившаяся ситуация не является оптимальной и говорит о неправильной оценке возможных путей развития данного направления. Одним из таких решений является развитие распределенной генерации на основании возобновляемых источников энергии. В рамках исследования установлено что наиболее важными принципами пространственной организации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии являются:

- 1) выработка электроэнергии в конкретном регионе;
- 2) покрытие пиковых часов потребления с помощью вырабатываемой электроэнергии в определенной промежуток времени;
- 3) размер сетевой составляющей тарифа на электроэнергию относительно стоимости вырабатываемой электроэнергии.

Полученные принципы позволяют выработать классификацию регионов и провести оценку их потенциала по применимости проектов распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии.

Глава 2

Оценка потенциала пространственной организации регионов по использованию распределенной генерации на основе ВИЭ

2.1 Классификация регионов по потенциалу использования распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии

Термин «распределенная генерация», как и «распределенная энергетика», не имеет единого определения, так как является новым термином, и в общую практику и применение только начинает входить. Исходя из большого количества определений данного термина, можно сказать, что по всему миру нет также четкой договоренности о том, каким критериям должен соответствовать термин «распределенная генерация». В Российской Федерации под этим термином понимают: «совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии, подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько) без подключения к магистральным энергосетям, где тип используемого станцией энергоресурса, как и отношение станции к потребителю, генерирующей или сетевой компании, а также любому третьему лицу, не рассматривается» [88]. С другой стороны, данный термин может означать децентрализованные электроэнергетические системы для энергоснабжения изолированных энергетических систем. Более того, чаще всего термин распределенной генерации неразрывно связан с использованием термина малой генерации и часто может быть использован для обозначения источников малой мощности. Источник малой мощности, в соответствии с действующим законодательством, означает генерацию до 25 МВт

установленной мощности [22]. Помимо этого, также существует мнение, что распределенная генерация заключается в выработке электроэнергии с помощью большого количества мелких производителей электроэнергии, которые производят как электроэнергию, так и тепловую энергию, исключительно для покрытия собственных нужд потребителя, а излишки отправляют в энергосистему [76; 80].

Распределенная генерация может быть реализована на основе практически любого вида топлива, кроме ядерного, а технологический прогресс, вероятнее всего, скоро приведет к возможности строительства малых атомных электростанций. В технологической части к распределенной генерации относят следующие виды генерации электроэнергии:

- электростанции на твердотопливных энергоресурсах (ПТУ);
- электростанции на природном газе (ГПУ, ГТУ);
- ветроэлектростанции (ВЭС);
- малые гидроэлектростанции (МГЭС);
- солнечные электростанции (СЭС);
- атомные станции малой мощности (АСММ).

В зарубежной литературе часто ограничивают мощность распределенной генерации, в зависимости от используемой технологии. Так, например, по мнению Guidehouse Insight, ВЭС должны быть до 500 кВт, СЭС должны быть до 1 МВт, ГТУ до 250 кВт и ГПУ до 6 МВт, а согласно Европейскому проекту партнерства в распределенной энергетике EU-DEEP, используются ограничения для теплоэлектростанций в 10 МВт, микротурбин в 500 кВт, ВЭС в 6 МВт и СЭС в 5 МВт. В российском законодательстве и практике нет конкретных ограничений и единого мнения по этому поводу.

Что касается определения «распределенной генерации» в зарубежной литературе или международных агентствах, то тут существуют различные мнения на этот счёт. Согласно всемирному союзу распределенной энергетике, «...это производство электроэнергии в точке потребления или рядом с ней, независимо от размера, технологии или используемого топлива - как в

автономном, так и в сетевом режиме». Международное энергетическое агентство характеризует распределенную генерацию как «генерирующий объект, вырабатывающий электроэнергию в месте нахождения потребителя или обеспечивающий поддержку распределительной сети, подключенный к сети при напряжении уровня распределения» [104]. Министерство энергетики США использует термин «распределенная генерация» для описания модульных генерирующих объектов малой мощности, расположенных вблизи от потребителя и позволяющих избежать дорогостоящих инвестиций в создание сетевой инфраструктуры для передачи электроэнергии [96]. Распределенная генерация — это и «генерация в децентрализованной энергосистеме для покрытия потребления в электроэнергии изолированных потребителей» [93], и «генерация на уровне распределенной сети или на стороне потребителя, включенного в сеть» [102], или просто использование источников энергии малой мощности [95]. Более того, даже сам термин имеет некоторые вариации. Так, в Австралии используется термин «встроенная генерация», а в странах Европы и Азии чаще можно встретить использование термина «децентрализованная генерация». Совместно с С.М. Никоновым мы установили, что тем не менее, каждый из этих терминов и определений имеет общие черты, которые и будут использоваться как основные критерии определения распределенной генерации [58].

Такое обширное разнообразие определений и разночтение термина «распределенная генерация» по всему миру не дает четко сформировать понимание о том, какие генерирующие объекты можно относить к распределенной генерации, а какие нет. Существуют некоторые характеристики распределенной генерации, которые неизменны в каждом определении — это близкое нахождение к потребителю или, точнее, нахождение в месте потребления электроэнергии. Однако, по данным ПАО «Мосэнерго», только в пределах МКАД, в столице нашей страны, находится 11 крупных ТЭЦ, которые удовлетворяют требованию нахождения в месте потребления электроэнергии и даже тепловой энергии [53]. Для того, чтобы

сформулировать наиболее подходящее для российской электроэнергетики определение термина «распределенная генерация» и охарактеризовать рассматриваемые в исследовании объекты генерации электроэнергии, обратимся к основным характеристикам распределенной генерации и российскому законодательству. С одной стороны, в качестве самого простого способа для определения термина «распределенная генерация» можно воспользоваться ГОСТом 19431-84 и сказать, что распределенная генерация, на основании того, что она явно входит в распределенную энергетику, является обратным от централизованной энергетики, которая характеризуется как электроснабжение потребителей от энергетической системы. Однако всем мировым сообществом разделяется мнение, что такая вещь, как «микрогенерация» является частью распределенной генерации, а согласно понятию, введенному законодательством о микрогенерации [110], «объектом микрогенерации считается объект по производству электрической энергии, принадлежащий на законном основании потребителю электрической энергии, энергопринимающие устройства которого технологически присоединены к объектам электросетевого хозяйства с уровнем напряжения до 1000 вольт, функционирующие, в том числе, на основе возобновляемых источников энергии». Таким образом, получается, что «распределённая генерация», согласно российскому законодательству, не предполагает отсутствия подключения к централизованной сети, но, тем не менее, допускает использование общей сетевой инфраструктуры. Для того чтобы понять, как же относится распределенная генерация к сетевому хозяйству, прежде всего, необходимо понять какое это имеет значение. Согласно общему мнению, одним из преимуществ распределенной генерации является повышение энергоэффективности и снижение затрат на электроэнергию [54]. То есть, для распределенной генерации не так важно отношение с центральной энергосистемой, а лишь важен вопрос снижения затрат на электроэнергию. Как уже рассматривалось в исследовании, тариф на электроэнергию является многосоставным показателем. Он складывается из большого количества

показателей, таких как плата за электроэнергию, плата за мощность, плата за содержание сетей, плата услуг по передаче и так далее. Более того, основную часть стоимости электроэнергии, оплачиваемой потребителем, составляет совсем не плата за фактически потребляемую электроэнергию, а себестоимость электроэнергии занимает лишь от 18 до 40% от общего тарифа на электроэнергию из сети. Следовательно, распределенная генерация может выполнять одно из своих преимуществ и целей в рамках повышения энергоэффективности и снижения расходов на электроэнергию с помощью снижения платы сетевую составляющую. Согласно классическому эффекту масштаба [45], чем больше объект производства и количество выпускаемой им продукции, тем меньше средние издержки (или предельные издержки) на выпуск каждой следующей единицы продукции. Получается, что, согласно классическим экономическим правилам, распределенная генерация никак не может соперничать с крупными централизованными электростанциями в вопросе стоимости электроэнергии и мощности. Все это приводит к тому, что основной причиной экономической выгоды от распределенной генерации является отношение объекта генерации к централизованным энергетическим сетям. Согласно законодательству в части формирования цены на электроэнергию [113], все дополнительные платежи, помимо платы за электроэнергию и мощность, производятся при использовании централизованной энергосети. Это означает что плата берется за любой кВт*ч, прошедший через объекты централизованной энергосети. То есть должны быть произведены выплаты ставки за содержание сетей, ставки услуг по передаче и других инфраструктурных надбавок, взимаемых для поддержания работоспособности центральной энергосистемы. Все это говорит о том, что одним из основных критериев распределенной генерации должна быть передача или получение электроэнергии потребителем без использования централизованной энергосистемы, либо при условии использования особых форм организации энергоснабжения (использования активного

энергетического комплекса [112]), при которых не взимается плата за использование объектов центрального электроснабжения.

В части размеров объектов распределенной генерации и ограничения по установленной мощности, вводимых в определениях разных исследователей, важнее всего отталкиваться от самого потребителя электроэнергии. Некоторые промышленные предприятия потребляют больше электроэнергии и мощности, чем лимит в 25 МВт, установленный на розничном рынке электроэнергии и мощности. Если говорить об ограничениях в зарубежных источниках в 250 кВт, 500 кВт или 1 МВт, что вообще является малым потреблением, для объекта такой генерации, то в рамках российского законодательства они даже не считаются оказывающими значительного влияния на энергосистему, и не требуют особенных проектируемых документов сопряженности с сетью. Тем не менее, в законодательстве Российской Федерации, а именно в правилах работы розничного рынка электроэнергии и мощности [112], есть ограничение по работе электростанций более 25 МВт на розничном рынке электроэнергии и мощности. Однако установка генерирующего объекта более или менее 25 МВт непосредственно поблизости к потребителю не ограничивается никакими нормами законодательства Российской Федерации, и, в случае отсутствия необходимости присоединения к единой энергосети, не требует особых условий работы или прохождения дополнительных экспертиз. Более того, российское законодательство, в части присоединения объекта к общим энергосетям, даже не имеет особенной терминологии для объекта, производящего электроэнергию, а лишь пользуется общим термином «энергопринимающее устройство», без разделения на производство и потребление. Данная ситуация с законодательной базой Российской Федерации говорит о том, что российская энергетика не подготовлена к существованию распределенной генерации, так как просто не имеет оснований для отслеживания такого рода объектов генерации. В то же время, объектом «распределенной генерации» может быть не только объект

малой мощности, но и любой объект мощностью 25 МВт, 100 МВт или даже 500 МВт. Объект такого размера может оказать значительное влияние на энергосистему конкретного региона или всей энергосети в целом.

Таким образом, можно сформулировать следующее определение термина «распределенная генерация», которое будет наиболее релевантно показывать суть этого явления в рамках реалий российской электроэнергетики. Распределенная генерация – это объекты генерации электроэнергии, находящиеся в непосредственной близости к потребителю и не использующие для передачи электроэнергии централизованную энергосеть, без ограничений по установленной мощности и технологии генерации. Данное определение учитывает все нюансы работы электроэнергетики для достижения эффективности ее применения на территории Российской Федерации. Как уже говорилось ранее, основными отличительными чертами в тарификации электроэнергетики и отношения объекта генерации к Единой Энергетической Системе является использование для передачи электроэнергии централизованной энергосети. Также, согласно действующим правилам электроэнергетики установлены требования по работе объектов генерации на оптовом или розничных рынках, но без использования централизованной сети – данное требование теряет свою силу. Именно поэтому, распределенная генерация может быть как крупным, так и малым объектом производства электроэнергии. Как и мощность объекта производства электроэнергии, технология производства не оказывает влияние на производимый товар в виде электроэнергии, правила по которому установлены единые, как для потребителя, так и для производителя, без отношения объекта к Единой Энергетической Системе. Именно эти критерии и являются основополагающими различиями в предлагаемом определении, а также оказывают наибольшее влияние на применимость данного вида генерации.

Исторически, распределенную генерацию использовали, в основном, исключительно для удаленных объектов, находящихся в сложно доступных

местах или не имеющих экономическую эффективность прокладки линий электропередачи до места потребления. Например, территория Крайнего Севера или какие-то временные объекты пребывания, такие как буровые скважины и т.д. Однако, в настоящее время, все чаще можно встретить объекты распределенной генерации, установленные в местах наличия централизованного электроснабжения. Причиной растущей популярности объектов собственной генерации среди промышленных предприятий, а также частных домохозяйств, может быть множество факторов, таких, как желание повышения энергетической безопасности или снижение затрат на электроэнергию. Более того, централизованное электроснабжение далеко не везде является стабильным и безопасным, а некоторым предприятиям жизненно необходимо постоянное и бесперебойное электроснабжение.

Таким образом, совместно С.М. Никоноровым и Д.А. Сергеевым мы выделили следующие преимущества распределенной генерации для потребителя электроэнергии [59]:

1) экономия затрат на электроэнергию в сравнении с покупкой электроэнергии из сети. Централизованная энергосистема, казалось бы, является естественной монополией в приобретении электроэнергии, но правильное планирование и проектирование могут дать распределенной генерации значительную экономию на затратах на электроэнергию. Конечно, не предполагается, что распределенная генерация подразумевает строительство нового газопровода на тысячи километров для газификации Мини-ТЭЦ на территории предприятия. Однако если у предприятия есть простой доступ к дешевому энергоресурсу и график потребления предприятия оправдывает рассматривает технологическое решение, то распределенная генерация может является экономически эффективной;

2) безопасность электроснабжения. В настоящий момент нельзя сказать, что централизованное электроснабжение является бесперебойным и постоянным. Во многих регионах отключение электроэнергии является регулярным и, более того, даже предполагает плановое долгосрочное

отключение той или иной территории для проведения ремонтных работ. Распределенная генерация, хоть и не дает полной энергетической безопасности и возможности постоянно снабжать предприятие электроэнергией, но тем не менее, дает возможность контролировать данный процесс и самостоятельно управлять такого рода отключениями, не ставя под угрозу производственный процесс;

3) уровень развития технологий. Распределенная генерация, даже малой мощности, достаточно развита в технологическом плане, чтобы по эффективности и продуктивности производства не уступать централизованным электростанциям. Более того, многие технологии достигли уровня, при котором фактически не требуется специально подготовленный персонал и большое количество обслуживающих служб, обеспечивающих работоспособность и эксплуатацию генерации;

4) капитальные затраты ниже, чем затраты на присоединение или обустройство магистральных сетей. В соответствии с новым законодательством, стоимость технологического подключения к центральным сетям выросла в девять раз, и даже в точках с готовым доступом к сетям и мощностью, а не там, где необходимы инвестиции в их создание. А в рамках присоединения удаленных территорий, всегда использовался индивидуальный проектный подход по выстраиванию инфраструктуры сетевого хозяйства для подключения нового объекта потребления, и затраты на такой проект часто могут быть выше, чем затраты на возведение объекта распределенной генерации. Более того, согласно правилам технологического присоединения – федеральный оператор сетевой инфраструктуры имеет право отказать в присоединении объекта потребления к центральной энергосети при отсутствии технологической возможности такого рода подключения. Даже без возможности индивидуального проекта технологического подключения;

5) сдерживание роста тарифа на электроэнергию. Ежегодно тариф на электроэнергию и все составляющие части, особенно не для населения, растут по слабо предсказуемым траекториям. Это связано как с расширением

государственной поддержки определенных направлений энергетики с одной стороны. Так и ростом курса валют, стоимости обслуживания сетевого хозяйства – с другой. Собственный объект генерации, по сути, подвержен увеличению затрат только на ремонт и энергоресурсы, которые он преобразует в электроэнергию. В случае с некоторыми видами возобновляемых источников энергии - и эти показатели сводятся к нулю.

Помимо явных преимуществ для конечного потребителя, также существуют положительное воздействие на всю энергосистему страны, и в целом – на экономику [81]:

- уменьшение потерь электроэнергии при ее передаче;
- повышение надежности энергоснабжения;
- уменьшение необходимого резервирования мощности для удовлетворения спроса;
- снижение капитальных затрат в сетевую инфраструктуру, как для поддержания трудоспособности, так и для строительства новой структуры;
- уменьшение изношенности оборудования, как генерирующего, так и для передачи;
- создание дополнительных рабочих мест;
- высвобождение дополнительных денежных средств для развития производства;
- увеличение налогооблагаемой базы;
- снижение выбросов парниковых газов при использовании ВИЭ.

Тем не менее, и у распределенной генерации имеются свои недостатки. Одним из самых существенных недостатков некоторых проектов установки распределенной генерации для ее потребителя является то, что экономически такой проект является не выгодным. Кроме того, далеко не в каждой потенциальной точке размещения есть техническая возможность установки таких объектов. К этому критерию относится и доступность энергоресурса, который используется для генерации электроэнергии, и наличие

инфраструктуры передачи электроэнергии, которая не развита соответствующим образом. К тому же, ни одно устройство не может работать постоянно, без профилактических остановок, и не может иметь неограниченный ресурс работоспособности. Риски, которые создает распределенная генерация, имеют отношение не только к потребителю электроэнергии, но также и ко всей энергетической системе. Это проявляется, когда распределенная генерация является не вынужденной мерой, а оптимизационным решением или установкой ВИЭ, учитывая стохастичность выработки такого рода генерации. Основными недостатками распределенной генерации считают:

1) значительные затраты на энергообеспечение в случае ошибок проектирования. Как уже говорилось ранее, распределенная генерация эффективна только при выполнении грамотного экономического и технологического расчетов. В случае некорректного проектирования или реализации, могут возникнуть дополнительные издержки, которые существенно возрастают в случае аварии, что потребует больших денежных средств;

2) новый вид деятельности. Генерация электроэнергии на промышленном предприятии является новым видом деятельности, требующим вовлечения профильных специалистов, наработки дополнительных компетенций и контроля реализации;

3) требуются значительные капитальные затраты. Помимо того, что сооружение любого объекта инфраструктурного характера – это всегда капиталоемкое мероприятие, на это будут отвлечены средства от основного вида деятельности организации, что часто крайне нежелательно;

4) низкий эффект в случае малой доли затрат на электроэнергию в себестоимости продукции;

5) требуется значительное резервирование мощности, если объект распределенной генерации реализуется в полном изолировании от центральной энергосистемы.

Помимо недостатков для потребителя, распределенная генерация негативно воздействует на отрасль электроэнергетики и на экономику в целом:

- снижение выплат на сетевую инфраструктуру;
- усложнение энергетической отрасли;
- неподготовленность Единой Энергетической Системы в реализации разрозненных генераций;
- перекладывание затрат, сэкономленных на распределенной генерации, на оставшихся потребителей;
- требуются изменения законодательной базы.

Как видно из вышесказанного, распределенная генерация имеет свои плюсы и минусы. Тем не менее, не взирая на все возможные риски и возможные негативные последствия, распределенная генерация имеет значительный потенциал роста и значительные преимущества в результате такого роста.

На основании сформулированных в главе 1 принципов пространственной организации генерирующих объектов электроэнергетического комплекса с использованием возобновляемых источников энергии для достижения наибольшего эффекта для потребителя электроэнергии и особенностей работы распределенной генерации можно сформулировать новую классификацию регионов Российской Федерации с точки зрения потенциала использования проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии. Стоит напомнить, что основными принципами являются:

- выработка электроэнергии;
- покрытие графика пиковой нагрузки;
- стоимость сетевой составляющей.

На основании описанных выше основных особенностей и целей распределенной генерации, она может получить эффект от всех принципов пространственной организации генерирующих объектов

электроэнергетического комплекса с использованием возобновляемых источников энергии для достижения наибольшего эффекта для потребителя электроэнергии. Строительство распределенной генерации должно основываться на экономии за счет замещающей электроэнергии из сети по этим основным показателям.

Таким образом, для классификации регионов необходимо использовать непосредственно представленные в главе 1 принципы, относительно получаемой экономии самим потребителем при использовании распределенной генерации.

С учетом сложности и многофакторности электроэнергетического рынка Российской Федерации относительно потребителя в виде уровней напряжения, ценовых категорий и принадлежности потребителя к ценовым зонам Единой Энергетической Системы, охарактеризовать регионы можно как имеющих высокий, средний и низкий потенциал. Также, в силу того что каждый из видов возобновляемых источников энергии имеет свою стохастическую выработку в каждом регионе, не похожую друг на друга, то и классификация будет строиться относительно каждого вида генерации отдельно. Более того, следует принимать во внимание что ценовые категории на потенциал использования распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии почти не играет роли, так как все основные принципы касаются общих частей оплаты электроэнергии и мощности.

Высоким потенциалом можно считать регион, где выбранный вид генерации электроэнергии имеет положительный эффект от замещения электроэнергии по трем принципам экономии для потребителя. Таким образом, солнечная генерация в регионах с высокой выработкой, высокой сетевой составляющей и высокой долей попадания выработки в пиковые часы потребления на всех уровнях напряжения будет иметь высокий потенциал.

Средний потенциал региона использования распределенной генерации с помощью возобновляемых источников энергии назначается в случае, если не

на всех уровнях напряжения сетевая составляющая будет давать значительную экономию за счет замещения электроэнергии из сети. Ведь в некоторых регионах, как Ставропольский край, Республика Тыва или Хакасия разница в сетевой составляющей относительно высокого и низкого уровней напряжения различается в четыре раза. Другой причиной достижения среднего показателя может быть отсутствие попадания выработки электроэнергии в пиковый час потребления, что приведет к значительным затратам на оплату мощности в рамках потребления из сети. Однако, такая ситуация может быть компенсирована другими двумя показателями. Аналогичным образом и низкая выработка может быть компенсирована значительной экономией за счет других частей тарифа на электроэнергию. Таким образом, что в случае, если на большей части уровней напряжения потребителей в регионе, но не при всех уровнях напряжения, такого рода генерация будет иметь высокие показатели, то можно говорить о среднем потенциале использования распределенной генерации с помощью возобновляемых источников энергии.

Низкий потенциал будут иметь регионы, где данный вид возобновляемых источников энергии не дает существенной экономии и относительно большинства уровней напряжения не сможет реализовать значительную экономию по причине низкой выработки электроэнергии или отсутствия попадания вырабатываемой электроэнергии в пиковый час.

Классификация относится к пользе распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии для потребителя, но аналогичным образом может быть использована также и производителями электроэнергии для оказания соответствующих услуг потребителям. Пространственная организация объектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии должна в первую очередь строиться от возможного эффекта от замещения электроэнергии из сети без использования самой Единой Энергетической Системы, при текущем устройстве электроэнергетического комплекса. Именно расположение объекта в пространстве является основополагающим критерием о потенциале

и целесообразности расположения. Распределенная генерация основана на правилах теории размещения производства и полностью зависит от нее, но не столько в возможных потенциальных затратах производителя, сколько в возможных потенциальных доходах и получаемой экономии.

Инструменты позволяющие осуществить указанную классификацию регионов, а также оценить экономическую эффективность реализации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии будут рассмотрены в дальнейших главах исследования.

В настоящее время, существует большое количество методических подходов оценки пространственной организации применимости возобновляемых источников энергии, а также распределенной генерации, на разных регионах Российской Федерации, по социальным, экономическим или технологическим факторам. Однако все они оценивают лишь возможные последствия для энергосистемы в целом или общие климатические и технологические условия применимости. Более того, в настоящий момент, нет корректного методического подхода оценки пространственной организации применимости возобновляемых источников энергии в рамках распределенной генерации, признанной научным сообществом или применяемой на практике компаниями, занимающимися такого рода проектами. Именно поэтому, стоит учитывать, что возобновляемые источники энергии имеют свою специфику оценки применимости в тех или иных территориях нашего государства.

2.2 Методический подход к оценке потенциала пространственной организации распределенной генерации на основе возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации

Предлагаемая методический подход оценки потенциала пространственной организации регионов основана на том, что для оценки применимости распределенной генерации требует обратить основное внимание на получаемую выгоду от такого рода генерации. В рамках

использования возобновляемых источников энергии, капитальные затраты и операционные затраты на тот или иной вид генерации не различаются в зависимости от места установки почти ничем, кроме логистических затрат. Таким образом, установка на землю одного мегаватта солнечной генерации в Мурманской области, будет примерно равна стоимости установки такого же проекта в Ставропольском крае. Именно такую логику, использует программа поддержки и субсидирования развития возобновляемой энергетики. Ведь в ней учитывается лишь планируемая выработка электроэнергии, мощность станции и тариф на электроэнергию [73]. Регион установки выбирается компанией, которая планирует реализацию данного проекта. Непосредственно капитальные затраты установщик контролирует и оптимизирует самостоятельно, а операционные затраты зафиксированы постоянной величиной на весь срок реализации проекта в 15 лет.

Таким образом, предлагаемый методический подход основан исключительно с теми же характеристиками, что и государственная система отбора проектов. Однако, сами характеристики рассматриваются относительно текущей рыночной ситуации и относительно состояния свободно рынка в каждом из регионов ценовых зон единой энергетической системы. В отличие от используемого методического подхода в рамках отбора проектов государственных субсидий, без учета ситуации в конкретном регионе или ситуации на рынке. Согласно предлагаемому методическому подходу, можно определить, на сколько привлекательным будет регион установки распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии по отношению к получаемой экономии от сокращения потребления из центральной энергетической системы.

В рамках данной работы, будет рассматриваться исключительно проекты распределенной генерации с использованием фотовольтаической технологии.

Оценка применения возобновляемых источников энергии не может быть произведена без учета климатических условий работы объекта генерации.

Оценка потенциала конкретного региона для применения солнечной энергетики строится на показателе инсоляции (солнечной радиации) в выражении кВт/м², для ветроэнергетики используется показатель скорости ветра, исчисляемый в м/с на определенной высоте установки ветрогенератора. Каждый из этих показателей учитывается совместно с коэффициентом полезного действия предполагаемого оборудования, и, в итоге, рассчитывается возможная выработка электроэнергии по каждому виду генерации. Однако такой вариант не учитывает стохастичность выработки и неприменимость среднего показателя в силу значительного расхождения в разные временные промежутки. В общей электроэнергетике давно используется термин «коэффициент использования установленной мощности (далее – КИУМ)», который применяется ко всем видам генерации, в том числе – классическим. Газовые или угольные электростанции также не работают 24/7, а каждые 8 тысяч моточасов их необходимо останавливать на профилактический ремонт. В связи с этим, именно данный показатель и будет наиболее достоверным для оценки эффективности использования того или иного вида генерации электроэнергии. Этот показатель говорит о том, какая доля возможной максимальной выработки, исходя из установленной мощности генератора, будет получена. Для ВЭС средний КИУМ по Российской Федерации составляет 28,31% в 2022 году, а для СЭС средний КИУМ составляет 14,40% в 2022 году, согласно отчетам Системного оператора единой энергетической системы [65]. В рамках проведенного исследования и расчётов с использованием специализированного программного обеспечения PVsyst, для расчета производительности солнечной системы, установлено, что в диапазоне от Арктической зоны нашей страны и Заполярного круга, и до самых южных регионов, КИУМ для солнечной энергетики варьируется в диапазоне от 10 до 20%.

Для приведения оценки к унифицированной форме, необходимо внедрить оценочную шкалу показателей КИУМа не только для региона, но и для проектов с применением каждой конкретной технологии выработки

электроэнергии. Таким образом, если КИУМ в конкретном регионе, меньше среднего по стране более чем на 5%, то можно говорить о низком потенциале данного вида генерации в рассматриваемом регионе. Если КИУМ конкретного вида генерации находится на уровне среднего показателя по стране с погрешностью в большую и меньшую сторону, то данный показатель является средним. Если показатель КИУМа больше, чем на 5% среднего показателя по стране, то можно говорить о высоком потенциале применения данного вида генерации.

Как уже говорилось, в рамках исследования будет рассмотрена генерация исключительно на основе солнечной энергии. Поэтому, обозначение КИУМ ниже 13,68% будет оцениваться в один балл, КИУМ между 13,68% и средним показателем по всей Российской Федерации - в 14,40%, будет оцениваться в два балла, и самый большой КИУМ - более 14,40%, будет оцениваться в три балла. Данный показатель говорит о том, насколько выработка электроэнергии на той или иной территории является эффективной относительно технико-экономических возможностей выбранной технологии генерации.

Другим, не менее важным показателем для оценки применимости объекта распределенной генерации при использовании возобновляемых источников энергии является возможность получить максимальную экономическую выгоду с производимой электроэнергии. В рамках существующей системы оплаты электроэнергии потребителями, наиболее значимыми частями тарифа на электроэнергию являются плата за мощность и все дополнительные платежи на услуги по передаче, ставка за содержание сетей.

Самой сложной частью данного анализа является учет того, кто будет получать оплату за мощность и в каком размере. Согласно правилам расчета тарифа на электроэнергию и мощность, оплата за мощность начисляется за среднее за месяц потребление электроэнергии в пиковый час потребления. Такого рода пиковые часы назначаются оператором энергосистемы по факту

потребления в системе за отчетный период и прогнозируются на месяц вперед. Именно то, сколько каждое конкретное предприятие потребляет в конкретный пиковый час, и является той суммой электроэнергии, от которой берется плата за мощность. Основная проблема в том, что на каждой «территории действия» каждого гарантирующего поставщика в разные дни – это совершенно разные временные отрезки пикового часа. Следовательно, одна из наиболее значимых выплат за электроэнергию производится также по стохастическому показателю, который можно примерно спрогнозировать, но невозможно заранее и точно определить.

В рамках проектов распределенной генерации по технологии с использованием ВИЭ, если выработка рассматриваемого генерирующего объекта не попадает в соответствующий пиковый час потребления, плата за мощность должна выплачиваться сбытовой компании по назначенному тарифу в полной мере. Но если выработка электроэнергии от объекта генерации попадает в заданный час, то ставка за мощность не взимается с потребителя сбытовой компанией единой энергосистемы и может быть отнесена к возможной доходности объекта распределенной генерации. Таким образом, одним из наиболее важных критериев для оценки применимости объекта распределенной генерации по технологии с использованием ВИЭ со стохастичной выработкой является степень совпадения графика выработки с графиком пиковых потреблений в зоне действий гарантирующего поставщика данного потребителя.

Для солнечной энергетики возможно использование процентного соотношения попадания пикового часа в световой день, но для ветроэнергетических установок следует смотреть на конкретные показатели выработки в каждый конкретный час времени.

Применяя оценочную шкалу к данному показателю, можно использовать логику того, что если доля попадания выработки в пиковый час равна КИУМу с погрешностью в 2% в оцениваемом регионе, то плата за мощность полностью эквивалентна получаемой из сети электроэнергии. В

таком случае, плата за мощность от всех выработанных кВт*ч также равномерно распределена по всей выработанной электроэнергии. Таким образом, вырабатываемая мощность от объекта распределенной генерации будет равна стоимости мощности из сети за тот же объем электроэнергии. Такая ситуация не говорит нам о значительной экономии за счет распределенной генерации, но является альтернативой централизованному электроснабжению.

В случае, если доля попадания пиковых часов на время выработки электроэнергии меньше КИУМа более чем на 2%, то оплата мощности в большей части приходится на сбытовую организацию и в пиковый час электроэнергия поставляется из сети. Это означает, что за нее необходимо будет заплатить сбытовой организации. Таким образом, объект распределенной генерации не будет давать экономию от платы за мощность. Такую ситуацию можно охарактеризовать как негативную. Ведь большая доля тарифа на электроэнергию для потребителя не будет нивелирована хотя бы на тот же объем электроэнергии, что произвела распределенная генерация.

Но если доля выработки в пиковый час выше КИУМ более чем на 2%, то большая часть потребления мощности, приходится на объект распределенной генерации и не оплачивается сбытовой компанией. Это создает дополнительную экономию и дает возможность поставлять электроэнергию и мощность из объекта распределённой генерации по более высокому тарифу, чем поставляется из сети. Более того, если доля попадания в пик больше, чем КИУМ в два раза, то и экономия получается значительной. Это означает что распределенная генерация берет на себя большую часть пикового потребления.

В соответствии с описанным принципом, если доля попадания времени работы генерации в пиковый час потребления ниже показателя КИУМ с погрешностью 2%, то оценка равна ноль баллов. Если показатель покрытия пиковой мощности варьируется в зоне равной КИУМ с погрешностью в 2%, то это означает полное выравнивание с сетевым паритетом получаемой

альтернативной стоимости реализации мощности от объекта распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии. В рассматриваемой ситуации происходит замещение равнозначного количества потребляемой мощности из сети, как если бы объект генерации не создавался и не оказывалось влияние на тариф на электроэнергию и не создавалась экономии. Данная ситуация может быть оценена в один балл.

В случае, если показатель покрытия мощности более чем на 2% больше КИУМ – это означает, что данный объект распределенной генерации не только является альтернативой существующей системе электроснабжения, но и дает возможность значительной экономии за счет перевода составляющей мощности на более дешевый источник электроэнергии. Такая ситуация может быть оценена в два балла и говорить о потенциале пространственной организации распределенной генерации. Когда же на долю распределённой генерации приходится в два с лишним раза больше пикового потребления, чем КИУМ, то можно говорить о значительном замещении оплаты электроэнергии из сети. Такая ситуация может быть оценена в три балла.

Не менее важной частью для оценки применимости распределенной генерации в конкретном регионе является потенциальная экономия от применения такого проекта для потребителя за счет экономии на сетевой и инфраструктурной составляющих. Как уже упоминалось, помимо платы за мощность, значительная часть выплат приходится на дополнительные платежи. Такие как ставка по передаче, ставка за содержание сетей, сбытовая надбавка и другие. Общая сумма выплат, приходящаяся на кВт*ч электроэнергии, сильно различается, в зависимости от региона и уровня напряжения, на котором работает предприятие. В то время как стоимость электроэнергии, которая является отражением себестоимости производимой электроэнергии, внутри одной ценовой зоны, почти не изменяется.

Таким образом, для расчета применимости объекта распределенной генерации, необходимо рассматривать отношение общей суммы дополнительных выплат на единицу энергии к средневзвешенной

нерегулируемой цены электрической энергии (мощности). Данное соотношение показывает на сколько велика переплата на сетевую составляющую относительно самой стоимости электроэнергии. А значит и то, на сколько велика будет экономия от нивелирования дополнительных расходов на сетевую часть при создании собственного объекта генерации. Конечно, себестоимость генерации электроэнергии из возобновляемых источников энергии не всегда равна сетевой стоимости электроэнергии. Она может быть как выше, так и ниже биржевого курса на электроэнергию и мощность, в зависимости от вида генерации. Тем не менее, это касается экономической эффективности каждого конкретного проекта, в частности, а не средней оценки потенциала региона. Точно также, как на бирже имеет значение только текущий тариф в расчетный период, а не экономика каждого конкретно проекта.

Отношение 1:1 говорит лишь о полном покрытии выплатами за сетевую составляющую стоимостью потребляемой электроэнергии. При таком соотношении можно говорить о безубыточности объекта генерации за счет сокращения расходов на сетевую составляющую. Следовательно, при соотношении менее, чем 1:1, можно говорить о покрытии расходов на генерацию за счет экономии на оплате сетевой компании. Данное значение оценивается с весом в один балл в нашей системе оценок.

В случае если отношение сетевой составляющей и средневзвешенной нерегулируемой цены электрической энергии (мощности) менее, чем 1:1, то это означает, что производимая электроэнергия не может быть компенсирована за счет экономии на сетевой составляющей. Эта ситуация не говорит нам о неэффективности проекта, а лишь об отсутствии экономии за счет данного показателя. Тем не менее, потенциал региона по данному показателю является низким. Следовательно, при таком соотношении, регион должен быть оценен в ноль баллов.

Показатели в диапазоне от 1:1 до 2:1 относительно платы сетевой составляющей к средневзвешенной нерегулируемой цене электрической

энергии (мощности) демонстрирует экономию за счет нивелирования данной статьи расходов в оплате электроэнергии. Экономия появляется за счет того, что производимая электроэнергия стоит меньше, чем возможные затраты на передачу аналогичного объема электроэнергии из сети. Не говоря уже о самой стоимости этой электроэнергии из сети. Следовательно, данный диапазон может быть оценен в два балла.

С учетом стоимости электроэнергии, производимой на объектах распределенной генерации, и высокой себестоимости относительно магистральной электроэнергии, при отсутствии эффекта масштаба, соотношение более 2:1 является наиболее редким. Такое соотношение говорит о доходности проекта установки станции исключительно за счет сетевой составляющей. При такой ситуации, маржинальность замещения электроэнергии из сети только за счет сетевой составляющей является более чем 100%. Таким образом, попадание в описанный диапазон для предполагаемого объекта распределенной генерации можно оценивать в три балла в рамках предлагаемой системы оценки.

Однако, в связи с тем, что сетевая составляющая стоимости электроэнергии для конечного потребителя варьируется в зависимости от уровня напряжения, на котором подключен потребитель (НН, СН1, СН2, ВН), по каждому региону получается четыре оценки отношения сетевой составляющей к себестоимости электроэнергии.

В общем виде предлагаемая методический подход оценки регионов рассчитывается по формуле (1)

$$A = \frac{(P+C+E)}{n}, \quad (1)$$

где A - общая оценка потенциала региона для применения распределенной генерации на основе выбранного возобновляемого источника энергии по трехбалльной шкале;

Р – оценка производительности согласно климатическим условия (баллы по оценке коэффициента использования установленной мощности);

С – оценка сопоставления графика пиковых часов с графиком выработки выбранного вида генерации (баллы по оценке доли попадания выработки в пиковый час);

Е – оценка отношения сетевой составляющей к средневзвешенной нерегулируемой цены электрической энергии (мощности) (баллы по оценке отношений стоимости электроэнергии к сетевой составляющей);

n – количество рассматриваемых элементов.

Все рассматриваемые характеристики имеют одинаковую значимость для оценки потенциала региона реализации проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии. Это обусловлено тем, что проект распределенной генерации может быть экономически эффективным при высоких показателях двух из трех показателей с равной вероятностью. В некоторых случаях, проект может иметь значительную выгоду и при условии лишь одного показателя, имеющего высокую оценку. Однако, это лишь частный случай, который зависит как от графика потребления конкретного потребителя, понесенных затрат на сооружение, графика пиковых часов или исключительно высокой экономии по одному из критериев.

Оставаясь в рамках логики предлагаемой классификации, любой регион с оценкой до одного балла является регионом с низким уровнем потенциала реализации проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии. Оценка от одного до двух баллов является средним потенциалом для пространственной организации распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии. В то же время, любой проект в регионе с оценкой от одного до двух баллов может быть вполне рассмотрен как проект оптимизации затрат, повышения энергоэффективности предприятия и обеспечения энергетической

безопасности. В этих регионах, экономическая эффективность проекта зависит от конкретных условий реализации, капитальных затрат, графика потребления предприятия и многих других характеристик каждого конкретного случая. В тот же момент, проекты распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии, в регионах с оценкой более двух баллов, имеют значительный потенциал для реализации. Регионы с оценкой более двух баллов имеют наиболее благоприятные условия для реализации такого рода проектов. Экономическая эффективность проекта, конечно, все также зависит исключительно от конкретных условий реализации. Однако с точки зрения возможной получаемой выгоды от такого рода проектов, эти регионы являются наиболее перспективными.

Согласно данному методическому подходу, проведена оценка всех регионов Российской Федерации, входящих в первую и вторую ценовые зоны оптового рынка электроэнергии и мощности.

Расчет показателя КИУМ произведен с использованием специального программного обеспечения PVSyst для расчета выработки солнечной электростанции с установленной мощностью один мегаватт, взятой за шаблонную станцию и рассчитанной в каждом регионе ценовых зон ЕЭС. Полученные результаты выработки, согласно классическому подходу к расчету КИУМ, разделены на максимально возможное производство электроэнергии за календарный год, равное 8760 МВт*ч. Подробные результаты расчета относительно КИУМ в каждом из 69 регионов, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы Российской Федерации, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода, представлено в приложении А. Тем не менее, регионы с наиболее высоким КИУМ для солнечной генерации можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 – Наиболее эффективные регионы по выработке электроэнергии солнечной электростанцией

Регион	В процентах
	КИУМ
Карачаево-Черкесская Республика	18,70
Забайкальского края	18,38
Республика Северная Осетия – Алания	17,32
Республика Тыва	17,13
Республики Бурятия	17,08

Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Совпадение показателя пиковых часов на время выработки электроэнергии рассчитывается с помощью выгрузки показателей почасовой выработки, с использованием того же программного обеспечения PVSyst и наложения показателей пикового часа с выработкой электроэнергии на станции. Пиковый час взят из официально публикуемой отчетности о пиковых часах потребления в энергосистеме на сайте администратора торговой системы [1]. Получившиеся результаты представлены в приложении Б. Пять регионов, с наиболее высоким показателем попадания генерации с использованием ВИЭ в пиковый час, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Регионы с наибольшим попаданием выработки СЭС в пиковые часы потребления гарантирующего поставщика

Регион	В процентах
	Доля попаданий в пик
Ивановская область	90
Псковская область	67
Ярославская область	61
Смоленская область	57
Орловская область	55

Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Отношение сетевой составляющей к себестоимости вырабатываемой, а точнее, средневзвешенной нерегулируемой цены электрической энергии (мощности), рассчитывается как отношение единого котлового тарифа, который официально публикуется в каждом конкретном регионе согласно приказам тарифицирующего органа, к цене средневзвешенной нерегулируемой цены электрической энергии (мощности), средней за календарный год согласно отчетам АО НП «Совет рынка» [60]. Сетевая составляющая сильно различается, в зависимости от уровня напряжения поставки электроэнергии, в связи с чем показатель отношения сетевой составляющей рассчитан для каждого уровня напряжения. Результаты расчеты данного показателя по регионам, входящим в ценовые зоны Единой Энергетической Системы представлены в приложении В. Регионы с наиболее высокими показателем отношения сетевой составляющей к средневзвешенной нерегулируемой цене электрической энергии (мощности) представлены в таблице 3.

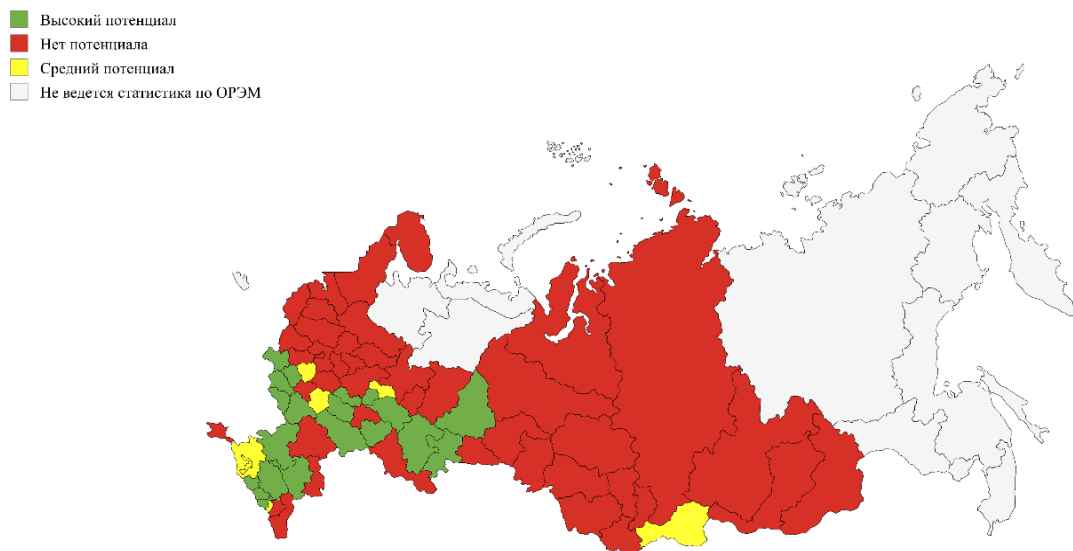
Таблица 3 - Регионы с наиболее высоким отношением сетевой составляющей к средней стоимости электроэнергии

Регион	НН	СН2	СН1	ВН	Среднее
Ленинградская область	0,68	1,44	1,75	2,74	1,65
Республика Ингушетия	1,42	1,48	1,74	1,88	1,63
Республика Северная Осетия - Алания	1,14	1,54	1,71	2,00	1,60
Республика Тыва	1,48	1,52	1,53	1,54	1,52
Краснодарский край	0,83	1,08	1,67	2,23	1,45

Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Полученные результаты дают возможность перевести каждый из показателей в балльную систему согласно предлагаемому методическому подходу. Для перевода в балльную систему, применена описанная ранее формула расчета для поиска отношения показателя по каждому уровню

напряжения потребления электроэнергии. Результаты расчетов приведены в приложении Г и на рисунке 7.



Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Рисунок 7 - Результаты оценки потенциала пространственной организации регионов для реализации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии

По результатам представленным ранее, можно сделать выводы, что для получения наибольшей эффективности в проектах распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии, в частности, основанной на солнечной энергии, выработка генерации не является основополагающим показателем. Высокая выработка электроэнергии на основе солнечной энергии в регионе не говорит о том, что компания будет иметь наибольшую экономию при применении солнечной электростанции в рамках распределенной генерации. Не менее важными критериями являются особенности ценообразования за получаемую энергию и возможные платежи после реализации такого рода оптимизационного проекта. На основании полученных результатов можно сделать выводы, что в 22 регионах солнечная энергетика имеет высокий потенциал к получению экономической выгоды. В

7 регионах, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, солнечная генерация имеет потенциал, но зависит от графика потребления предприятия, сложности установки и других показателей. Однако, в 40 регионах потенциал применения незначительный и вряд ли будет достигнута экономическая эффективность проекта.

2.3 Потенциал улучшение экологической обстановки регионов Российской Федерации с помощью ВИЭ

Современное производство электроэнергии оказывает значительное влияние на окружающую среду, создавая как экологические, так и экономические проблемы. Особенно разрушительное воздействие оказывает традиционная генерация, основанная на использовании ископаемого топлива. Трудно переоценить эколого-экономический ущерб, наносимый классической генерацией окружающей среде

Загрязнение воздуха, воды и почвы, вызванное работой тепловых электростанций (ТЭС), приводит к серьезным последствиям для здоровья населения. Воздух, насыщенный вредными выбросами, такими как оксиды азота (NO_x), углерода (CO_x), серы (SO_x), а также твердые частицы и углеводороды, провоцирует рост заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистой системы и онкологических болезней.

Проблема загрязнения выходит за рамки медицины и влияет на экономику. Загрязнение природы оказывает пагубное влияние на здоровье людей, увеличивая уровень заболеваемости и смертности, что сокращает среднюю продолжительность жизни, снижает трудоспособность и производительность. Это приводит к росту расходов на здравоохранение, увеличению больничных отпусков и уменьшению выпуска экологически чистой продукции в загрязненных районах [44].

Кроме того, страдают природные ресурсы и экосистемы, а также отрасли, зависящие от природных ресурсов. Загрязнение ведет к снижению

плодородия почв, снижению урожайности и доходов сельского хозяйства, падению продуктивности лесного хозяйства. Загрязнение водоемов, используемых в промышленности и водоснабжении, снижает их рыночную стоимость и наносит ущерб особо охраняемым природным территориям, ставя под угрозу биоразнообразие. Чрезмерное использование воды в технологических процессах снижает доступность пресной воды для обеспечения жизнедеятельности.

Лесное хозяйство также страдает от выбросов вредных веществ и изменения климата. Снижение количества осадков и деградация почв ведут к уменьшению темпов роста лесов, снижению качества древесины и, как следствие, уменьшению доходов лесозаготовительных предприятий.

Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды включает множество факторов, которые необходимо учитывать при его оценке. В частности, тепловые электростанции (ТЭС), работающие на ископаемом топливе, наносят наибольший вред экологии, загрязняя воздух, воду и почву. В результате сгорания топлива в атмосферу выбрасываются вредные оксиды азота, углерода, серы, а также твердые частицы, зола и шлак. ТЭС также негативно воздействуют на водоемы, снижая их водообмен.

Атомные электростанции, хотя и оказывают меньшее влияние на другие отрасли, несут риск радиоактивного загрязнения воды, почвы и воздуха. Это может повлиять на здоровье населения и репутацию продукции, произведенной вблизи таких объектов. В случае аварий последствия могут затронуть обширные территории.

Гидроэлектростанции (далее - ГЭС) нарушают экосистемы водохранилищ, что приводит к изменению видового состава их обитателей, исчезновению ценных видов рыб и изменению локального климата, что может отрицательно сказаться на сельском хозяйстве.

Нетрадиционные источники энергии, такие как солнечные и ветряные электростанции, практически не наносят вреда людям, животным

и промышленности. Однако ветряные турбины могут оказывать влияние на животных.

Действующие меры по компенсации ущерба, наносимого электростанциями в России, пока недостаточны. Экономические издержки производства энергии следует рассматривать с учетом влияния на всю экономику страны, а не только на производителей. Для снижения негативных последствий необходимо развитие экологически и экономически устойчивых технологий, среди которых наиболее перспективными являются солнечная и ветряная энергетика [105].

Так, согласно «Национальному Экологическому Рейтингу» регионов, составляемому общероссийской общественной организацией «Зеленый патруль» - наиболее благоприятная экологическая ситуация сложилась в регионах, представленных в таблице 4.

Таблица 4 — Топ-10 регионов с наиболее благоприятной экологической обстановкой

Место в рейтинге	Регион
1	Тамбовская область
2	Белгородская область
3	Республика Алтай
4	Курская область
5	Москва
6	Чеченская Республика
7	Чувашская Республика
8	Чукотский АО
9	Калужская область
10	Ненецкий АО

Источник: составлено автором по материалам [55].

Регионы с худшими показателями текущей экологической обстановкой на 2023 год представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Топ-10 регионов с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой

Место в рейтинге	Регион
76	Еврейская АО
77	Республика Саха (Якутия)
78	Севастополь
79	Иркутская область
80	Приморский край
81	Красноярский край
82	Омская область
83	Забайкальский край
84	Свердловская область
85	Челябинская область

Источник: составлено автором по материалам [55]

Не все из представленных регионов оценивались по предложенной ранее модели потенциала пространственной организации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии, по причине специфики деления российского рынка электроэнергетики. Однако можно сделать вывод, что среди регионов с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой есть регионы, где проекты распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии имеют значительный потенциал для эффективного использования и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Такими регионами являются Свердловская область с оценкой потенциала региона в два балла и Челябинская область с оценкой более двух баллов на более низких уровнях напряжения. Таким образом, можно сделать вывод, что в некоторых регионах с неблагоприятной экологической обстановкой проекты по распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии могут быть потенциально экономически эффективны. Такого рода проекты могут благоприятно отразиться на изменении сложившейся ситуации с экологической обстановкой в регионе. Более того, потенциал региона говорит о том, что в таких проектах может быть заинтересовано не только правительство региона, но и коммерческие предприятия в том числе. Такого

рода проекты позволят не только улучшить экологическую обстановку в регионе, но также и экономическую эффективность промышленности в регионе за счет высвобождения дополнительных денежных средств от экономии на электроэнергии. Таким образом, экологические проекты принесут выгоду во многих сферах деятельности компании.

Выводы по главе 2

В настоящий момент, возобновляемые источники энергии могут соперничать с классическими видами генерации в вопросе экономической эффективности проекта, а не только по критериям экологичности, автономности и долгосрочного воздействия на окружающую среду. Генерация электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии перестало быть сферой, в которой вопросы экономической эффективности рассматривались не в первую очередь, а во главу угла ставились как раз иные преимущества.

Возобновляемые источники энергии и современные новые технологии в производстве электроэнергии, без использования ископаемого или экологически «грязного» топлива, не являются идеальным способом для решения и преодоления всех проблем, стоящих перед человечеством. Каждый из вариантов имеет свои недостатки и преимущества. Данный вариант если не полностью избавит нас от накапливающихся проблем и вызовов, то хотя бы снизит негативные последствия развития экономики на окружающую среду и окажут положительное влияние на перспективы решения сложившейся ситуации и перехода к устойчивому развитию.

Учитывая данные факты, невозможно игнорировать глобальный переход к «зеленой» энергетике и в Российской Федерации. Доля возобновляемых источников энергии в Единой Энергетической Системе Российской Федерации пока остается крайне незначительной. Российская Федерация, благодаря большому потенциалу по всем видам возобновляемых источников энергии и всему огромному природному

и территориальному разнообразию страны, вполне может стать одним из лидеров энергетического перехода. К сожалению, российское законодательство и экономика электроэнергетики пока не приспособлены к такому энергетическому переходу. Дело заключается не только в том, что Российская Федерация является страной-донором энергетических ресурсов и занимает значительную долю на рынке ископаемых энергоресурсов, но и в том, что пока и устройство энергетического сектора в нашей стране не готово к тому, чтобы внедрять возобновляемые источники электроэнергии, как с экономической, так и с технической точки зрения. Большая часть рынка является субсидируемым даже для классической генерации и не существует рыночных механизмов поддержки свободной реализации коммерческих проектов возобновляемых источников энергии. Отсутствие готовности российского энергетического сектора проявляется даже в том, что позволяет объектам генерации электроэнергии быть сверхдоходными.

Рынок российской электроэнергетики является уникальным и включает в себя большое количество сложных механизмов и взаимосвязей. В нем представлены все возможные виды генерации электроэнергии, большая сетевая инфраструктура и развитая система балансирования всех субъектов электроэнергетики - от потребителей до сетевых и сбытовых компаний. Российский рынок электроэнергетики молод и проходит свой переломный момент ухода от централизованного и государственного управления к более рыночной, децентрализованной системе существования и развития. Однако, в столь значимой для жизни человека отрасли, данный процесс не может быть быстрым и поспешным, особенно, если говорить про сложную систему устройства работы электроэнергетики. Помимо этого, значительные перемены в мировой практике электрогенерации, с учетом перехода на альтернативные источники энергии, оказывают свое влияние на переход от старого и неэффективного устройства к новому.

Развитие распределенной генерации, как и генерации на основе возобновляемых источников энергии, еще не получило должного внимания в

Российской Федерации - как в практическом применении, так и в законодательных инициативах. Первой же проблемой является то, что в Российской Федерации нет единого и однозначного термина «распределенная генерация». Единая терминология отвечала бы запросам научного сообщества, соответствовала общемировой статистической и аналитической практике, и не противоречила бы действующему российскому законодательству в вопросе достижения целей распределенной генерации.

Более того, предложенный методический подход оценки регионов с точки зрения потенциала пространственной организации реализации проектов распределенной генерации на основании возобновляемых источников энергии, показывает, что это достаточно сложный и не настолько однозначный вопрос. Вопрос реализации такого рода проектов и выбора мест их реализации является более комплексным и специфическим. Тем не менее, развитие возобновляемых источников энергии необходимо. И хотя в настоящий момент оно происходит исключительно за счет государственных субсидий, основными проблемами для развития являются не столько административные барьеры и ограничения в этом направлении, сколько отсутствие инструментов для оценки потенциала и знаний по развитию такого рода направлений. Первостепенной проблемой является сложность расчета экономической эффективности проектов генерации с использованием возобновляемых источников энергии, в связи с особенностями работы российской электроэнергетики.

С учетом сложности и многофакторности электроэнергетического рынка Российской Федерации относительно потребителя в виде уровней напряжения, ценовых категорий и принадлежности потребителя к ценовым зонам Единой Энергетической Системы, охарактеризовать регионы можно как имеющих высокий, средний и низкий потенциал. Также, в силу того что каждый из видов возобновляемых источников энергии имеет свою стохастическую выработку в каждом регионе, не похожую друг на друга, предложена классификация регионов по потенциалу использования

возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации по принципам обозначенным в главе 1.

Также, предложен и апробирован методический подход к оценке потенциала использования возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации на примере 69 регионов, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы Российской Федерации. На основании полученных расчетов сделана ранжированная классификация регионов и составлена карта потенциала использования возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации на примере солнечной энергии.

Глава 3

Экономическая эффективность пространственной организации внедрения объектов распределенной генерации с использованием возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации

3.1 Методы оценки экономической эффективности возобновляемой энергетики

Российская электроэнергетика имеет особенности правил присоединения к электросетям в виде значительного различия потребителей по ценовым категориям, ценовым зонам, уровням надежности, уровням напряжения. Также в российской электроэнергетике существует уникальная система ценообразования на электроэнергию для конечного потребителя с учетом не только всех выше обозначенных характеристик, но и конкретного времени потребления основного товара, состояния энергосистемы в момент потребления и многих других аспектов.

В настоящий момент, одной из самых распространенных методик по оценке инвестиционных проектов является методика Организации объединенных наций по промышленному развитию [64]. Оценка экономической эффективности проектов, обычно, выполняется методом дисконтированных денежных потоков. Так и в распределенной энергетике, достаточно часто используется методика на основе сравнения дисконтированных денежных потоков от снабжения электроэнергией из централизованной сети (без энергоцентра) с альтернативным вариантом энергоснабжения (с энергоцентром) [38; 67; 68].

При расчете экономической эффективности, учитываются капитальные вложения в строительство энергоцентра и в присоединение к сетям электроснабжения. Операционные расходы составляют расходы на

приобретение топлива, сервисное обслуживание и ремонты, уплату налогов. Однако не стоит также забывать о том, что финансово-экономическая модель должна учитывать рост цен на электрическую энергию и мощность на розничном и оптовом рынках, тарифов на дополнительные услуги в электроэнергетике, цен на природный газ, потребительских цен, реальной заработной платы, в соответствии с прогнозными индексами Минэкономразвития для большей релевантности.

Другой, не менее популярный подход в электроэнергетике – это оценка проекта по нормированной стоимости электроэнергии (LCOE – Levelized cost of electricity). Суть данного подхода заключается в сравнении данного показателя с фактической стоимостью тарифа на электроэнергию. Если говорить о возобновляемых источниках энергии, то стохастичность выработки требует особенного подхода к расчету возможной экономии от установки генерирующего оборудования, поэтому, для возобновляемых источников энергии иногда используется модифицированный показатель нормированных альтернативных затрат (LACE – levelized avoided cost of electricity) [57]. Данный показатель тоже, по сути, является сравнением затрат на реализацию проекта генерации с альтернативным вариантом электроснабжения. Суть данных подходов заключается в расчете всех возможных издержек, понесенных на реализацию проекта и сравнении их с возможными издержками на реализацию альтернативного проекта. Такого рода проектами могут быть как распределенная генерация с разными видами генерации, так и снабжение электроэнергией из централизованной сети.

В обычном виде, общепризнанная формула нормированной стоимости электроэнергии [64] выглядит как показано в формуле (2)

$$LCOE = \frac{\sum \frac{I+M+F}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E}{(1+r)^t}}, \quad (2)$$

где LCOE – средневзвешенная стоимость электроэнергии, кВт*ч/руб.;

I – инвестиционные расходы, руб.;

M – операционные расходы, руб.;

F - затраты на топливо, руб.;

r - ставка дисконтирования, проценты;

t – срок жизни проекта, лет;

E – выработанное электричество, кВт*ч.

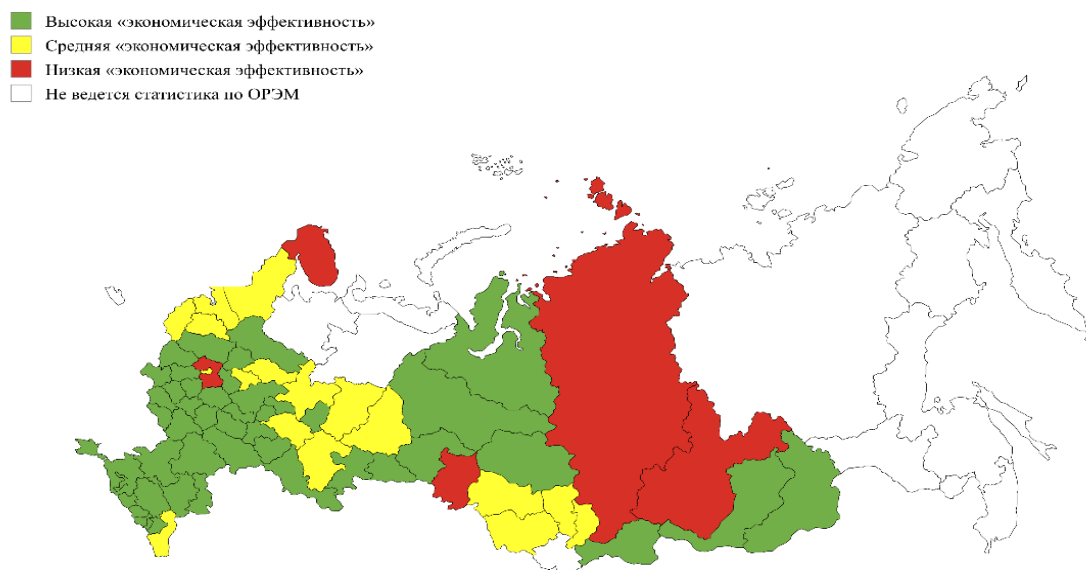
LCOE определяется как сумма всех расходов в течение срока службы актива, дисконтированных до текущей стоимости, деленная на сумму произведенной электроэнергии в течение срока службы актива, дисконтированного до текущей стоимости. Данная формула расчета является основной и используется в международных академических кругах, а также ключевыми международными энергетическими организациями, такими как Международное агентство по возобновляемой энергетике (IRENA) и Мировой энергетический совет (World Energy Council), а также аналитическими агентствами, как Bloomberg New Energy Finance и Lazard [8].

Данный подход имеет место быть при однородности выплат за электроэнергию и сравнении прямых затрат на реализацию нескольких различных вариантов реализации проекта электроснабжения. Однако данный подход не является справедливым для всех источников электроэнергии. Как рассматривалось ранее, многие возобновляемые источники энергии не имеют стоимости энергоресурсов, а значит, операционные затраты во время эксплуатации станции будут значительно ниже остальных видов генерации, что, при соразмерной выработке, может иметь значительное преимущество. Тем не менее, не все электростанции могут предоставлять полное снабжение электроэнергией или иметь управляемую выработку так, чтобы вырабатывать электроэнергию в тот конкретный момент, когда есть потребление [74].

Более того, данная методика расчета не дает представление о реальной себестоимости электроэнергии, получаемой от какого-то конкретного вида генерации. Основной проблемой является то, что в рамках данного подхода

проводится дисконтирование выработки электроэнергии, которая не является финансовым показателем и, в рамках затратного подхода к расчету показателя, не должна изменяться с течением времени, тем более, с учетом сложного процента в процессе дисконтирования. По факту, в рамках данного расчета, рассчитывается не безубыточность поставляемой электроэнергии, а, скорее, тарифный показатель при заданной норме доходности, которую ставит перед собой инвестор [89]. Получается, что в рассматриваемом расчете выработка электроэнергии является не показателем реальных технических возможностей вида генерации какого-то конкретного объекта, а величиной, эквивалентной выручке предприятия. Выручка предприятия, по общим правилам, должна учитывать обесценивание денег во времени и более того - стоимость инвестированного капитала с течением времени, в отличие от выработки, которая подвержена исключительно фактической деградации оборудования.

С другой стороны, рассмотрение дисконтированных затрат во времени, без учета получаемой выручки, может повлечь за собой отсутствие равновесия в понесенных затратах в каждый конкретный период и привести к тому, что какой-то период будет оплачен либо за счет будущих периодов, либо за счёт прошлых. Вся это система говорит о том, что данный показатель показывает лишь приведенное среднее значение за весь срок реализации проекта, а не конкретную экономическую эффективность проекта. На основании данного показателя можно лишь сделать выводы о том, какой вариант электроснабжения лучше или хуже относительно данного показателя. Результаты расчета экономической эффективности распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии по методике средневзвешенной стоимости электроэнергии в регионах Российской Федерации представлены на рисунке 8.



Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Рисунок 8 - Экономическая эффективность проектов наиболее подходящих для солнечной генерации регионов, согласно методике LCOE

Другой упомянутый подход к расчету экономической эффективности проектов распределенной генерации заключается в сравнении стоимости поставок электроэнергии из сети и при строительстве объекта распределенной генерации [61; 66]. В общем виде, большая часть методик расчета экономической эффективности с помощью дисконтированных денежных потоков выглядит, как показано в формуле (3) [38]

$$NPV = NPV_1 - NPV_2, \quad (3)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

NPV_1 – чистая приведенная стоимость проекта реализации электроэнергии из сети, руб.;

NPV_2 – чистая приведенная стоимость проекта реализации электроэнергии от собственного источника генерации, руб.

В рамках упрощения расчета сравнения данных подходов, можно представить формулу чистой приведенной стоимости по каждому виду проекта, как представлено в формуле (4)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{P_t * M - C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (4)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта;

t – срок реализации проекта, лет;

P_t – одноставочный тариф на электроэнергию, руб./кВт*ч;

M – выработка электроэнергии, кВт*ч;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, проценты;

C_0 – первоначальные инвестиции, руб.

Таким образом, все подходы, для оценки экономической эффективности применимости распределенной генерации, можно разделить на затратный и доходный методы. Оба имеют свои плюсы и недостатки. Однако если рассматривать подробнее каждый из этих методов и пытаться имплементировать данные методы на российскую электроэнергетику, то требуется внести некоторые дополнения и уточнения. Российская электроэнергетика имеет особые правила присоединения к электросетям в виде значительного различия потребителей по ценовым категориям, ценовым зонам, уровням надежности, уровням напряжения. Также российская электроэнергетика имеет уникальную систему ценообразования на электроэнергию для конечного потребителя с учетом не только всех вышеобозначенных характеристик, но и конкретного времени потребления электроэнергии, состояния энергосистемы в момент потребления и многих других аспектов.

В работе предлагает локализованный доходный метод оценки экономической эффективности проекта. Основное различие предлагаемой методики от классического метода расчета для энергетических объектов заключается в расчете положительных денежных потоков и доходов от применения распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии. Формула чистой приведенной стоимости, которая является основным показателем определения получаемого дохода от инвестиционного проекта, согласно методике дисконтированных денежных потоков, в общем виде представлена в формуле (5)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (5)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

t – срок реализации проекта, лет;

B_t – доходы за определенный период, руб.;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, %;

C_0 – первоначальные инвестиции на строительство генерирующего объекта, руб.

В рамках предлагаемой методики, наибольшее различие имеет способ расчета каждого из данных показателей. Проверка предлагаемой методики произведена на примере солнечной генерации. Солнечная энергетика не требует регулярного технического обслуживания и не потребляет никакого энергоресурса, который регулярно нужно обслуживать. Единственное, что может потребоваться для солнечной энергетике после установки – это редкая очистка, работа по которой столь мала, что даже не требует значительных операционных затрат, соразмерных общему масштабу проекта. Это означает,

что показатель операционных затрат для солнечной энергетики почти всегда равен 0. Данный показатель может изменяться в случае аренды используемой территории, но является скорее, частным случаем, чем общей практикой. Что касается дохода за определенный период, то здесь уже имеет значение огромное количество факторов. Как уже говорилось ранее – тарификация в электроэнергетике завязана на большое количество разных показателей, имеющих отношение как к объему фактически потребляемой электроэнергии, так и передаваемой электроэнергии. Основные выплаты в электроэнергетике строятся на основе отношения к каждому конкретному потребленному кВт*ч, а значит, данную часть показателя B_i можно сформулировать, как представлено в формуле (6)

$$B_t = B_{t \text{ электроэнергия}} + B_{t \text{ мощность}}, \quad (6)$$

где B_t – доходы за определенный период, руб.;

$B_{t \text{ электроэнергия}}$ – доходы от продажи электроэнергии представлены по формуле (7), руб.

$$B_{t \text{ электроэнергия}} = Q \times P, \quad (7)$$

где $B_{t \text{ электроэнергия}}$ – доходы от продажи электроэнергии, руб.;

Q – количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P – предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе рассчитывается по формуле (8), руб./кВт*ч

$$P = P_{\text{средней стоимости э/э РСВ}} + T_{\text{услуг по передаче}} + T_{\text{сбытовой надбавки}} + T_{\text{инфраструктурных платежей}} + T_{\text{корректирующая средняя}}, \quad (8)$$

где P - предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$P_{\text{средней стоимости э/э РСВ}}$ — средневзвешенная свободная нерегулируемая цена на электрическую энергию для потребителей, осуществляющих расчеты на розничном рынке по одноставочному или двухставочному тарифу за расчетный период, руб./кВт*ч;

$T_{\text{услуг по передаче}}$ — единый котловый тариф на услуги по передаче электрической энергии на территории региона расположения объекта распределенной генерации, установленный в соответствии с приказом ФАС по регулированию тарифов в регионе, руб./кВт*ч;

$T_{\text{сбытовой надбавки}}$ — сбытовая надбавка поставщика электроэнергии, руб./кВт*ч;

$T_{\text{инфраструктурных платежей}}$ — тариф платежей инфраструктурным организациям, оказывающим услуги по организации оптового рынка электрической энергии и мощности, таким как ОАО «СО ЕЭС», ОАО «АТС», ЗАО «ЦФР», НП «Совет Рынка», руб./кВт*ч;

$T_{\text{корректирующая средняя}}$ — цена корректировки стоимости электрической энергии предыдущего расчетного периода согласно действующему договору энергоснабжения, руб./кВт*ч.

$B_{i \text{ мощность}}$ — доходы от продажи мощности, которая составляет значительную часть выплаты предприятия, рассчитываются по формуле (9), руб.

$$B_{t \text{ мощность}} = \sum T_{\text{мощность}} \times O_{it}, \quad (9)$$

где $B_{t \text{ мощность}}$ - доходы от продажи мощности, которая составляет значительную часть выплаты предприятия, руб.;

$T_{\text{мощность}}$ – стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

O_{i_t} – средняя выработка электроэнергии объекта генерации в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

i_t – конкретный месяц года t , месяц.

Следовательно, формула расчета экономической эффективности проекта выглядит как формула (10)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{Q \times P + \sum T_{i_t} \times O_{i_t} - C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (10)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

t – срок реализации проекта, лет;

Q – количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P – предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$T_{\text{мощность}}$ – стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

i_t – конкретный месяц года t , месяц;

O_{i_t} – средняя выработка электроэнергии в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, проценты;

C_0 – первоначальные инвестиции на строительство генерирующего объекта, руб.

Данная формула применима исключительно к потребителям, получающим электроэнергию от распределенных источников генерации, при потреблении электроэнергии из сети по третьей и пятой ценовым категориям. В случае, если потребитель рассчитывается с поставщиками электроэнергии по четвертой или шестой ценовым категориям, то расчет положительных денежных потоков происходит по формуле (11)

$$B_t = B_{t \text{ электроэнергия}} + B_{t \text{ сетевая мощность}} + B_{t \text{ мощность}}, \quad (11)$$

где B_t – доходы за определенный период, руб.;

$B_{t \text{ электроэнергия}}$ – доходы от продажи электроэнергии, рассчитываются по формуле (12), руб.

$$B_{t \text{ электроэнергия}} = Q \times P, \quad (12)$$

где Q – количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P – предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, рассчитываемая по формуле (13), руб./кВт*ч

$$P = P_{\text{средней стоимости э/э РСВ}} + T_{\text{сбытовой надбавки}} + T_{\text{инфраструктурных платежей}} + T_{\text{корректирующая средняя}}, \quad (13)$$

где P – предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$P_{\text{средней стоимости э/э РСВ}}$ – средневзвешенная свободная нерегулируемая цена на электрическую энергию для потребителей, руб./кВт*ч;

$T_{\text{сбытовой надбавки}}$ – сбытовая надбавка поставщика электроэнергии, руб./кВт*ч;

$T_{\text{инфраструктурных платежей}}$ – тариф платежей инфраструктурным организациям, оказывающим услуги по организации оптового рынка электрической энергии и мощности, таким как ОАО «СО ЕЭС», ОАО «АТС», ЗАО «ЦФР», НП «Совет Рынка», руб./кВт*ч;

$T_{\text{корректирующая средняя}}$ – цена корректировки стоимости электрической энергии предыдущего расчетного периода согласно действующему договору энергоснабжения, руб./кВт*ч.

$B_t \text{ сетевая мощность}$ – доход от экономии на услугах по передаче рассчитывается по формуле (14), руб.

$$B_t \text{ сетевая мощность} = \sum M_{i_t} \times T_{\text{сетевой мощности}}, \quad (14)$$

где $B_t \text{ сетевая мощность}$ – доход от экономии на услугах по передаче, руб.;

M_{i_t} – среднее арифметическое из максимальных значений выработки в каждые рабочие сутки расчетного периода почасовых объемов потребления электрической энергии в часы пиковой нагрузки, кВт;

$T_{\text{сетевой мощности}}$ – одна из частей двухставочного тарифа на услуги по передаче электрической энергии на территории региона расположения объекта распределенной генерации, установленная в соответствии с приказом ФАС по регулированию тарифов в регионе, руб./кВт.

$B_t \text{ мощность}$ – плата за мощность, которая составляет значительную часть выплаты предприятия, рассчитывается по формуле (15)

$$B_t \text{ мощность} = \sum T_{\text{мощность}} \times O_{i_t}, \quad (15)$$

где $B_{t \text{ мощность}}$ — плата за мощность, которая составляет значительную часть выплаты предприятия;

$T_{\text{мощность}}$ — стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

O_{it} — средняя выработка электроэнергии в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

i_t — конкретный месяц года t , месяц.

Таким образом, формула расчета экономической эффективности проекта для четвертой и шестой ценовых категорий выглядит как формула (16)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{Q \times P + \sum T_{\text{мощность}} \times O_{i_t} + \sum M_{i_t} \times T_{\text{сетевой мощности}} - C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (16)$$

где NPV — чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

t — срок реализации проекта, лет;

Q — количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P — предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$T_{\text{мощность}}$ — стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

O_{it} — средняя выработка электроэнергии в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

i_t — конкретный месяц года t , месяц;

M_{i_t} — среднее арифметическое из максимальных значений выработки в каждые рабочие сутки расчетного периода почасовых объемов потребления электрической энергии в часы пиковой нагрузки, кВт;

$T_{\text{сетевой мощности}}$ - одна из частей двухставочного тарифа на услуги по передаче электрической энергии на территории региона расположения объекта распределенной генерации, установленная в соответствии с приказом ФАС по регулированию тарифов в регионе, руб./кВт;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, проценты;

C_0 – первоначальные инвестиции на строительство генерирующего объекта, руб.

Основная идея предлагаемой методики заключается в том, что получаемая электроэнергия имеет многосоставную структуру ценообразования и не может считаться по единому унифицированному тарифу. В рамках правил российской электроэнергетики, потребление, либо в нашем случае, выработка электроэнергии в каждый конкретный час, имеет свое влияние на плату за электроэнергию. Описанные формулы, учитывают все тонкости и сложности ценообразования в российской электроэнергетике, для каждого конкретного проекта.

3.2 Механизм оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием энергии солнца

Для реализации проекта распределенной генерации с использованием солнечной энергии, в наибольшей степени подходят регионы с высокой стоимостью электроэнергии и высоким показателем солнечной радиации (инсоляции), определенные и проранжированные согласно применимости распределенной генерации в главе 2. Таких регионов в Российской Федерации много: Ростовская область, Краснодарский край, Ставропольский край, Курганская область, республика Дагестан и т.д. Однако, как уже описывалось

ранее, значительное влияние на потенциал реализации проекта может оказывать не только эти характеристики. Проект распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии может быть экономически эффективным и в регионах с низкой выработкой электроэнергии.

Наиболее важными частями, при планировании и проектировании объекта распределенной генерации, являются:

- график выработки предприятия в каждый конкретный час;
- уровень напряжения поставляемой электроэнергии;
- сумма потребляемой электроэнергии;
- ценовая категория потребителя.

Процесс реализации оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации должен начинаться со сбора первичных данных о предполагаемом проекте. Все предприятия, которые произвели технологическое присоединение к Единой Энергетической Системе на мощность более 670 кВт, должны быть оборудованы высокотехнологичной системой учета электроэнергии с почасовыми показателями. В случае если рассматривается установка распределенной генерации для планируемого, а не действующего, предприятия то единственная возможность оперировать планируемым графиком потребления. Именно данный этап является основным для определения целесообразности реализации проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии, а также определения наиболее выгодного варианта тарификации при работе с Единой Энергетической Системой.

Рассмотрим механизм расчета экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии для 3 ценовой категории потребителей.

Следующий шаг оценки экономической эффективности после сбора первичных данных о текущих тарифах заключается в получение данных о предполагаемой выработке объекта генерации. В связи с тем, что

возобновляемые источники энергии, в основном, имеют стохастическую выработку и не являются контролируемыми, то при реализации проекта существует возможность оперировать лишь прогнозными и предполагаемыми данными, а не четким запланированным графиком генерации. Тем не менее, в большинстве случаев, сила или график природных явлений, используемых как энергетический ресурс для такого вида генерации, можно спрогнозировать с достаточной высокой долей вероятности. Современные технологии и изучение метеорологии давно предсказывают направления, скорость и график ветров. Показатель солнечной радиации является расчетной величиной и самую большую неопределенность в выработку приносит лишь погодные условия в каждом конкретном регионе. Это же касается и других видов возобновляемой энергии.

Также, из необходимых исходных данных будет необходимо получить данные о пиковых часах за последние 12 месяцев в зоне деятельности гарантирующего поставщика, где будет установлен объект генерации. Также и показатель по 8760 часам последнего года о средневзвешенная свободная нерегулируемая цена на электрическую энергию для потребителей. Как и информация о стоимости мощности по каждому конкретному гарантирующему поставщику. Все оперативно нерегулируемые показатели, связанные с работой самой энергетической системы, публикуются, согласно законодательству, как самим гарантирующим поставщиком и системным оператором, так и аккумулируется на единой платформе администратора торговой системы.

Как уже упоминалось, оставшиеся показатели, входящие в систему ценообразования электроэнергии являются тарифицируемыми и назначаются ответственным контролирующим органом на год вперед. Так, например, за сетевую составляющую отвечает отдел тарификации регионального отделения Федеральной Антимонопольной Службы, если иное не установлено внутренними нормативными актами самого региона. Из перечисленных данных, для оценки экономической эффективности проекта распределенной

генерации с использованием возобновляемых источников энергии потребуются информация об установленных ставке на содержание сетей, ставки услуг за передачу и сбытовую надбавку гарантирующего поставщика, которые утверждаются на каждые полгода, каждого календарного года.

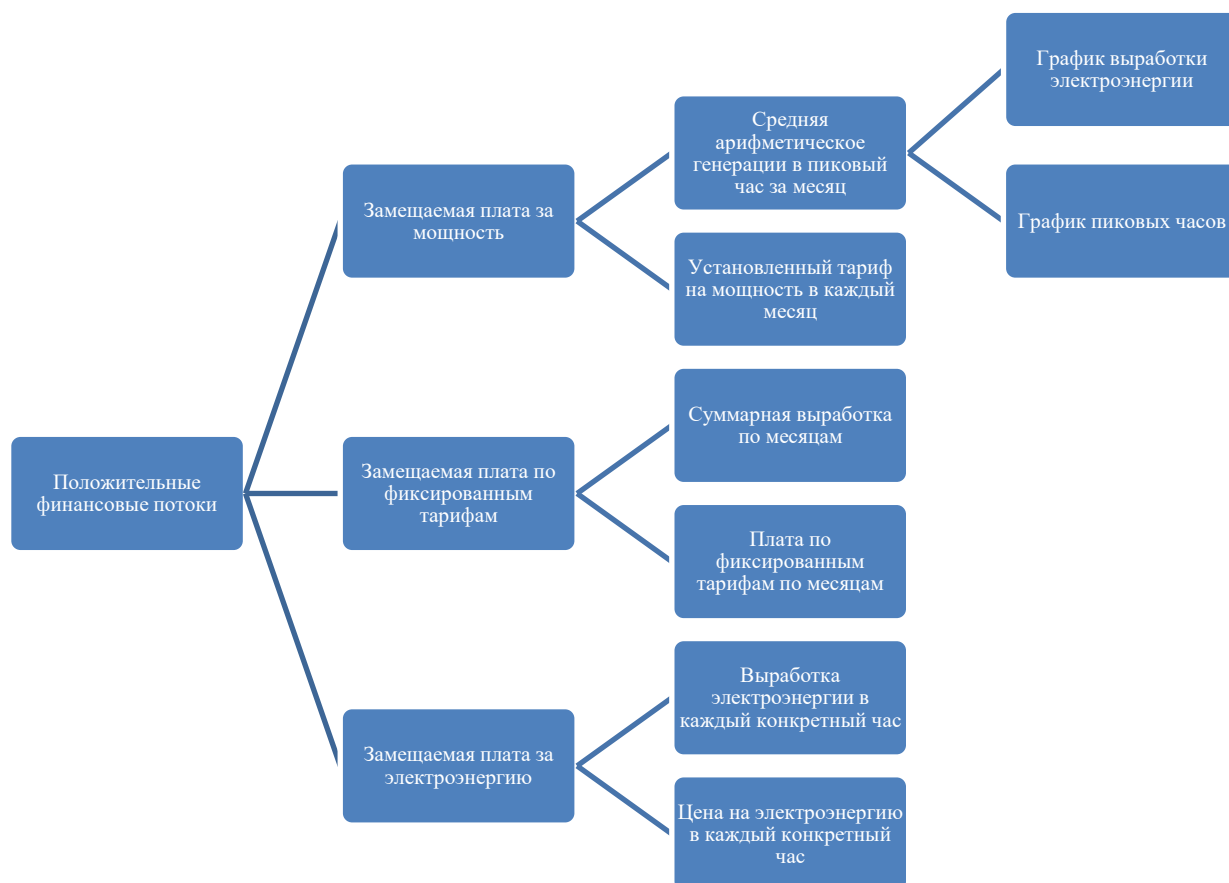
Самым простым этапом расчета экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии при 3 ценовой категории является расчет получаемой выгоды за счет замещения сетевой составляющей, ставки за содержание сетей, сбытовой надбавки и инфраструктурных платежей. Данные показатели учитываются по общей сумме произведенных кВт*ч от объекта генерации и сам тариф назначается на каждые полгода. В связи с чем, для расчета нам необходима лишь общая выработка электроэнергии от объекта генерации за каждый месяц в году, который перемножается с соответствующим тарифом по конкретному назначению.

Следующем этапом разработки проекта является сопоставление графика производства электроэнергии и графика пиковых часов по каждому конкретному месяцу в году. Сопоставив графики производства и графики пиковых часов, можно взять показания выработки в каждый конкретный пиковый час в конкретный месяц и вычислить среднее арифметическое показателя потребления мощности по каждому месяцу. Показатель потребления мощности в каждый конкретный месяц нужно умножить на плату за мощность, установленный по выбранному гарантирующему региону. Таким образом, будет установлена общая выгода, за сокращение расходов на потребляемую мощность от объекта генерации, с помощью замещения из сети.

Завершающим этапом в определение положительных денежных потоков от объекта распределенной генерации с использованием возобновляемого источника энергии является определение стоимости непосредственно электроэнергии, замещаемой из сети. Как упоминалось в главе 1, показатель стоимости электроэнергии является биржевым показателем и определяется на каждый конкретный час производства по

конкретной группе точек поставки гарантирующего поставщика. Соответственно, для расчета замещаемой электроэнергии необходимо взять показатели 8760 часов в году и значение суммы выработки в каждый конкретный час времени и перемножить значения, соответствующие каждому конкретному часу в году. Таким образом, будет определена общая сумма замещаемой электроэнергии из сети.

Все полученные значения, являются положительными денежными потоками, которые, совместно с показателями отрицательных денежных потоков в виде стоимости технического обслуживания и ремонтов, затрат на персонал и других необходимых расходов для функционирования генерации электроэнергии, должны быть применены к классическому методу дисконтирования денежных потоков. Однако, в рамках данной модели и применимости каждого конкретного вида генерации необходимо также учитывать деградация производительности оборудования. Общая схема реализации оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии представлена на рисунке 9.



Источник: составлено автором по материалам разработанной методики.

Рисунок 9 - Схема определения положительных денежных потоков для оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии

Для проведения проверки предлагаемой методики расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием фотовольтаической технологии, произведен расчет по всем регионам Российской Федерации, входящим в ценовые зоны Единой Энергетической системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. Расчет произведен на примере проекта солнечной электростанции мощностью один мегаватт, установленной для электроснабжения промышленного предприятия. Общим объемом капитальных затрат 50 тыс. руб./кВт установленной мощности, что соответствует последним отчетам о стоимости установки солнечной генерации согласно отобранным проектам по программе ДПМ ВИЭ

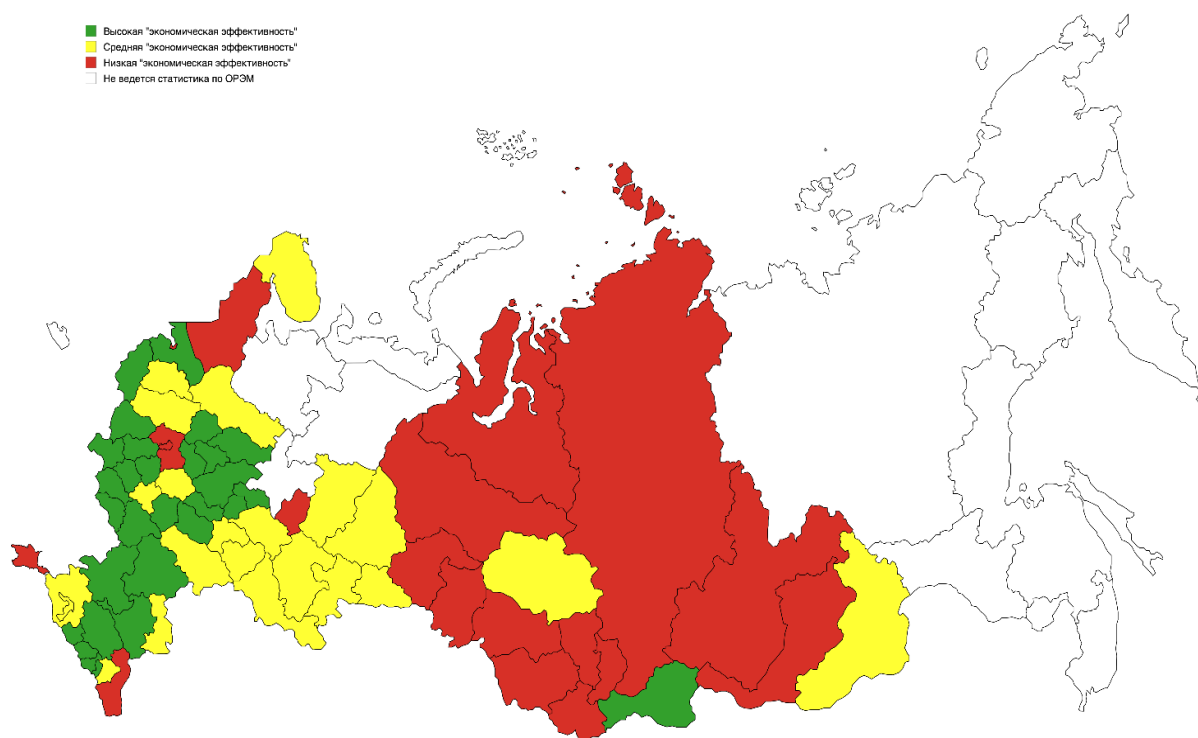
в 2023 году. В связи с тем, что рассматриваемый проект предполагается в рамках распределенной генерации, а значит находится в непосредственной близости к потребителю, то дополнительные затраты на обслуживания такого вида генерации равны 0. Ставка дисконтирования определена согласно действующей ключевой ставке ЦБ, а именно 16% [39]. Рост стоимости электроэнергии, замещаемой из сети, учтен согласно методике индексации тарифа на электроэнергию для населения и приравнённых к нему потребителей на уровне роста индекса промышленных цен по социально-экономическому прогнозу Министерства Экономического Развития и составил 4% [71]. График потребления у предполагаемого потребителя ровный на все время работы, согласно трудовому календарю Российской Федерации. Подробное описание расчетного проекта представлено в приложение Д. Проект рассматривается с точки зрения оптимизации затрат на электроэнергию, а не для полного электроснабжения предприятия.

Прогноз использования солнечной электростанции будет обусловлен исключительно возможностями генерации электроэнергии на станции и распределением мощности в каждый конкретный час потребления. Солнечная электростанция, согласно предполагаемым подписанным договорам, не будет иметь обязательства по поставке конкретного количества электроэнергии и мощности. Потребители электростанции будут получать «товар», исходя из логики оптимизационных действий и стохастичности выработки на станции. Это значит, что при реализации электроэнергии и мощности будет предполагаться полный выкуп всей произведенной электроэнергии по текущему тарифу.

Как говорилось ранее, в Российской Федерации не существует коммерческой солнечной энергетики, поэтому и достоверных источников для оценки стоимости проекта распределенной генерации недостаточно. Тем не менее, для примерного расчета можно использовать стоимость строительства электростанции согласно отобранным проектам ДПМ ВИЭ. Наиболее

релевантная информация о капитальных затратах на удельную установленную мощность опубликована в 2023 году на сайте АО «АТС» [1]. Конечно, данный показатель может быть не до конца релевантен для проектов коммерческой реализации, ведь использует исключительно локализованное оборудование, согласно исследованию О.В. Кудрявцевой, С.В. Васильева, Т.Г. Зорина и О.И. Маликовой [40]. Тем не менее, это единственный релевантный доступный источник стоимости реализации проектов возобновляемой генерации на территории Российской Федерации.

Согласно проведенным расчетам по предлагаемой методике, экономическая эффективность рассматриваемых регионов, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы (до 01.01.2025) представлена на рисунке 10. Количественные показатели результата оценки всех регионов, взводящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода, представлены в приложении Е.



Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Рисунок 10 – Наглядная карта регионов, наиболее подходящих для солнечной генерации, согласно предлагаемой методике

По результатам расчета можно увидеть, что предлагаемая методика в главе 2 подтверждается. Регионы с высоким потенциалом показывают значительную экономическую эффективность. Регионы с низким потенциалом являются экономически неэффективными. Регионы со средним потенциалом сильно зависят от показателей конкретного региона и проекта, так что в каких-то случаях являются экономически эффективными, а в каких-то нет.

Однако данная ситуация говорит лишь о взаимосвязи двух методологий, а не о том на сколько реально данные расчеты релевантны относительно классических методик по расчету экономической эффективности проектов генерации электроэнергии.

3.3 Практические рекомендации экономической оценки проекта распределенной генерации на основе солнечной энергии

Для подтверждения необходимости предлагаемой методики и уточнения формулы с учетом особенностей российской электроэнергетики, предлагается произвести сравнение результатов расчета классической и предлагаемой методики. Расчет проводится на территории всех регионов Российской Федерации, входящий в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. Расчет проекта солнечной генерации согласно приведенным выше подходам нормированной стоимости электроэнергии и сравнению дисконтированных денежных потоков от поставки электроэнергии разными способами. Один из способов – классическая и общая методика расчета, второй способ – предлагаемая методика расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации.

Для проведения расчетов и апробации предлагаемой методики использовался аналогичный проект, описанный ранее. Проект мощностью один мегаватт и общим объемом капитальных затрат 50 тыс. руб./кВт установленной мощности, что соответствует последним отчетам о стоимости установки солнечной генерации согласно отобранным проектам по программе ДПМ ВИЭ в 2023 году. В связи с тем, что рассматриваемый проект предполагается в рамках распределенной генерации, а значит находится в непосредственной близости к потребителю, то дополнительные затраты на обслуживания такого вида генерации равны 0. Ставка дисконтирования определена согласно действующей ключевой ставке ЦБ, а именно 16% [39]. Рост стоимости электроэнергии, замещаемой из сети, учтен согласно методике индексации тарифа на электроэнергию для населения и приравнённых к нему потребителей на уровне роста индекса промышленных цен по социально-экономическому прогнозу Министерства Экономического Развития и составил 4% [71]. График потребления у предполагаемого потребителя ровный на все время работы, согласно трудовому календарю Российской Федерации. Подробное описание расчетного проекта представлено в приложении Д.

Согласно нормированной стоимости электроэнергии для СЭС, стоимость электроэнергии, производимой данной станцией, варьируется от региона к региону вокруг 3-4 руб./кВт*ч, согласно приложению Ж. Однако недостаточно просто посчитать стоимость предполагаемой электроэнергии. Необходимо также провести сравнение с текущими тарифами. Произведено сравнение стоимости предполагаемой нормированной стоимости электроэнергии со стоимостью электроэнергии из сети, с применением предельных установленных цен на электроэнергию в рассматриваемом регионе на соответствующем уровне напряжения в разных регионах, как представлено в приложении И. Можно заметить, что проекты солнечной энергетики с представленными ранее техническими и стоимостными показателями, являются экономически обоснованными во всех регионах

почти на всех уровнях напряжения. Можно сделать вывод о том, что стоимость производимой электроэнергии значительно ниже приобретаемой электроэнергии из сети. По итогам проведенного расчета с помощью нормированной стоимости электроэнергии получены результаты, что проект распределенной генерации будет экономически эффективен в 215 случаях из 276 возможных (4 уровня напряжения в 69 регионах).

В подтверждение, произведен расчет возможной экономии электроэнергии за весь срок жизни проекта, равный 20 годам, методом дисконтированных денежных потоков (не только отрицательных денежных потоков, как предполагается в методике нормированной стоимости электроэнергии). Результаты расчета представлены в приложении К. По итогам произведенных расчетов, установлено что проект распределенной генерации будет иметь положительную экономическую эффективность в 231 случае из 276 возможных.

Результаты расчета предлагаемой в главе 3 методики оценки чистого дисконтированного денежного потока поставки электроэнергии от установленного объекта распределенной генерации приведены в приложении Е. Согласно произведенным расчетам по предлагаемой методике, суммарная экономия от установки объекта распределенной генерации с использованием солнечной электроэнергии не похожа на результаты, получаемые классическими подходами расчета средневзвешенной стоимости электроэнергии, а также дисконтированных денежных потоков проектов электроэнергетики.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что возможная экономия от использования солнечной генерации для экономии затрат на электроэнергию и установку объекта распределенной генерации, во многих случаях, значительно ниже, так как в расчет принимается особенность тарификации на электроэнергию на территории Российской Федерации.

Результаты сравнения проектов для регионов с наибольшим потенциалом применения солнечной генерации, согласно предлагаемой

методике в главе 2, представлены в таблице 6. Расчеты, произведенные с помощью международной и предлагаемой методик расчета возможной экономической эффективности в Пензенской области, Воронежской области, Белгородской области, Республике Калмыкия и Ростовской области, показали значительное различие. Сравнение представляет собой отношение экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии, рассчитанное по международной методике средневзвешенной стоимости электроэнергии и предлагаемой методики. Основная цель сравнения показать, что при учете особенностей ценообразования на замещаемую электроэнергию, проекты имеют отличные результаты по обоим методикам.

Таблица 6 - Результаты сравнения методик оценки экономической эффективности применения солнечной генерации в проектах распределенной генерации

Регион	ВН	СН1	СН2	НН
Пензенская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Воронежская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Белгородская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Республика Калмыкия	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Ростовская область	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена

Источник: составлено автором по материалам произведенных расчетов.

Как видно из полученных данных, разные методики расчета экономической эффективности показали разные результаты возможной экономии от установки объекта распределенной генерации. По результатам расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации на территории рассматриваемых регионов с помощью международной методики можно сделать выводы о целесообразности реализации проекта в общем виде. Таким образом, рекомендации пространственной организации

проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии будут в том, чтобы сфокусироваться на развитие собственной генерации у потребителей. Однако, согласно предлагаемой методике в данной диссертации, представленные результаты не подтвердились. А также, некоторые проекты имели большую экономическую эффективность чем было рассчитано с помощью международной методики. В таком случае, рекомендации по пространственной генерации распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии меняются.

Оценка экономической эффективности использования возобновляемых источников энергии в проектах распределенной генерации на примере нескольких регионов, не является показательными для того, чтобы с большой долей уверенности заявить о том, что предлагаемая формула релевантная и может быть использована в дальнейшем. В связи с этим, на основе предлагаемой формулы, проведена оценка экономической эффективности проектов установки солнечной электростанции во всех регионах Российской Федерации, включенных в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. Альтернативной методикой сравнения является классическая методика расчета экономической эффективности энергетических проектов в международной практике. Результаты расчета представлены в приложениях Е и К.

По результатам проведенных расчетов установлено, что разница в оценке экономической эффективности проектов по методике, предлагаемой в исследовании и используемой в международной практике, может достигать отклонения в 100% как в большую, так и в меньшую сторону, за счет более точного учета возможной получаемой или упускаемой выгоды в виде платы за мощность. Более того, по результатам сравнения можно сделать выводы, что во многих случаях, согласно международной методике, проект мог быть экономически эффективен. В тот же момент, согласно предлагаемой методике,

проект являлся убыточным. Полные данные по результатам сравнительного анализа двух подходов можно увидеть в приложении Л.

По результатам расчетов ясно видно, что основное различие заключается в доходной части каждого из подходов. Такая разница возникает, в основном, из-за декомпозиции получаемых выплат и учета ставки за мощность в соответствии с действующим законодательством, взамен использования унифицированного показателя стоимости электроэнергии, который не дает четкого понимания о получаемой экономии. Международная методология расчета дисконтированных денежных потоков, показала, что проект распределенной генерации с использованием энергии солнца, окажется экономически эффективен в 231 случае из 276 рассмотренных случаев, исходя из четырех уровней напряжения в 69 регионах ценовых зон ЕЭС, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. В то же время, согласно предложенной методологии, лишь 181 проект показал экономическую эффективность. Это говорит нам о том, что проекты распределенной генерации с использованием солнечной энергии будут некорректно оценены в 50 комбинациях уровней напряжения в определенных регионах и по итогу реализации, они покажут значительно меньшую эффективность, чем обозначено при инвестиционном планировании.

Приведенные результаты говорят о том, что использование классической методике расчета с унифицированными ставками и расчетами исключительно экономии от фактически понесенных затрат на электроэнергию, в настоящее время, может недооценить получаемую выгоду от применения распределенной генерации. Также, существует возможность слишком оптимистично определить возможную выработку, что значительно и критически окажет влияние на экономическую эффективность проекта. Рекомендуется использование методики, которая учитывает все особенности российского законодательства, такое как перекрестное субсидирование

и ценообразования на рынке электроэнергии и мощности. Рекомендуемая методика показывает результаты использования распределенной генерации на основе солнечной энергетики с учетом действующего законодательства Российской Федерации по тарификации в электроэнергетики. Результаты, полученные по предложенной методике, отличаются от результатов расчета по международной методике средневзвешенной стоимости электроэнергии и основной причиной является расчет возможной выгоды не исходя из общей стоимости потребляемой электроэнергии, а исходя из стоимости замещаемой электроэнергии в каждый конкретный час генерации.

На основании проведенного исследования можно выделить следующие основные рекомендации:

1) электроэнергетический комплекс Российской Федерации не следует классическим правилам пространственного размещения, так как на производителя не оказывают влияние транспортные расходы, а перекладываются на плечи потребителя в одинаковом размере, вне зависимости от того, продукцией какого производителя они пользовались. Все это приводит к тому, что для расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации следует отталкиваться от выгоды, получаемой потребителем, а не производителем;

2) распределенная генерация – новый вид организации работы электроэнергетики, требующий особых условий реализации, но и приносящий значительную экономическую эффективность за счет отношения к передаче электроэнергии и условиям работы электроэнергетического комплекса Российской Федерации. Четкое следование правилам и ограничениям распределенной генерации повышает экономическую эффективность проектов. Оценка экономической эффективности такого рода проектов должна начинаться с определения соответствия проекта критериям распределенной генерации;

3) одним из основных показателей влияющих на экономическую эффективность проектов распределенной генерации является объем

выработки электроэнергии в соответствии с выбранной технологией использования возобновляемых источников энергии. Важно учитывать, что замещаемая электроэнергия учитывается не в виде среднего показателя стоимости электроэнергии за весь рассматриваемый период, а имеет часовую волатильность в течение дня. Экономическая эффективность проектов с преимущественно ночной выработкой может иметь отличные показатели от технологии выработки электроэнергии в дневное время;

4) не менее важным показателем в оценке экономической эффективности проектов распределенной генерации является покрытие пиковых часов потребления в регионе реализации проекта. Плата за мощность, начисляемая в эти часы, может иметь значительное влияние на целесообразность реализации такого рода генерации и исключительно за счет высокого показателя покрытия пиковых часов может быть достигнута значительная экономическая эффективность;

5) сетевая составляющая тарифа на электроэнергию также должна оцениваться относительно каждой выработанной единицы электроэнергии и времени ее производства. Данный показатель сильно различается в зависимости от уровня напряжения потребителя и также четкого времени потребления при рассмотрении платы за сетевую мощность. Во многих проектах, в силу высокой стоимости использования инфраструктуры по передачи электроэнергии, экономическая эффективность проекта может достигаться исключительно за счет замещения дорогостоящей логистики.

Выводы по главе 3

Проведенная оценка экономической эффективности проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии показывает, что для оценки проектов недостаточно простого сравнения затрат на электроснабжение при наличии собственной генерации и ее отсутствии. Для более достоверной оценки экономической эффективности требуется учет значительного количества факторов, а самое главное системы ценообразования на замещаемую электроэнергию.

Первостепенно важно понимать, что конкретно относится к проектам распределенной генерации, так как от этого зависит формирование стоимости производимой продукции. В силу большого количества затрагиваемых элементов в рамках российского электроэнергетического комплекса, само определение того, что распределенная генерация – это объекты генерации электроэнергии, находящиеся в непосредственной близости к потребителю и не использующие для передачи электроэнергии централизованную энергосеть, без ограничений по установленной мощности и технологии генерации оказывает значительное влияние на экономическую эффективность. Проекты, не соответствующие описанным ограничениям, будут иметь значительное расхождение в получаемых результатах, а самое главное иметь совершенно другую систему ценообразования.

Оценка экономической эффективности конкретного проекта должна начинаться с четкого определения системы ценообразования для конкретного потребителя и объекта генерации. В рамках большого разнообразия составных частей тарифа на электроэнергию и отдельных критериев присуждения той или иной части тарифа субъектам электроэнергетического комплекса в оценке экономической эффективности может быть учтены не относящиеся к объекту генерации выплаты. Применяемые уровень напряжения и ценовая категория являются критически важными для объективной оценки экономической эффективности любого проекта распределенной генерации.

Не менее важной характеристикой для оценки экономической эффективности и принятия решения о реализации проекта имеет график потребления и график выработки электроэнергии. В связи с тем фактом, что электроэнергия является товаром моментального потребления и крайне редко предусматривается вопрос накопления электроэнергии, то это два показателя должны быть максимально синхронизированы между друг другом.

Выработка электроэнергии имеет основополагающую роль в оценке экономической эффективности проектов. Однако, она имеет не только прямое влияние в виде количества вырабатываемой электроэнергии, но также

и косвенное влияние за счет ее корреляции с пиковыми часами, временем использования сети и промежутками времени дня, когда энергосистема перегружена или наоборот более свободна.

Внимательное управление и учет описанными выше характеристиками позволит не только более точно определить экономическую эффективность, но и не совершить ошибки при принятии решения о реализации проекта. Полезность и эффективность использования распределенной генерации и возобновляемые источники электроэнергии могут быть неочевидны на первый взгляд. Тем не менее, приведенные в главе 2 результаты оценки потенциала региона говорят нам о том, что даже в северных регионах Российской Федерации солнечная генерация может быть экономически эффективной.

Существует значительное количество методик расчета экономической эффективности энергетических проектов по всему миру. Некоторые из них рассматривают энергетические проекты с затратной точки зрения и оценивают возможные понесенные затраты на потребление или генерацию электроэнергии. Некоторые из них опираются на доход или экономию от применения того или иного вида проектов. Международное сообщество имеет обширную практику применения такого рода методик. Активно использует полученные результаты в аналитических отчетах и при принятии решений в части реализации проектов. Однако нельзя забывать о том, что каждый рынок и каждая страна имеют свою, не только законодательную, но также и техническую, экономическую и географическую специфику. В Российской Федерации же, наоборот, за время существования российской энергетики, на данный момент, принято считать всего лишь затраты на реализацию того или иного проекта. Такой подход, в том числе, приводит к замедлению процесса перехода отрасли к более рыночным и прозрачным отношениям.

Предложенная методика оценки экономической эффективности адаптирует международную практику по рассмотрению энергетических объектов к условиям российской энергетики. Необходимость этого

представлена в получившихся результатах сравнения методик. Получившиеся данные показывают, что применение международных практик не подходит к уникальной российской отрасли электроэнергетики, которая имеет свою философию работы и цели.

Нельзя сказать, что предлагаемая методика является более пессимистичной или консервативной в процессе расчета экономической эффективности. Однако она учитывает все нюансы российского ценообразования на такой нетривиальный товар, как электроэнергия и всего, что является неотъемлемыми товарами-комплеменентами и услугами к нему. Такими товарами и услугами могут быть как услуги по передаче, содержанию сетей, мощность, диспетчерское управление, сбытовые надбавки, перекрестное субсидирование и другие составляющие. Более того, проверочные расчеты применимости проектов распределенной генерации с использованием энергии солнца во всех регионах Российской Федерации, включенных в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода, говорят о том, что такого рода проекты имеют положительную экономическую эффективность за срок полезного использования оборудования в большинстве регионов. Такие проекты могут быть применены почти всеми видами потребителей, вне зависимости от уровней напряжения их подключения, тарифов и географии расположения.

Защищаемый автором диссертации подход к оценке экономической эффективности и перспективности использования распределённой солнечной генерации пространственной организации электроэнергетического комплекса Российской Федерации находит практическое воплощение.

Прошла государственную регистрацию программа для ЭВМ, разработанная совместно с Бордовским А.Р. [121], позволяющая прогнозировать выработку электроэнергии конкретной

электроэнергетической установкой солнечной электростанции в конкретной географической точке. Данная интеллектуальная собственность является активом малого инновационного предприятия — ООО «СОЛЕРДЖИ СЭС ШЕРИНГ», основанного в 2023 году и получившего статус участника проекта создания и обеспечения функционирования инновационного центра «Сколково». Как участник Сколково, ООО «СОЛЕРДЖИ СЭС ШЕРИНГ» реализует собственную технологию продажи электроэнергии заинтересованным бизнес-потребителям (шеринг-система), выработанной с помощью солнечных электростанций, которые, оставаясь собственностью ООО «СОЛЕРДЖИ СЭС ШЕРИНГ», смонтированы под потребности конкретных заказчиков.

Такого рода проекты уже реализованы на предприятиях АО «РЖД», АО «Русал», АО «Кнауф» и других. Результаты реализации проектов показывают, что экономическая эффективность проектов распределенной генерации с использованием солнечной энергии имеют аналогичные результаты в соответствии с предлагаемой методикой оценки экономической эффективности. Все это говорит о том, что предлагаемая в исследовании пространственная организация имеет практическую применимость и должна использоваться для реализации не только для развития направления деятельности одной организации, но и всех потребителей.

Заключение

Реформы в энергетической отрасли являются планом и рекомендацией к действию для всех развитых стран, с целью достижения целей устойчивого развития и других политических программ международного сообщества. На сегодняшний день, эволюция энергетической отрасли и переход на распределенное производство и потребление, смена видов генерации электроэнергии и другие, не менее важные. Такая тенденция является экономически обоснованным решением, в связи с развитием соответствующих технологий и потребностей всего общества. Глобальный энергетический переход и необходимость изменений уже не является чем-то неподтвержденным или вызывающим споры и обсуждения.

Согласно международной энергетической политике, к 2050 году возобновляемые источники энергии станут мировыми лидерами в производстве электроэнергии. Зеленая энергетика становится все более доступной, поскольку стоимость оборудования для генерирующих объектов с использованием возобновляемых источников энергии снижается с каждым годом. Это обусловлено тем, что появляется все больше участников рынка, заинтересованных в развитии.

Невозможно игнорировать глобальный переход к «зеленой» энергетике и в Российской Федерации. Доля возобновляемых источников энергии в Единой Энергетической Системе Российской Федерации остается незначительной, на уровне 1,1% от общей установленной мощности. Российская Федерация имеет значительный потенциал по всем видам возобновляемых источников энергии. Все огромное природное, ресурсное и территориальное разнообразие страны позволяет нам стать одним из лидеров энергетического перехода. Однако устройство российской электроэнергетики пока не дает большого количества возможностей к развитию данного направления.

Развитие распределенной генерации, как и генерации на основе возобновляемых источников энергии, еще не получило большого внимания на территории Российской Федерации. Ограничено ее практическое применение. Не урегулированы законодательно особенности работы. На основании всех описанных особенностей, предложено определение термина «распределенная генерация», которое можно сформулировать следующим образом: «распределенная генерация – это объекты генерации электроэнергии, находящиеся в непосредственной близости к потребителю и не использующие для передачи электроэнергии централизованную энергосеть, без ограничений по установленной мощности и технологии генерации».

На основании рассмотренных особенностей работы российской электроэнергетики, предложена методика оценки потенциала пространственной организации регионов для применения проектов распределенной генерации на основании возобновляемых источников энергии. Данная методика показывает, что в вопросе реализации такого рода проектов и выбора мест их реализации существует значительное количество нюансов. Потенциал такого вида генерации на территории разных регионов Российской Федерации может быть реализован по-разному. В общем виде, предлагаемая методика оценки регионов представлена в формуле (17)

$$A = \frac{(P+C+E)}{n}, \quad (17)$$

где A - общая оценка потенциала региона для применения распределенной генерации на основе выбранного возобновляемого источника энергии по трехбалльной шкале;

P – оценка производительности согласно климатическим условиям (КИУМ);

С – оценка сопоставления графика пиковых часов с графиком выработки выбранного вида генерации (доля попадания выработки на пиковый час);

Е – оценка отношения дополнительных выплат классического ценообразования к себестоимости производимой энергии (отношение себестоимости к сетевой составляющей);

n – количество рассматриваемых элементов.

В соответствии с предложенной методикой, произведена оценка потенциала пространственной организации распределенной генерации солнечной энергетики во всех регионах Российской Федерации, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. На основании полученных результатов можно сделать выводы, что в 22 регионах солнечная энергетика имеет высокий потенциал к получению экономической выгоды. В 7 регионах, входящих в ценовые зоны Единой Энергетической Системы, солнечная генерация имеет потенциал, но зависит от графика потребления предприятия, сложности установки и других показателей. Однако, в 40 регионах потенциал применения незначительный и вряд ли будет достигнута экономическая эффективность проекта.

Существует значительное количество методик расчета экономической эффективности энергетических проектов по всему миру. В связи с особенностью ценообразования и тарификации российской электроэнергетики, особой проблемой для применения международной практики является сложность расчета получаемой выгоды при оценке проектов генерации с использованием возобновляемых источников энергии в Российской Федерации.

Предложена методика оценки экономической эффективности, адаптирующая международную практику по рассмотрению энергетических объектов к условиям российской электроэнергетики, согласно формуле (18)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{Q \times P + \sum T_{it} \times O_{it} - C_i}{(1+r)^t} - C_0, \quad (18)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

t – срок реализации проекта, лет;

Q – количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P – предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$T_{\text{мощность}}$ – стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

i_t – конкретный месяц года t, месяц;

O_{it} – средняя выработка электроэнергии в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, проценты;

C_0 – первоначальные инвестиции на строительство генерирующего объекта, руб.

Данная формула применима исключительно к потребителям, получающим электроэнергию от распределенных источников генерации, при потреблении электроэнергии из сети по третьей и пятой ценовым категориям.

А формула расчета экономической эффективности проекта для четвертой и шестой ценовых категорий представлена в формуле (19)

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{Q \times P + \sum T_{\text{мощность}} \times O_{it} + \sum M_{it} \times T_{\text{сетевой мощности}} - C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (19)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость проекта, руб.;

t – срок реализации проекта, лет;

Q – количество произведенной электроэнергии, кВт*ч;

P - предельная часть стоимости электроэнергии на заданном уровне напряжения и заданном регионе, руб./кВт*ч;

$T_{\text{мощность}}$ – стоимость мощности в конкретном регионе согласно публикуемой информации территориальным гарантирующим поставщиком, руб./кВт;

O_{it} – средняя выработка электроэнергии в пиковый час в конкретный месяц, кВт;

i_t – конкретный месяц года t, месяц;

M_{it} - среднее арифметическое из максимальных значений выработки в каждые рабочие сутки расчетного периода почасовых объемов потребления электрической энергии в часы пиковой нагрузки, кВт;

$T_{\text{сетевой мощности}}$ - одна из частей двухставочного тарифа на услуги по передаче электрической энергии на территории региона расположения объекта распределенной генерации, установленная в соответствии с приказом ФАС по регулированию тарифов в регионе, руб./кВт;

C_t – расходы за определенный период, руб.;

r – ставка дисконтирования согласно средневзвешенной стоимости капитала, проценты;

C_0 – первоначальные инвестиции на строительство генерирующего объекта, руб.

Необходимость такой адаптации представлена в получившихся результатах сравнения методик, где явно видно, что применение международных практик не подходит к уникальной российской отрасли

электроэнергетики. Результаты сравнения расчетов экономической эффективности проектов на территории всех регионов Единой Энергетической Системы, входящих в ценовые зоны, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода, по стандартной методике дисконтированных денежных потоков и предложенной методике показали значительное расхождение в итоговой выгоде. По проведенным подсчетам, международная методика является более оптимистичной по отношению к возможному получаемому эффекту от такого рода проектов. Международная методика расчета дисконтированных денежных потоков, показала, что проект распределенной генерации с использование энергии солнца, окажется экономически эффективен в 231 случае из 276 рассмотренных случаев, исходя из четырех уровней напряжения в 69 регионах ценовых зон ЕЭС, за исключением шести регионов, добавленных в ценовые зоны в январе 2025 года и по которым в настоящий момент не публикуется официальная отчетность на время переходного периода. В то же время, согласно предложенной методике, лишь 181 проект показал экономическую эффективность. Это говорит нам о том, что проекты распределенной генерации с использованием солнечной энергии будут некорректно оценены в 50 комбинациях уровней напряжения в определенных регионах и по итогу реализации, они покажут иную эффективность, чем обозначено при инвестиционном планирование.

Предлагаемая методика по отношению к процессу расчета экономической эффективности является более пессимистичной или консервативной, но она учитывает все нюансы российского ценообразования.

Список сокращений и условных обозначений

В настоящей диссертации применяют следующие сокращения и обозначения:

АСММ - Атомная станция малой мощности;

АЭС - Атомная электростанция;

ВИЭ - Возобновляемый источник энергии;

ВН - Высокое напряжение;

ВЭС - Ветроэлектростанция;

ГеоТЭС - Геотермальная теплоэлектростанция;

ГПУ - Газопоршневая установка;

ГРЭС - Государственная районная электростанция;

ГТУ - Газотурбинная установка;

ГЭС - Гидроэлектростанция;

ДПМ ВИЭ - Договор поставки мощности возобновляемого источника энергии;

ЕЭС - Единая энергетическая система;

КИУМ - Коэффициент использования установленной мощности;

КОМ - Конкурсный отбор мощности;

МГЭС - Малая гидроэлектростанция;

НН - Низкое напряжение;

ОРЭМ - Оптовый рынок электроэнергии и мощности;

ОЭС - Объединенная энергетическая система;

ПТУ - Паротурбинная установка;

РГ - Распределенная генерация;

РСВ - Рынок на сутки вперед;

СН - Среднее напряжение;

СО ЕЭС - Системный оператор единой энергетической системы;

СЭС - Солнечная электростанция;

ТЭС - Теплоэлектростанция;

ТЭЦ - Теплоэлектроцентраль;

ЭСПП - Электроснабжающее промышленное предприятие.

Список литературы

1. Администратор торговой системы : официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.atsenergo.ru> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст : электронный.
2. Азизов, А.А. Основные проблемы развития энергетического сектора Российской Федерации и их влияние на экономический рост / А.А. Азизов, Е.М. Душевина // Вопросы российской юстиции. – 2021. - № 11. – С. 9-16. – ISSN 2687-007X.
3. Акаев, А.А. Климат и энергетика. Сценарии энергетического перехода и изменения глобальной температуры на основе современных технологий и тенденций / А.А. Акаев, О.И. Давыдова // История и современность. – 2022. - № 4 (46). – ISSN 1811-7481. – Текст : электронный. – DOI 10.30881/tis/2022.03.03. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimat-i-energetika-stsenarii-energeticheskogo-perehoda-i-izmeneniya-globalnoy-temperature-na-osnove-sovremennyh-tehnologiy-i> (дата обращения: 18.10.2023).
4. Атаев, З.А. Пространственный каркас локальных систем электроэнергетики (на примере Московской области) / З.А. Атаев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2007. - № 2. – С. 84-95. – ISSN 2587-5566.
5. Александрова, А.А. Преимущества использования возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными источниками энергии / А.А. Александрова // Научные основы современного прогресса : сборник статей международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 6-7. – ISBN 978-5-906876-69-0.
6. Андреев, В.Н. Продуктивно-сервисная система и возможности ее применения в сфере альтернативной энергетики / В.Н. Андреев, Н.Дж. Джумадурдыев // Управление. – 2023. - № 2. – ISSN 2713-1645. – Текст : электронный. – DOI 10.26425/2309-3633-2023-11-2-146-155. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/produktovo-servisnaya-sistema-i-vozmozhnosti-ee-primeneniya-v-sfere-alternativnoy-energetiki> (дата обращения: 18.10.2023).

7. Бариева, Э.Р. Возобновляемые источники энергии как составляющая энергосбережения и энергоэффективности / Э.Р. Бариева, Е.В. Серазеева, В.И. Королев // НИЦ Социосфера : сборник статей. – 2016. - № 10. – С. 94-96. – ISBN 978-80-7526-082-6.

8. Баринаова, В.А. Сопоставление нормированной стоимости электроэнергии в Российской Федерации: ВИЭ против дизельных электростанций / В.А. Баринаова, Т.А. Ланьшина // Новая наука: проблемы и перспективы. – 2016. - № 67. – С. 52. - ISSN 2412-9704.

9. Баринаова, В.А. Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике / В.А. Баринаова, А.А. Девятов, Д.Ю. Ломов // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. – 2021. - № 4. – ISSN 2542-2081. – Текст : электронный. – DOI 10.17323/1996-7845-2021-04-06. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tsifrovizatsii-v-globalnom-energeticheskom-perehode-i-v-rossiyskoy-energetike> (дата обращения: 18.10.2023).

10. Башмаков, И.А. Углеродное регулирование в ЕС и российский сырьевой экспорт / И.А. Башмаков // Вопросы экономики. – 2022. – Том 1. – С. 90-109. – ISSN 0042-8736.

11. Безруких, П.П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии Российской Федерации и местным видам топлива (показатели по территориям) / П.П. Безруких [и др.] ; под редакцией П.П. Безруких. – Москва : «ИАЦ Энергия», 2007. – 272 с. – ISBN 978-5-98420-016-5.

12. Бекулова, С.Р. Возобновляемые источники энергии в условиях новой промышленной революции: мировой и отечественный опыт / С.Р. Бекулова // Мир новой экономики. – 2019. - № 4. Том 13. – С. 14-21. – ISSN 2220-6469.

13. Бекулова, С.Р. Возобновляемые источники энергии в условиях новой промышленной революции: мировой и отечественный опыт / С.Р. Бекулова // Мир новой экономики. – 2019. - № 4. – ISSN 2220-7872. – Текст : электронный. – DOI 10.26794/2220-6469-2019-13-4-14-21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozobnovlyaemye-istochniki-energii-v-usloviyah-novoy-promyshlennoy-revolutsii-mirovoy-i-otechestvennyy-opyt> (дата обращения: 17.10.2023).

14. Белицкий, А.А. Курс на возобновляемые источники энергии / А.А. Белицкий // Вестник науки и образования. – 2019. - № 1-2 (55). – С. 26-28. – ISSN 3212-8089.

15. Бердин, В.Х. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики / В.Х. Бердин, А.О. Кокорин, Г.М. Юлкин, М.А. Юлкин. – Москва : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 81 с. – ISBN 978-5-906599-35-3.

16. Блауг, М.Р. 100 великих экономистов до Кейнса / М.Р. Блауг, Г.Ф. Вильгельм. – Санкт-Петербург : Экономикс, 2008 – 352 с. – ISBN 978-5-903816-01-9.

17. Богатырева, В.В. Альтернативные топливно-энергетические ресурсы: экономико-управленческие аспекты использования в условиях инновационного развития общества / В.В. Богатырева, В.И. Гавриш, В.С. Ниценко, К.В. Павлов. – Новополюцк : ПГУ, 2017. — 323 с. – ISBN 978-985-531-554-5.

18. Борисов, М.Г. Энергетический переход и геополитика / М.Г. Борисов // Восточная аналитика – 2020. - № 1. – ISBN 978-5-89282-497-2. – Текст : электронный. – DOI 10.31696/2227-5568-2020-01-007-016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-perehod-i-geopolitika> (дата обращения: 18.10.2023).

19. Боровский, Ю.В. Проблема энергетической безопасности в контексте мирового «энергетического перехода» / Ю.В. Боровский // Вестник РУДН. Серия : международные отношения. – 2021. - № 4. – ISSN 2313-0679.

– Текст : электронный. – DOI 10.22363/2313-0660-2021-21-4-772-784. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-energeticheskoy-bezopasnosti-v-kontekste-mirovogo-energeticheskogo-perehoda> (дата обращения: 18.10.2023).

20. Бучнев, А.О. Экологические особенности использования возобновляемой энергии в свете достижения целей устойчивого развития / А.О. Бучнев // Государственная служба. – 2021. - № 4 (132). – ISSN 2500-4344. – Текст : электронный. – DOI 10.22394/2070-8378-2021-23-4-51-58. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-osobennosti-ispolzovaniya-vozobnovlyаемой-energii-v-svete-dostizheniya-tseley-ustoychivogo-razvitiya> (дата обращения: 17.10.2023).

21. Василенко, Н.В. Энергетика Российской Федерации: состояние и перспективы развития при переходе к низкоуглеродной экономике / Н.В. Василенко // ЭВР. – 2022. - № 2 (72). – ISSN 1990-9780. – Текст : электронный. – DOI 10.37930/1990-9780-2022-2-72-144-160 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energetika-rossii-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-pri-perehode-k-nizkouglerodnoy-ekonomike> (дата обращения: 17.10.2023).

22. Воропай, Н.И. Централизованная и распределенная генерация-не альтернатива, а интеграция / Н.И. Воропай, В.И. Стенников // Инновационная электроэнергетика-21. – Москва : ООО «Издательско-аналитический центр Энергия», 2017. – С. 272-290. – ISBN 978-5-98908-457-9.

23. Воротынцев, Н.Э. Возобновляемые источники энергии – будущее мировой энергетики / Н.Э. Воротынцев // Современные тенденции развития науки в молодежной среде : сборник статей участников. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2016. – С. 1055-1060. – ISSN отсутствует.

24. Гранберг, А.Г. Основы региональной экономики / А.Г. Гранберг. – Москва : ГУ ВШЭ, 2000. – 495 с. – ISBN 978-5-89665-306-6.

25. Гребнев, М.А. Возобновляемые источники энергии как источник тепловой энергии для объектов жилищно-коммунального хозяйства /

М.А. Гребнев // Современные вызовы и перспективы молодежной науки : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск : международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2020. – С. 142-145. – ISBN 978-5-907327-64-1

26. Гухман, Г.А. Развитие использования возобновляемых источников энергии / Г.А. Гухман // Энергия: экономика, техника, экология. – 2020. - № 4. – С. 32-37. – ISSN 0233-3619.

27. Дегтярев, К.С. Потенциал, территориальная организация и развитие энергетики на возобновляемых источниках в республике Калмыкия : специальность 25.00.24 «Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Дегтярев Кирилл Станиславович ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Москва, - 2019. – 344 с. – Библиогр.: с. 163-191.

28. Дзюба, А.П. Управление спросом на электропотребление в России / А.П. Дзюба, И.А. Соловьева // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 1 (106). – С. 72-79. – ISSN 2618-947X.

29. Дьячков, А.Г. К вопросу организации коммуникационных инфраструктурных пространственных систем региона / А.Г. Дьячков, Н.М. Сурнина, Е.А. Шишкина // Российское предпринимательство. – 2016. - № 24. Том 17. – С. 3515–3530. – ISSN 1994-6937.

30. Дьячков, А.Г. Энергетическая инфраструктура как фактор пространственного развития территории (на примере электроэнергетики) / А.Г. Дьячков, Н.М. Сурнина, Е.А. Шишкина // Львовские чтения. – 2017. – С. 75-79. – ISBN 978-5-215-02945-9.

31. Елистратов, В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. – Санкт-Петербург: издательство Политехнического университета, 2013. – 421 с. – ISBN 978-5-02-038220-6.

32. Зимнухова, Д.И. Оценка состояния логистических систем электроэнергетического комплекса Российской Федерации / Д.И. Зимнухова //

Логистические системы в глобальной экономике. – 2019. – № 9. – С. 105-106. – ISSN 2311-7265.

33. Зубакин, В.А. Анализ тенденций преобразований и развития российской электроэнергетики / В.А. Зубакин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2019. – № 6. Том 12. – С. 104-115. – ISSN 2304-9774.

34. Каталог векторных карт : сайт – URL: <https://www.sharada.ru/> (дата обращения: 24.02.2025). – Текст : электронный.

35. Качалов, Р.М. Оценка влияния «углеродного» риска на российскую финансовую систему / Р.М. Качалов, О.В. Кудрявцева, С.В. Чернявский, Л.Т. Альчикова // Вестник Томского государственного университета. – 2022. - № 59. – ISSN 1998-8648. – Текст : электронный. – DOI 10.17223/19988648/59/17 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-uglerodnogo-riska-na-rossiyskuyu-finansovuyu-sistemu> (дата обращения: 30.04.2024).

36. Кенден, К.К.В. Обзор методов оптимизации и программ моделирования автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии / К.К.В. Кенден, А.В. Кузнецов // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения : материалы III Всероссийской научно-технической конференции. – 2018. – С. 218-220. – ISSN 1814-3520.

37. Кёнинг, Т. Глобальный энергетический переход: проблемы и возможности – перспектива из Северной Америки / Т. Кёнинг // Георесурсы. – 2021. - № 3. – ISSN 1608-5078. – Текст : электронный. - DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.8> – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnyy-energeticheskiy-perehod-problemy-i-vozmozhnosti-perspektiva-iz-severnoy-ameriki> (дата обращения: 18.10.2023).

38. Климовец, О.В. Оценка экономической эффективности электроснабжения промышленного предприятия с использованием

распределенной генерации / О.В. Климовец // Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова. – 2016. – №. 2 (86). – С. 140-144. – ISSN 2413-2829.

39. Ключевая ставка ЦБ : официальный сайт – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: https://www.cbr.ru/hd_base/keyrate/ (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

40. Кудрявцева, О.В. Перспективы российского энергетического машиностроения / О.В. Кудрявцева, О.И. Маликова // Актуальные проблемы экономической теории и региональной экономики. – 2013. – №. 3. – С. 44-58. – ISSN 2224-9753.

41. Кудрявцева, О.В. Эффективность реализации программы поддержки возобновляемой энергетики (на примере солнечной энергетики) / О.В. Кудрявцева, С.В. Васильев, Т.Г. Зорина // Russian Journal of Economics and Law. – 2023. - № 17 (4). – С. 745-774. – ISSN 2782-2923.

42. Коданева, С.И. Энергетический переход: мировые тренды и их последствия / С.И. Коданева // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – ISSN 2587-9324. – Текст : электронный. – DOI 10.23932/2542-0240-2022-15-1-8. - 2022. - № 1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-perehod-mirovye-trendy-i-ih-posledstviya-dlya-ross> (дата обращения: 18.10.2023).

43. Кожевин, В.Д. Факторы потребления возобновляемых источников энергии на международном уровне: разработка модели оценки / В.Д. Кожевин, Л.В. Эдер // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. - № 5. Том 2. – С. 206-212. – ISSN 2618 – 981X.

44. Лисаускайте, В.В. Цели устойчивого развития оон и международная защита от бедствий: взаимосвязь и реализация/ В.В. Лисаускайте // Международное право. – ISSN 2644-5514 – Текст : электронный. – DOI 10.23932/2542-0240-2022-15-1-8. – 2020. - № 3. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/tseli-ustoychivogo-razvitiya-oon-i-](https://cyberleninka.ru/article/n/tseli-ustoychivogo-razvitiya-oon-i)

mezhdunarodnaya-zaschita-ot-bedstviy-vzaimosvyaz-i-realizatsiya (дата обращения: 15.10.2023).

45. Макконнелл, К.Р. Экономикс : принципы, проблемы и политика : [рус.] Economics: Principles, Problems, and Policies. — Москва : Республика, 1992. Том 2. — 398 с. — ISBN 5-250-01486-0.

46. Маликова, О.И. Технологические детерминанты трансформации возобновляемой энергетики и государственной поддержки развития энергетической отрасли / О.И. Маликова, П.А. Кирюшин, А.В. Николаева // Управленческие науки. — 2021. - № 1. — С. 35-50. — ISSN 2304-022X.

47. Мальсагов, М.И. Замена традиционного электроснабжения на возобновляемые источники энергии в республике Ингушетия / М.И. Мальсагов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : электронный сборник статей по материалам LVI студенческой международной научно-практической конференции. — Том 8. — Новосибирск : Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2017. — С. 41-46. — ISBN отсутствует.

48. Маркова, В.М. Децентрализация энергетики: интеграция и инновации / В.М. Маркова, В.Н. Чурашев // ЭКО. — 2020. - № 4 (550). — ISSN 2686-7605 — Текст : электронный. — DOI 10.30680/EC00131-7652-2020-4-8-27 — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detsentralizatsiya-energetiki-integratsiya-i-innovatsii> (дата обращения: 18.10.2023).

49. Мастепанов, А.М. Энергетический переход как новый вызов мировой нефтегазовой отрасли / А.М. Мастепанов // Энергетическая политика. — 2019. - № 2. — ISSN 2782-389X. — Текст : электронный. — DOI отсутствует. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-perehod-kak-novyy-vyzov-mirovoy-neftegazovoy-otrasli> (дата обращения: 18.10.2023).

50. Матвеев, Д.В. Краткая характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии / Д.В. Матвеев // Первый шаг в науку. — 2016. - № 1-2 (13-14). — С. 44-47. — ISSN отсутствует.

51. Минакир, П.А. Пространственная экономика: эволюция подходов и методология / П.А. Минакир, А.Н. Демьяненко // Экономическая наука современной Российской Федерации. – 2010. – № 3 (50). – С. 7-26. – ISSN 1609-1442.

52. Морозов, А.Ю. Оценка энергетического потенциала возобновляемых источников энергии в Оренбургской области/ А.Ю. Морозов, Д.Д. Мосояченко, А.Л. Помятун, А.А. Хирнов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : сборник статей по материалам LXXXIII студенческой международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 193-197. – ISSN 2310-4066.

53. Мосэнерго сегодня : официальный сайт – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://mosenergo.gazprom.ru/about/present/> (дата обращения 30.04.2024). – Текст : электронный.

54. 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 (106). – С. 80-87. – ISSN 2618-947X.

55. Национальный Экологический Рейтинг : сайт. - URL: <https://xn—80ajagmkdntlvn2hva.xn—p1ai/stranica-dlya-obshchego-reytinga> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст : электронный.

56. Нельсон, Р.Р., Эволюционная теория экономических изменений / Р.Р. Нельсон, С.Д. Уинтер – Москва : Дело, 2002. – 536 с. – ISBN 5-7749-0215-3

57. Низамутдинова, Н.С. Краткий обзор методик оценки эффективности технологий ВИЭ в электроэнергетике / Н.С. Низамутдинова, О.С. Пташкина-Гирина // Приоритетные направления развития энергетики в АПК. – 2018. – С. 109-113. – ISSN отсутствует.

58. Никоноров, С.М. Микрогенерация в Российской Федерации: анализ экономической и правовой структур / С.М. Никоноров, И.С. Мокрышев // Экономика устойчивого развития. – 2021. – № 3. – С. 109. – ISSN 2079-9136.

59. Никоноров, С.М. Экономическая эффективность внедрения возобновляемых источников энергии в арктической зоне Российской Федерации / С.М. Никоноров, Д.А. Сергеев, И.С. Мокрышев // Вестник Института мировых цивилизаций. – 2021. – № 3 (32). Том 12. – С. 81-89. – ISSN 2587-6236.

60. Информация о прогнозных значениях ПУНЦ для первой ценовой категории на месяц : официальный сайт. – Москва. – Обновляется один раз в месяц. – URL: <https://www.np-sr.ru/ru/activity/prognozy-cen/punc/month> (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

61. Обоскалов, В.П. Оценка эффективности применения устройств распределенной генерации с учетом динамики цен на энергоносители / В.П. Обоскалов, Д.И. Померанец // Промышленная энергетика. – 2013. – № 9. – С. 2-7. – ISSN 0033-1155.

62. Обухова, Р.В. Использование возобновляемых источников энергии в Сибири / Р.В. Обухова // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов в 9 частях ; под редакцией О.В. Боруш. – 2015. – С. 227-229. – ISBN 978-5-7782-2770-5.

63. Общее производство энергии : сайт. – URL: <https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html> (дата обращения 30.04.2024). – Текст : электронный.

64. Организации объединенных наций по промышленному развитию : официальный сайт. – URL: <https://unido.ru/> (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

65. Отчет о функционировании ЕЭС Российской Федерации в 2022 году : сайт. – URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups_rep2021.pdf (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

66. Паниковская, Т.Ю. Комплексная оценка экономической эффективности размещения источников малой генерации / Т.Ю. Паниковская // Промышленная энергетика. – 2013. - № 8. – С. 2–6. – ISSN 0033-1155.

67. Паниковская, Т.Ю. Оценка эффективности работы установок распределенной генерации / Т.Ю. Паниковская, Д.А. Чечушков // Электроэнергетика глазами молодежи : научные труды международной научно-технической конференции : сборник статей. – 2011. – № 3. – С. 407-412.

68. Плоткина, У.И. Методы управления развитием малой распределенной энергетики : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Плоткина Ульяна Ивановна ; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2018. – 188 с. – Библиогр.: с. 167-185.

69. Попадюк, Н.К. The green transition and development problems of fuel and energy sector in Russia / Н.К. Попадюк, Т.В. Батарчук, Л.К. Бабаян, А.М. Лаффах // Eurasian Mining. – 2024. – № 2. – С. 46-49 – ISSN 2072-0823.

70. Потороко, И.Ю. Отходы пищевых производств как возобновляемые источники энергии: перспективность и технологические решения / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко, Н.В. Попова, С. Венката Мохан // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. - № 2. Том 9. – С. 16-25. – ISSN 2618-9682.

71. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов : сайт. – URL: https://economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2024_god_i_na_planovyy_period_2025_i_2026_godov.html (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

72. Рождественская, И.А. Пути реализации принципов устойчивого развития инфраструктуры / И.А. Рождественская // Финансовая жизнь. – 2021. – № 4. – С. 8-10. – ISSN 2218-4708.

73. Регламентом проведения отборов инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе

использования возобновляемых источников энергии : сайт. – URL: https://www.npsr.ru/sites/default/files/sr_regulation/reglaments/r27_01082021_22072021.pdf (дата обращения 30.04.2024). – Текст : электронный.

74. Роголёв, Н.Д. Как повысить привлекательность электростанций на основе возобновляемых источников энергии? / Н.Д. Роголёв, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова // Энергетик. – 2015. - № 1. – С. 31-33. – ISSN 0013-7278.

75. Севостьянов, П.И. «Энергетический переход» в современной международной повестке / П.И. Севостьянов, Н.Д. Роголев, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова // Обозреватель – Observer. – 2022. - № 2 (385). – ISSN 2074-2975. – Текст : электронный. – DOI 10.48137/2074-2975_2022_02_19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-perehod-v-sovremennoy-mezhdunarodnoy-povestke> (дата обращения: 18.10.2023).

76. Селляхова, О. Перекрестное субсидирование и социальная норма электропотребления / О. Селляхова // Эффективное Антикризисное Управление. – 2012. - № 6. – С. 32–48. – ISSN 2078-888-6.

77. Сопкина, М.В. Влияние антидемпинговых мер на сектор возобновляемых источников энергии / М.В. Сопкина // Актуальные проблемы международных отношений, международного права и безопасности : сборник статей. Москва, 2021. Том 2. – С. 696-699. – ISBN 978-5-7856-0810-8.

78. Стоцкий, А.И. Технологическое обоснование внедрения возобновляемых источников энергии в Арктике / А.И. Стоцкий, С.М. Никоноров, А.М. Воротников, Д.А. Сергеев // Арктика 2035 : актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2021. - № 4 (8). – С. 51-64. – ISSN 2949-6195.

79. Татаркин, А.И. Комплексный анализ влияния экономических и энергетических факторов на безопасность России и ее регионов / А.И. Татаркин, А.Л. Мызин, А.В. Калина, А.А. Ку克林 // Вестник Российского гуманитарного научного фонда. – 2003. – № 3 (32). – С. 60-68. – ISSN 1562-0484.

80. Трачук, А.В. Оценка состояния конкурентной среды на оптовом рынке электроэнергии / А.В. Трачук // Экономические науки. – 2010. - № 66. – С. 124-130. – ISSN 2072-0858.

81. Трачук, А.В. Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения / А.В. Трачук, Н.В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. - № 1 (106). – С. 32-48. – ISSN 2618-947X.

82. Тюнен, И.Г. Изолированное государство / И.Г. Тюнен ; под редакцией А.А. Рыбникова. – Москва : Издательство «Экономическая жизнь», 1926. – 326 с. – ISBN отсутствует.

83. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии / С.Н. Удалов. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. – С. 614. – ISBN 978-5-7782-2358-5.

84. Фаттахов, Р.В. Особые экономические зоны как инструмент развития национальной экономики / Р.В. Фаттахов, О.В. Пивоварова, Д.Е. Морковкин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия : экономика и право. – 2020. – № 11. – С. 74-79. – ISSN 2223-2974.

85. Хамидов, С.К. Инвестиции как фактор инновационного развития возобновляемых источников энергии / С.К. Хамидов, З.Ш. Юлдашев // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК : сборник по материалам международной научно-практической конференции молодых учёных. – 2018. – С. 210-212. – ISBN 978-5-85983-305-4.

86. Харланов, А.С. Нефтегазовый сектор в индустрии 4.0. : переход на возобновляемые источники энергии и итоги цифровизации / А.С. Харланов // Современные технологии управления. – 2021. - № 2 (95). – ISSN 2226-9339 – Текст : электронный. – DOI 10.24412/2226-9339-2021-295. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neftegazovoy-sektor-v-industrii-4-0-perehod-na-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-i-itogi-tsifrovizatsii> (дата обращения: 30.04.2024).

87. Хлопов, О.А. Проблемы энергетического перехода в меняющемся ландшафте глобальной энергетической безопасности / О.А. Хлопов // Власть. – 2021. - № 5. – ISSN 2071-5366. – Текст : электронный. – DOI отсутствует. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-energeticheskogo-perehoda-v-menyayuschemsya-landshafte-globalnoy-energeticheskoy-bezopasnosti> (дата обращения: 18.10.2023).

88. Хохлов, А.А. Распределенная энергетика в Российской Федерации: потенциал развития / А.А. Хохлов, Ю.В. Мельников, Ф.В. Веселов. – Москва : Энергетический центр МШУ Сколково, 2018. – 89 с. – ISBN отсутствует.

89. Черняховская, Ю.В. Эволюция методологических подходов к оценке стоимости электроэнергии. Анализ зарубежного опыта / Ю.В. Черняховская // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2016. – №. 4. – С. 56-68. – ISSN 2072-2672.

90. Чубайс, А.В. Развитие возобновляемой энергетики в России: технологии и экономика / А.Б. Чубайс, А.Е. Копылов, В.А. Зубакин // Издательская группа Точка. – 2020. – 464 с. – ISSN 978-6043749-3-1.

91. Щуплова, И.С. Глобальное изменение климата как вызов энергетической политике и обеспечению энергетической безопасности / И.С. Щуплова, Д.В. Рыбин // European science. – 2018. - № 6 (38). – ISSN 2410-2865. Текст : электронный. – DOI отсутствует. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnoe-izmenenie-klimata-kak-vyzov-energeticheskoy-politike-i-obespecheniyu-energeticheskoy-bezopasnosti> (дата обращения: 18.10.2023).

92. Эскиндаров, М.А. Экономика и финансы топливно-энергетического комплекса / М.А. Эскиндаров [и др.] ; под редакцией М.А. Эскиндарова. – Москва : КноРус, 2019. – 447 с. – ISBN 978-5-406-07064-2.

93. Ackermann, T. Distributed generation: a definition / T. Ackermann, G. Andersson, L. Söder // Electric power systems research – 2001. - № 57. – С. 195-204. – ISSN отсутствует.

94. Average annual temperature by year : сайт. – URL: <https://www.weather.gov/media/slc/ClimateBook/Annual%20Average%20Temperature%20By%20Year.pdf> (дата обращения: 17.10.2023). – Текст : электронный.

95. Bauen, A. Decentralised generation / A. Bauen, A. Hawkes // Technologies and market perspectives. IEA, Paris – 2004. – 18 с. – ISBN отсутствует.

96. Bayod Rújula, A. A. A Definitions for Distributed Generation : a revision / A.A. Bayod Rújula // RE&PQJ. – 2005. – № 3. – С. 340-343. – ISSN 2172-038X.

97. Brakman, S. Trade and Geography: Paul Krugman and the 2008 Nobel Prize for Economics / S. Brakman, H. Garretsen // Spatial Economic Analysis. – 2009. - № 4. – С. 5-23. – ISSN отсутствует.

98. Clinch, J.P. Applying spatial economics to national spatial planning / J.P. Clinch, E. O'Neill // Regional Studies. – 2009. - № 43. – С. 157-178. – ISSN отсутствует.

99. Electricity Mix : сайт. – URL: <https://ourworldindata.org/electricity-mix> (дата обращения: 18.10.2023). – Текст : электронный.

100. Fazendeiro, L. M. Historical variation of IEA energy and CO2 emission projections: implications for future energy modeling / L.M. Fazendeiro, G. S. Sofia // Sustainability. – 2021. - № 13 – С.1-27. – ISSN отсутствует.

101. Fujita, M. The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade / M. Fujita, P. Krugman, A.J. Venables. - Cambridge : MIT Press, - 1999. – 367 с. – ISBN отсутствует.

102. Guan, F.H. Research on distributed generation technologies and its impacts on power system / 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply. – 2008. – URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5348241> (дата обращения 15.12.2023) – ISSN отсутствует.

103. Hoogwijk, M.M. On the global and regional potential of renewable energy: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Hoogwijk Monique Maria ; Copernicus Institute for sustainable development and innovation, Utrecht University. – Utrecht, 2004. – 257 с. – Библиогр.: с. 242-253.

104. International Energy Agency Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets. - Paris : OECD Publishing, - 2002. – 124 с. – ISBN отсутствует.

105. Østergaard, P.A. Sustainable development using renewable energy technology / P.A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi [et al] // Renewable energy, - 2020. - № 146, - С.2430-2437. – ISSN отсутствует.

106. Renewable Power Generation Costs in 2022 : сайт. - URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022> (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

107. Statistical Review of World Energy : сайт. - URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 30.04.2024). – Текст : электронный.

108. U.S. Department of Energy. Renewable Energy Pillar : официальный сайт. – URL: <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy-pillar> (дата обращения: 18.10.2023). – Текст : электронный.

109. Where do global greenhouse gas emissions come from : сайт. - URL: <https://www.iceotope.com/insights/where-do-global-greenhouse-gas-emissions-come-from/> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст : электронный.

Нормативные правовые акты

110. Российская Федерация. Законы. Об электроэнергетике : федеральный закон [принят Государственной Думой 26 марта 2003 года].

– Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный.
– URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 19.03.2025).

111. О реформировании электроэнергетики Российской Федерации [Постановление Правительства Российской Федерации от 11.07.2001 № 526].
– Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный.
– URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_32472/ (дата обращения: 19.03.2025).

112. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии [Постановление Правительства Российской Федерации от 4.05.2012 № 442]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ (дата обращения: 19.03.2025).

113. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике [Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2011 № 1178]. – Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125116/ (дата обращения: 19.03.2025).

114. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.01.2009 № 1-р].
– Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – Текст : электронный.
– URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/ (дата обращения: 19.03.2025).

115. 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 РФ от 27.12.2010 № 1172]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс».

- Текст : электронный. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/ (дата обращения: 19.03.2025).

116. Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 207-р]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс». - Текст : электронный. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (дата обращения: 19.03.2025).

117. Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.12.2024 № 4146-р]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс». - Текст : электронный. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_495567/ (дата обращения: 19.03.2025).

118. Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021 № 3052-р]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс». - Текст : электронный. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/ (дата обращения: 19.03.2025).

119. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс». - Текст : электронный. - URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/ (дата обращения: 19.03.2025).

120. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р]. - Справочно-правовая система «Консультант Плюс». - Текст : электронный. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/ (дата обращения: 19.03.2025).

Программы для ЭВМ и патент на изобретение

121. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭФМ № 2022621893 Российская Федерация. Программа управления солнечной электростанцией с использованием искусственного интеллекта : № 2024610514 : заявление 16.01.2024 : опубликовано (зарегистрировано) 29.02.2024 / И.С. Мокрышев, А.Р. Бордаковский ; заявитель ООО «Солерджи Шеринг». – 1 с.

Список иллюстративного материала

1 Список рисунков

Рисунок 1 Структура производства электроэнергии в мире по источникам.....	42
Рисунок 2 Средняя скорость ветра по регионам Российской Федерации	46
Рисунок 3 Суммарная годовая инсоляция по регионам Российской Федерации	51
Рисунок 4 Отнесение регионов Российской Федерации к ценовым и неценовым зонам ЕЭС Российской Федерации на 01.01.2025	68
Рисунок 5 Структура установленной мощности электростанций объединенных энергосистем и ЕЭС Российской Федерации на 01.01.2024...	69
Рисунок 6 Структура производства электроэнергии в ЕЭС Российской Федерации в 2024 году по типам электростанций.....	70
Рисунок 7 Результаты оценки потенциала пространственной организации регионов для реализации проектов распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии.....	121
Рисунок 8 Экономическая эффективность проектов наиболее подходящих для солнечной генерации регионов, согласно методике LCOE.....	134
Рисунок 9 Схема определения положительных денежных потоков для оценки экономической эффективности проекта распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии	148
Рисунок 10 Наглядная карта регионов, наиболее подходящих для солнечной генерации, согласно предлагаемой методике	150

2 Список таблиц

Таблица 1 Наиболее эффективные регионы по выработке электроэнергии солнечной электростанцией	119
Таблица 2 Регионы с наибольшим попаданием выработки СЭС в пиковые часы потребления гарантирующего поставщика	119
Таблица 3 Регионы с наиболее высоким отношением сетевой составляющей к средней стоимости электроэнергии.....	120
Таблица 4 Топ-10 регионов с наиболее благоприятной экологической обстановкой	124
Таблица 5 Топ-10 регионов с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой	125
Таблица 6 Результаты сравнения методик оценки экономической эффективности применения солнечной генерации в проектах распределенной генерации.....	154

Приложение А
(информационное)

Ранжированная балльная оценка региона по отношению выработки солнечной электростанции к среднему показателю КИУМ по Российской Федерации

Таблица А.1 - Ранжированная балльная оценка региона по отношению выработки солнечной электростанции к среднему показателю КИУМ по Российской Федерации

Регион	Оценка
1	2
Астраханская область	3
Белгородская область	3
Волгоградская область	3
Воронежская область	3
город Севастополь	3
Кабардино-Балкарская Республика	3
Карачаево-Черкесская Республика	3
Краснодарский край	3
Курганская область	3
Оренбургская область	3
Пензенская область	3
Республика Башкортостан	3
Республика Дагестан	3
Республика Ингушетия	3
Республика Калмыкия	3
Республика Крым	3
Республика Северная Осетия - Алания	3
Ростовская область	3
Самарская область	3
Саратовская область	3
Ставропольский край	3
Томская область	3
Тюменская область	3
Ульяновская область	3

Продолжение таблицы А.1

1	2
Челябинская область	3
Чеченская Республика	3
Алтайский край	3
Забайкальский край	3
Иркутская область	3
Республика Алтай	3
Республика Тыва	3
Республика Бурятия	3
Брянская область	2
Владимирская область	2
город Москва	2
город Санкт-Петербург	2
Ивановская область	2
Калужская область	2
Кировская область	2
Костромская область	2
Курская область	2
Ленинградская область	2
Липецкая область	2
Московская область	2
Нижегородская область	2
Орловская область	2
Пермский край	2
Республика Марий Эл	2
Республика Мордовия	2
Республика Татарстан	2
Рязанская область	2
Свердловская область	2
Смоленская область	2
Тамбовская область	2
Тверская область	2
Тульская область	2

Продолжение таблицы А.1

1	2
Удмуртская Республика	2
Чувашская Республика	2
Ярославская область	2
Кемеровская область	2
Красноярский край	2
Новосибирская область	2
Омская область	2
Республика Хакасия	2
Томская область	2
Вологодская область	1
Мурманская область	1
Новгородская область	1
Псковская область	1
Республика Карелия	1

Источник: составлено автором.

Приложение Б
(информационное)

**Ранжированная балльная оценка региона по отношению попадания выработки
солнечной электростанции в пиковый час потребления к среднему показателю
КИУМ по Российской Федерации**

Таблица Б.1 - Ранжированная балльная оценка региона по отношению попадания выработки солнечной электростанции в пиковый час потребления к среднему показателю КИУМ по Российской Федерации

В процентах		
Регион	Доля попаданий в пик	Оценка
1	2	3
Ивановская область	90	3
Псковская область	67	3
Ярославская область	61	3
Смоленская область	57	3
Орловская область	55	3
Тульская область	50	3
Брянская область	47	3
Курская область	46	3
Воронежская область	44	3
Калужская область	43	3
Мурманская область	38	3
Пензенская область	38	3
Ленинградская область	38	3
Чувашская Республика	38	3
Республика Мордовия	35	3
Костромская область	35	3
Белгородская область	34	3
Ставропольского края	34	3
Республика Татарстан	32	3
Республика Калмыкия	30	2
Владимирская область	29	3
Пермский край	28	3

Продолжение таблицы Б.1

В процентах

1	2	3
Волгоградская область	28	2
Ростовская область	25	2
Нижегородская область	25	2
Кировская область	24	2
Новгородская область	23	2
Свердловская область	23	2
Республика Марий Эл	22	2
Республика Башкортостан	21	2
Тамбовская область	21	2
Кабардино-Балкарская Республика	21	2
город Севастополь	20	2
Карачаево-Черкесская Республика	20	1
Рязанская область	20	2
Вологодская область	20	2
Самарская область	20	2
Челябинская область	19	2
Тверская область	18	2
Московская область	17	2
Саратовская область	16	1
Курганская область	14	0
Липецкая область	14	0
Республика Северная Осетия - Алания	13	0
Удмуртская Республика	13	0
Астраханская область	12	0
Ульяновская область	12	0
Республика Хакасия	11	0
Оренбургская область	10	0
Омская область	10	0
Республика Карелия	10	0
Красноярского края	8	0
Краснодарский край	6	0

Продолжение таблицы Б.1

В процентах

1	2	3
Забайкальского края	6	0
Чеченская Республика	5	0
Алтайский край	4	0
Иркутской области	4	0
Новосибирская область	4	0
Тюменская область	3	0
Республика Крым	2	0
Томская область	2	0
Кемеровская область	2	0
Республика Тыва	2	0
Республики Бурятия	2	0
Республика Алтай	0	0
Республика Дагестан	0	0
город Москва	0	0
город Санкт-Петербург	0	0
Республика Ингушетия	0	0

Источник: составлено автором.

Приложение В
(информационное)

Балльная оценка региона по отношению сетевой составляющей тарифа на электроэнергию к средневзвешенной нерегулируемой цене электрической энергии (мощности)

Таблица В.1 - Балльная оценка региона по отношению сетевой составляющей тарифа на электроэнергию к средневзвешенной нерегулируемой цене электрической энергии (мощности)

Регион	ВН	СН1	СН2	НН	Среднее
1	2	3	4	5	6
Алтайский край	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5
Астраханская область	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Белгородская область	0,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Брянская область	0,0	1,0	2,0	3,0	1,5
Владимирская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Волгоградская область	0,0	0,0	2,0	3,0	1,3
Вологодская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Воронежская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
город Москва	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5
город Санкт-Петербург	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
город Севастополь	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3
Забайкальского края	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Ивановская область	0,0	0,0	2,0	2,0	1,0
Иркутской области	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Кабардино-Балкарская Республика	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5
Калужская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Карачаево-Черкесская Республика	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Кемеровская область	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Кировская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Костромская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Краснодарский край	0,0	1,0	2,0	3,0	1,5
Красноярского края	0,0	0,0	1,0	3,0	1,0
Курганская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6
Курская область	0,0	2,0	2,0	3,0	1,8
Ленинградская область	0,0	2,0	2,0	3,0	1,8
Липецкая область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Московская область	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Мурманская область	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Нижегородская область	1,0	2,0	2,0	2,0	1,8
Новгородская область	0,0	0,0	2,0	3,0	1,3
Новосибирская область	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3
Омская область	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5
Оренбургская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Орловская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Пензенская область	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5
Пермский край	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Псковская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Республика Алтай	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5
Республика Башкортостан	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Республика Дагестан	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Республика Ингушетия	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Калмыкия	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Карелия	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Республика Крым	0,0	0,0	1,0	1,0	0,5
Республика Марий Эл	1,0	2,0	2,0	2,0	1,8
Республика Мордовия	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Республика Северная Осетия - Алания	2,0	2,0	2,0	3,0	2,3
Республика Татарстан	0,0	0,0	2,0	2,0	1,0
Республика Тыва	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Хакасия	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Республики Бурятия	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Ростовская область	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Рязанская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Самарская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Саратовская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6
Свердловская область	0,0	0,0	2,0	2,0	1,0
Смоленская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Ставропольского края	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Тамбовская область	1,0	2,0	2,0	2,0	1,8
Тверская область	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5
Томская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Тульская область	0,0	2,0	2,0	3,0	1,8
Тюменская область	0,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Удмуртская Республика	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8
Ульяновская область	0,0	1,0	2,0	2,0	1,3
Челябинская область	0,0	0,0	2,0	2,0	1,0
Чеченская Республика	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5
Чувашская Республика	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5
Ярославская область	0,0	0,0	1,0	2,0	0,8

Источник: составлено автором.

Приложение Г
(информационное)

**Общая оценка регионов по всем показателям предлагаемого методического
подхода**

Таблица Г.1 - Общая оценка регионов по всем показателям предлагаемого методического подхода

Регион	ВН	СН1	СН2	НН
1	2	3	4	5
Алтайский край	1,7	1,7	1,7	2,0
Астраханская область	1,7	1,7	2,0	2,0
Белгородская область	2,3	2,7	2,3	2,7
Брянская область	2,0	2,3	2,3	2,7
Владимирская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Волгоградская область	2,3	2,3	2,7	3,0
Вологодская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Воронежская область	2,3	2,3	2,7	2,7
город Москва	1,0	1,0	1,0	1,3
город Санкт-Петербург	1,0	1,3	1,3	1,3
город Севастополь	2,3	2,3	2,3	2,7
Забайкальского края	1,7	1,7	1,7	2,0
Ивановская область	1,7	1,7	2,0	2,0
Иркутской области	1,7	1,7	1,7	1,7
Кабардино-Балкарская Республика	2,3	2,7	2,7	2,7
Калужская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Карачаево-Черкесская Республика	2,0	2,0	2,3	2,3
Кемеровская область	1,0	1,0	1,0	1,3
Кировская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Костромская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Краснодарский край	1,7	2,0	2,0	2,3
Красноярского края	1,0	1,0	1,3	1,7
Курганская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Курская область	2,0	2,3	2,3	2,7
Ленинградская область	1,7	2,0	2,0	2,3

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5
Липецкая область	1,3	1,7	1,7	1,7
Московская область	1,7	1,7	1,7	2,0
Мурманская область	1,7	1,7	2,0	2,0
Нижегородская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Новгородская область	1,7	1,7	2,0	2,3
Новосибирская область	1,3	1,3	1,3	1,3
Омская область	1,0	1,0	1,0	1,3
Оренбургская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Орловская область	2,0	2,3	2,3	2,3
Пензенская область	2,3	2,7	2,7	2,7
Пермский край	1,7	1,7	2,0	2,0
Псковская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Республика Алтай	1,7	1,7	1,7	2,0
Республика Башкортостан	2,3	2,3	2,3	2,7
Республика Дагестан	1,7	1,7	2,0	2,0
Республика Ингушетия	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Калмыкия	2,7	2,7	2,7	2,7
Республика Карелия	1,0	1,3	1,3	1,3
Республика Крым	1,7	1,7	1,7	1,7
Республика Марий Эл	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Мордовия	2,0	2,3	2,3	2,3
Республика Северная Осетия - Алания	2,0	2,0	2,0	2,3
Республика Татарстан	2,0	2,0	2,3	2,3
Республика Тыва	2,0	2,0	2,0	2,0
Республика Хакасия	1,0	1,0	1,0	1,3
Республики Бурятия	1,7	1,7	2,0	2,0
Ростовская область	2,7	2,7	2,7	2,7
Рязанская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Самарская область	2,3	2,3	2,7	2,7
Саратовская область	2,0	2,0	2,3	2,3
Свердловская область	2,0	2,0	2,3	2,3
Смоленская область	1,7	2,0	2,0	2,0

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5
Ставропольского края	2,3	2,3	2,7	2,7
Тамбовская область	2,0	2,0	2,0	2,0
Тверская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Томская область	1,0	1,0	1,3	1,3
Тульская область	1,7	2,0	2,0	2,3
Тюменская область	1,7	2,0	2,0	2,0
Удмуртская Республика	1,0	1,0	1,0	1,3
Ульяновская область	1,7	1,7	2,0	2,0
Челябинская область	2,3	2,3	2,7	2,7
Чеченская Республика	1,7	2,0	2,0	2,0
Чувашская Республика	2,0	2,0	2,0	2,3
Ярославская область	1,7	1,7	2,0	2,0

Источник: составлено автором.

Приложение Д
(информационное)

Описание характеристик расчетного проекта солнечной генерации

Таблица Д.1 - Описание характеристик расчетного проекта солнечной генерации.

Характеристика	Значение
Первоначальные затраты (C_0), руб.	50 000 000
Операционные затраты (C_t), руб.	0
Вид установки	На земле
Ставка дисконтирования (r), проценты	16
Материал монтажной системы	Алюминий
Производитель солнечных панелей	LONGi Green Energy Technology Co., Ltd.
Модель солнечных панелей	Hi-Mo LR5-66HPH
КПД солнечных панелей, проценты	21,1
Мощность солнечных панелей, Вт	500
Количество солнечных панелей, шт.	2 000
Производитель инвертора	Sungrow Power Supply co., Ltd
Модель инвертора	SG50CX
КПД инверторов, проценты	99
Мощность инвертора, кВт	50
Количество инверторов, шт.	20
Схема подключения	5 параллельно подключенных линий из 20 подключённых последовательно солнечных панелей

Источник: составлено автором.

Приложение Е
(информационное)

**Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной
генерации с помощью разработанной методики**

Таблица Е.1 - Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации с помощью разработанной методики.

В тысячах рублей

Регион	NPV			
	ВН	СН1	СН2	НН
1	2	3	4	5
Алтайский край	-23 299,4	-14 855,7	-11 803,8	811,0
Астраханская область	-14 427,8	-9 942,9	1 056,0	13 229,4
Белгородская область	11 677,2	17 332,7	14 706,9	25 714,9
Брянская область	19 911,8	24 746,4	32 928,1	49 012,5
Владимирская область	2 782,3	7 651,3	11 812,0	22 612,3
Волгоградская область	1 181,4	8 295,9	26 405,5	47 749,0
Вологодская область	-14 259,2	1 478,9	2 108,4	12 889,0
Воронежская область	13 497,0	22 342,7	29 278,5	46 869,3
город Москва	-30 200,9	-24 420,4	-19 973,8	-8 057,1
город Санкт-Петербург	-26 408,5	-13 946,2	-7 837,3	-2 868,7
город Севастополь	-7 142,8	-6 690,6	5 971,6	10 380,8
Забайкальского края	-15 496,5	-6 705,1	1 467,3	9 391,9
Ивановская область	47 450,9	51 698,7	65 121,8	74 042,1
Иркутской области	-30 846,6	-25 547,3	-22 799,5	-18 677,8
Кабардино-Балкарская Республика	8 542,3	10 655,7	17 218,4	28 007,8
Калужская область	14 785,6	23 208,4	26 222,9	35 177,8
Карачаево-Черкесская Республика	10 153,2	13 176,8	21 491,9	34 468,4
Кемеровская область	-21 722,6	-18 162,7	-15 670,7	-2 231,9
Кировская область	-7 018,1	3 209,0	8 455,9	25 708,6
Костромская область	6 123,1	15 862,1	17 132,4	22 044,2
Краснодарский край	-6 428,3	1 355,4	19 326,4	36 267,2

Продолжение таблицы Е.1

В тысячах рублей

1	2	3	4	5
Красноярского края	-22 698,3	-21 183,0	-9 327,8	14 293,6
Курганская область	-6 263,9	6 566,4	8 918,6	10 950,1
Курская область	16 039,0	30 844,5	40 458,5	51 803,0
Ленинградская область	4 437,8	20 809,8	27 570,4	49 073,9
Липецкая область	-8 991,0	5 721,2	8 109,5	22 248,5
Московская область	-12 796,1	-7 325,1	-4 372,4	56,5
Мурманская область	-7 851,3	1 871,5	6 898,3	9 081,0
Нижегородская область	2 951,8	12 698,1	16 068,3	22 717,6
Новгородская область	-6 628,4	-4 172,3	7 474,5	21 894,2
Новосибирская область	-22 565,4	-17 300,5	-16 469,2	-13 328,7
Омская область	-22 818,9	-22 731,9	-17 426,3	-6 032,2
Оренбургская область	-6 598,6	7 301,4	8 249,1	16 146,8
Орловская область	25 587,0	30 696,8	39 708,7	47 884,4
Пензенская область	17 812,3	19 968,9	21 831,4	28 105,1
Пермский край	-4 542,3	-184,7	8 174,8	19 824,8
Псковская область	29 574,7	43 604,9	44 967,8	48 254,9
Республика Алтай	-27 479,0	-19 384,8	-16 459,2	-4 366,7
Республика Башкортостан	-7 386,5	1 842,8	2 339,0	8 392,5
Республика Дагестан	-15 570,7	-8 851,4	-1 140,6	-4 004,6
Республика Ингушетия	5 413,7	7 442,6	15 107,1	19 390,2
Республика Калмыкия	18 892,6	22 387,3	23 807,1	33 636,0
Республика Карелия	-18 844,6	-1 700,4	-1 032,5	451,8
Республика Крым	-27 063,8	-16 828,5	-4 753,0	-4 868,1
Республика Марий Эл	2 568,5	5 830,6	12 173,7	18 245,0
Республика Мордовия	11 287,9	23 942,8	27 202,4	38 035,8
Республика Северная Осетия - Алания	9 478,6	21 730,8	27 215,2	36 200,2
Республика Татарстан	-5 891,9	-835,8	16 717,6	23 013,9
Республика Тыва	10 311,0	11 465,1	11 811,3	12 272,9
Республика Хакасия	-23 866,2	-15 042,0	-9 426,6	3 230,3
Республики Бурятия	-11 130,6	-8 254,3	-2 501,5	9 579,3

Продолжение таблицы Е.1

В тысячах рублей

1	2	3	4	5
Ростовская область	14 015,5	17 456,4	18 854,2	28 531,5
Рязанская область	-7 787,1	3 143,4	5 693,8	11 159,0
Самарская область	-6 590,8	1 767,9	13 509,9	29 331,7
Саратовская область	-6 210,3	1 422,5	18 544,8	22 464,4
Свердловская область	-8 844,4	473,3	11 579,3	19 955,9
Смоленская область	24 197,1	37 772,6	41 801,4	51 435,6
Ставропольского края	5 743,0	10 926,9	19 242,7	37 494,2
Тамбовская область	1 705,9	4 432,4	6 886,3	14 975,1
Тверская область	-4 516,9	-466,9	4 789,4	13 750,9
Томская область	-15 123,6	-4 649,4	7 992,0	9 918,3
Тульская область	19 744,0	32 391,6	34 868,1	47 781,1
Тюменская область	-19 856,3	-8 942,1	-6 941,1	-5 213,0
Удмуртская Республика	-14 250,5	-7 251,0	-961,5	9 385,6
Ульяновская область	-10 155,7	-6 270,8	414,8	5 022,5
Челябинская область	-7 173,0	-632,3	7 470,3	11 765,7
Чеченская Республика	-6 156,7	-2 043,6	3 292,3	9 517,4
Чувашская Республика	14 796,5	15 472,0	16 485,2	28 531,1
Ярославская область	28 080,8	31 188,9	34 956,4	53 322,7

Источник: составлено автором.

Приложение Ж
(информационное)

Нормированная стоимость электроэнергии по регионам, согласно методике LCOE

Таблица Ж.1 - Нормированная стоимость электроэнергии по регионам, согласно методике LCOE

В рублях	
Регион	LCOE
1	2
Алтайский край	5,15
Астраханская область	4,90
Белгородская область	5,19
Брянская область	5,63
Владимирская область	5,92
Волгоградская область	4,86
Вологодская область	6,65
Воронежская область	5,21
город Москва	5,89
город Санкт-Петербург	6,43
город Севастополь	4,63
Забайкальского края	4,23
Ивановская область	6,16
Иркутской области	5,34
Кабардино-Балкарская Республика	4,71
Калужская область	5,91
Карачаево-Черкесская Республика	4,16
Кемеровская область	5,88
Кировская область	5,89
Костромская область	6,18
Краснодарский край	4,57
Красноярского края	5,87
Курганская область	4,90

Продолжение таблицы Ж.1

В рублях

1	2
Курская область	5,45
Ленинградская область	6,43
Липецкая область	5,48
Московская область	6,03
Мурманская область	7,92
Нижегородская область	5,75
Новгородская область	6,61
Новосибирская область	5,67
Омская область	6,02
Оренбургская область	4,97
Орловская область	5,64
Пензенская область	5,34
Пермский край	5,89
Псковская область	6,53
Республика Алтай	5,37
Республика Башкортостан	5,28
Республика Дагестан	4,75
Республика Ингушетия	4,65
Республика Калмыкия	4,80
Республика Карелия	7,06
Республика Крым	4,55
Республика Марий Эл	5,78
Республика Мордовия	5,46
Республика Северная Осетия - Алания	4,49
Республика Татарстан	5,49
Республика Тыва	4,54
Республика Хакасия	5,88
Республики Бурятия	4,55
Ростовская область	4,87
Рязанская область	5,75

Продолжение таблицы Ж.1

1	2 В рублях
Самарская область	5,26
Саратовская область	5,08
Свердловская область	5,56
Смоленская область	5,98
Ставропольского края	4,85
Тамбовская область	5,76
Тверская область	6,08
Томская область	4,35
Тульская область	5,92
Тюменская область	5,76
Удмуртская Республика	5,16
Ульяновская область	5,80
Челябинская область	5,36
Чеченская Республика	4,71
Чувашская Республика	4,65
Ярославская область	5,56

Источник: составлено автором.

Приложение И
(информационное)

Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации методом нормированной стоимости электроэнергии

Таблица И.1 - Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации методом нормированной стоимости электроэнергии.

Регион	Сравнение LCOE с тарифом			
	ВН	СН1	СН2	НН
1	2	3	4	5
Алтайский край	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Астраханская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Белгородская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Брянская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Владимирская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Волгоградская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Вологодская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Воронежская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
город Москва	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный
город Санкт-Петербург	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
город Севастополь	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Забайкальского края	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ивановская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Иркутской области	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен
Кабардино-Балкарская Республика	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Калужская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Карачаево-Черкесская Республика	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
Кемеровская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Кировская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Костромская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Краснодарский край	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Красноярского края	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный
Курганская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Курская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ленинградская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Липецкая область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Московская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Мурманская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен
Нижегородская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Новгородская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Новосибирская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен
Омская область	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный
Оренбургская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Орловская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Пензенская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Пермский край	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Псковская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Алтай	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Башкортостан	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Дагестан	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Ингушетия	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
Республика Калмыкия	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Карелия	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект убыточен
Республика Крым	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Марий Эл	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Мордовия	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Северная Осетия Алания	- Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Татарстан	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Тыва	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республика Хакасия	Проект убыточен	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Республики Бурятия	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ростовская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Рязанская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Самарская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Саратовская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Свердловская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Смоленская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ставропольског о края	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Тамбовская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Тверская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Томская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Тульская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Тюменская область	Проект убыточен	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
Удмуртская Республика	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ульяновская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Челябинская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Чеченская Республика	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Чувашская Республика	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный
Ярославская область	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный	Проект прибыльный

Источник: составлено автором.

Приложение К
(информационное)

**Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной
генерации методом дисконтирования денежных потоков**

Таблица К.1 - Результаты расчета экономической эффективности проектов распределенной генерации методом дисконтирования денежных потоков.

В тысячах рублей

Регион	NPV			
	ВН	СН1	СН2	НН
1	2	3	4	5
Алтайский край	-5 604,3	2 839,5	5 891,4	18 506,2
Астраханская область	1 726,5	6 211,4	17 210,3	29 383,7
Белгородская область	9 422,9	15 078,4	12 452,6	23 460,6
Брянская область	6 379,1	11 213,7	19 395,3	35 479,7
Владимирская область	495,7	5 364,7	9 525,4	20 325,7
Волгоградская область	2 647,2	9 761,7	27 871,3	49 214,7
Вологодская область	-10 308,5	5 429,6	6 059,1	16 839,7
Воронежская область	10 753,7	19 599,4	26 535,2	44 126,1
город Москва	-10 390,1	-4 609,6	-163,0	11 753,7
город Санкт-Петербург	-12 010,4	451,9	6 560,8	11 529,4
город Севастополь	5 216,5	5 668,7	18 330,9	22 740,1
Забайкальского края	2 179,0	10 970,5	19 142,8	27 067,4
Ивановская область	-3 664,9	582,9	14 005,9	22 926,3
Иркутской области	-20 127,6	-14 828,2	-12 080,4	-7 958,7
Кабардино-Балкарская Республика	11 444,1	13 557,5	20 120,2	30 909,6
Калужская область	3 143,8	11 566,6	14 581,1	23 535,9
Карачаево-Черкесская Республика	15 185,0	18 208,7	26 523,7	39 500,2
Кемеровская область	-1 282,3	2 277,7	4 769,6	18 208,4
Кировская область	-9 678,7	548,4	5 795,4	23 048,0
Костромская область	-5 590,3	4 148,6	5 418,9	10 330,8
Краснодарский край	24 677,0	32 460,6	50 431,7	67 372,5

Продолжение таблицы К.1

В тысячах рублей

1	2	3	4	5
Красноярского края	-15 111,7	-13 596,4	-1 741,1	21 880,2
Курганская область	14 087,5	26 917,8	29 270,0	31 301,5
Курская область	7 241,7	22 047,2	31 661,2	43 005,7
Ленинградская область	-8 752,3	7 619,7	14 380,3	35 883,8
Липецкая область	9 173,5	23 885,6	26 274,0	40 412,9
Московская область	-5 762,4	-291,3	2 661,3	7 090,3
Мурманская область	-27 948,4	-18 225,6	-13 198,9	-11 016,2
Нижегородская область	8 241,0	17 987,3	21 357,5	28 006,9
Новгородская область	-5 679,0	-3 222,9	8 423,8	22 843,6
Новосибирская область	-7 104,7	-1 839,8	-1 008,5	2 132,0
Омская область	-11 869,2	-11 782,2	-6 476,6	4 917,5
Оренбургская область	11 433,5	25 333,4	26 281,1	34 178,8
Орловская область	5 223,3	10 333,2	19 345,1	27 520,8
Пензенская область	15 814,9	17 971,4	19 833,9	26 107,6
Пермский край	-7 900,0	-3 542,4	4 817,1	16 467,1
Псковская область	-1 543,6	12 486,6	13 849,5	17 136,6
Республика Алтай	-3 248,8	4 845,4	7 771,0	19 863,5
Республика Башкортостан	-638,5	8 590,7	9 086,9	15 140,5
Республика Дагестан	-1 929,1	824,7	6 332,4	17 898,5
Республика Ингушетия	3 133,1	10 008,6	17 898,6	14 968,0
Республика Калмыкия	22 668,4	24 634,2	32 060,4	36 210,4
Республика Карелия	-17 760,2	-616,1	51,9	1 536,2
Республика Крым	2 602,9	12 838,2	24 913,6	24 798,6
Республика Марий Эл	11 745,3	15 007,5	21 350,5	27 421,8
Республика Мордовия	6 218,4	18 873,3	22 132,9	32 966,2
Республика Северная Осетия - Алания	20 176,4	32 428,6	37 913,0	46 898,0
Республика Татарстан	-10 466,7	-5 410,6	12 142,8	18 439,1
Республика Тыва	24 369,1	25 523,2	25 869,4	26 331,0
Республика Хакасия	-11 458,8	-2 634,6	2 980,8	15 637,7
Республики Бурятия	210,2	3 086,6	8 839,3	20 920,2

Продолжение таблицы К.1

В тысячах рублей

1	2	3	4	5
Ростовская область	28 106,7	31 547,5	32 945,4	42 622,7
Рязанская область	4 961,9	15 892,3	18 442,8	23 908,0
Самарская область	2 281,8	10 640,5	22 382,5	38 204,3
Саратовская область	67,3	7 700,2	24 822,5	28 742,1
Свердловская область	-4 973,6	4 344,1	15 450,2	23 826,7
Смоленская область	3 285,9	16 861,3	20 890,2	30 524,4
Ставропольского края	11 277,7	16 461,6	24 777,4	43 028,9
Тамбовская область	13 019,6	15 746,1	18 200,0	26 288,8
Тверская область	1 563,4	5 613,4	10 869,7	19 831,2
Томская область	6 151,7	16 625,9	29 267,3	31 193,6
Тульская область	3 102,4	15 750,0	18 226,5	31 139,5
Тюменская область	2 061,1	12 975,3	14 976,3	16 704,4
Удмуртская Республика	2 486,4	9 485,9	15 775,4	26 122,5
Ульяновская область	2 888,5	6 773,4	13 459,0	18 066,6
Челябинская область	4 024,1	10 564,7	18 667,4	22 962,7
Чеченская Республика	3 625,4	7 738,5	13 074,4	19 299,5
Чувашская Республика	13 989,7	14 665,2	15 678,4	27 724,3
Ярославская область	2 876,1	5 984,2	9 751,7	28 117,9

Источник: составлено автором.

Приложение Л
(информационное)

**Результаты сравнения результатов расчета экономической эффективности
классической и предлагаемой методиками**

Таблица Л.1 - Результаты сравнения результатов расчета экономической эффективности классической и предлагаемой методиками.

Регион	Отклонение			
	ВН	СН1	СН2	НН
1	2	3	4	5
Алтайский край	Убыток недооценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Астраханская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Белгородская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Брянская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Владимирская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Волгоградская область	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Вологодская область	Убыток недооценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Воронежская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
город Москва	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен
город Санкт-Петербург	Убыток недооценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
город Севастополь	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Забайкальский край	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Ивановская область	Проект недооценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Иркутская область	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен
Кабардино-Балкарская Республика	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Калужская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5
Карачаево-Черкесская Республика	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Кемеровская область	Убыток недооценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
Кировская область	Убыток переоценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Костромская область	Проект недооценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Краснодарский край	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Красноярский край	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Выгода переоценена
Курганская область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Курская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Ленинградская область	Проект недооценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Липецкая область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Московская область	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Мурманская область	Убыток переоценен	Проект недооценен	Проект недооценен	Проект недооценен
Нижегородская область	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Новгородская область	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Новосибирская область	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен
Омская область	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен
Оренбургская область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Орловская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Пензенская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Пермский край	Убыток переоценен	Убыток переоценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Псковская область	Проект недооценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Республика Алтай	Убыток недооценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
Республика Башкортостан	Убыток недооценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5
Республика Дагестан	Убыток недооценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
Республика Ингушетия	Выгода недооценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода недооценена
Республика Калмыкия	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Республика Карелия	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Республика Крым	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
Республика Марий Эл	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Республика Мордовия	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Республика Северная Осетия - Алания	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Республика Татарстан	Убыток переоценен	Убыток переоценен	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Республика Тыва	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Республика Хакасия	Убыток недооценен	Убыток недооценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Республика Бурятия	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Ростовская область	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Рязанская область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Самарская область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Саратовская область	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Свердловская область	Убыток недооценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Смоленская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Ставропольский край	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Тамбовская область	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Тверская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Томская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Тульская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5
Тюменская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен
Удмуртская Республика	Проект переоценен	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена
Ульяновская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Челябинская область	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Чеченская Республика	Проект переоценен	Проект переоценен	Выгода переоценена	Выгода переоценена
Чувашская Республика	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена
Ярославская область	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена	Выгода недооценена

Источник: составлено автором.