

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*

**Сергеева Софья Александровна**

**Эколого-экономическая эффективность альтернативных источников  
энергии**

Специальность 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика  
(экономика природопользования и землеустройства)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена на кафедре экономики устойчивого развития и природопользования экономического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

**Научный руководитель:** *Маликова Ольга Игоревна*,  
профессор, доктор экономических наук

**Официальные оппоненты:** *Плакицкий Юрий Анатольевич* -  
доктор экономических наук, профессор, Институт энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН), Центр анализа и инноваций в энергетике, руководитель.

*Пыжова Юлия Ивановна* -  
доктор экономических наук, доцент, Сибирский федеральный университет, Институт экономики, государственного управления и финансов, кафедра социально-экономического планирования, профессор.

*Пинаев Владимир Евгеньевич* -  
кандидат экономических наук, доцент, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Институт экологии, департамент экологической безопасности и менеджмента качества продукции, доцент.

Защита состоится «23» июня 2026 года в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.052.4 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Российская Федерация, г. Москва, МГУ, Ленинские горы, дом 1, строение 46, экономический факультет, аудитория П4.

E-mail: [mgu.08.05@yandex.ru](mailto:mgu.08.05@yandex.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3892>

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ .052.4,  
кандидат экономических наук



Н.М. Калмыкова

# I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## **Актуальность темы исследования**

Обеспечение высоких темпов экономического роста в России и конкурентоспособности национальной экономики невозможно без развитой электроэнергетики. Современная энергетика должна не только гарантировать надежный доступ к электроэнергии по доступным ценам, но и соответствовать критериям устойчивого развития. Производимая электроэнергия должна иметь минимальный углеродный след, а сама энергетическая система обеспечивать высокую энергоэффективность.

Одной из главных тенденций развития электроэнергетики в мире в последние годы стала ориентация на развитие зеленой электрогенерации, предполагающей доминирование в энергетическом балансе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В некоторых европейских странах (Дания, Литва) доля ВИЭ в выработке электроэнергии превысила шестидесятипроцентную отметку. В России в качестве целевого ориентира также ставится задача ускоренного развития возобновляемых источников энергии. С 2013 года введены льготы для компаний, строящих солнечные и ветровые электростанции.

Вместе с тем при развитии российской энергетики важно учитывать ряд важных аспектов. Современная энергетическая система России является одной из крупнейших в мире. Ее особенностью является высокая доля газа в выработке электроэнергии, что связано с естественными конкурентными преимуществами страны – наличием больших и доступных ресурсов газа. В нашей стране именно газовая электрогенерация демонстрирует лучшие технико-экономические показатели при выработке электроэнергии. ВИЭ пока проигрывают не только из-за высоких затрат при выработке электроэнергии, но и вследствие сложной балансировки энергосистемы при массовом развитии ВИЭ и высокой зависимости от поставок импортного оборудования.

Таким образом ключевой задачей ближайших десятилетий для России в сфере развития электроэнергетики становится вопрос поиска оптимального

баланса в развитии разных альтернативных источников электрогенерации – ВИЭ, гидроэнергетики, традиционной газовой электрогенерации с целью достижения лучших эколого-экономических показателей работы энергосистемы и обеспечения ее устойчивого развития.

Именно вопросам поиска баланса в развитии зеленых и традиционных источников энергии с целью минимизации экологического ущерба и сокращения углеродного следа посвящена данная работа. Оптимизация структуры энергетического оборудования должна основываться на взвешенной оценке всего жизненного цикла энергетических объектов с учетом региональных особенностей и потенциала различных видов возобновляемых и невозобновляемых источников.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена острой необходимостью научного обеспечения процесса принятия стратегических решений в сфере энергетики, направленных на гармоничное сочетание задач надежного энергоснабжения, экономического роста и экологической устойчивости Российской Федерации в условиях глобальных трансформаций и внутренних вызовов.

### **Степень разработанности темы исследования**

Проблематика устойчивого развития и «зеленой» трансформации экономики, в том числе низкоуглеродного развития энергетики, является предметом активных междисциплинарных исследований на протяжении нескольких десятилетий. На уровне общетеоретических оснований существенный вклад в формирование концептуального аппарата устойчивого развития, экологической экономики и оценки благосостояния внесли как зарубежные авторы (G.H. Brundtland; D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers; H.E. Daly; E.F. Schumacher; J. Elkington; R.H. Coase; C.S. Holling; H.T. Odum; B. Ward, R. Dubos), так и российские исследователи, развивающие методологию устойчивого развития и систему индикаторов на национальном и региональном уровнях (С.Н. Бобылев, С.В. Соловьева, Н.В. Зубаревич, А.О. Вереникин, А.Ю. Вереникина, О.В. Кудрявцева, И.Ю. Ховакко, А.В. Шевчук и др.). Отдельное

место занимают работы, посвященные критике ограниченности ВВП как единственного ориентира и развитию расширенных подходов к оценке прогресса (Д. Стиглиц, А. Сен, Ж.-П. Фитусси).

В рамках энергетической повестки значительный пласт исследований посвящен глобальному энергетическому переходу, его драйверам и сценариям, а также экономическим последствиям декарбонизации. Эти вопросы раскрываются в работах отечественных авторов, анализирующих траектории низкоуглеродного развития и энергоэффективности (И.А. Башмаков; Б.Н. Порфирьев; А.А. Макаров, Т.А. Митрова; Ю.А. Плакиткин, Л.С. Плакиткина; Л.М. Григорьев, А.А. Курдин и др.), а также в материалах международных организаций и крупных аналитических центров (IPCC; IEA – World Energy Outlook, Energy Efficiency, Projected Costs of Generating Electricity; IRENA – Global Energy Transformation, WETO и др.; REN21; World Bank). В зарубежной академической литературе отдельно выделяются исследования, показывающие роль удешевления «зеленой» электроэнергии как фактора ускорения энергоперехода (например, D. Bogdanov и соавт.), а также работы по регулированию энергетического перехода и политике в этой сфере (К. Daszkiewicz и др.).

Существенно разработанным является направление, связанное с экономикой возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и оценкой результативности мер государственной поддержки. Для российской специфики важны исследования механизмов стимулирования ВИЭ на оптовом рынке, включая анализ договоров предоставления мощности и институциональных условий развития отрасли (О.В. Кудрявцева, С.В. Васильев, Т.Г. Зорина; О.И. Маликова; С.А. Сергеева; А.Б. Алхасов и соавт.; Н.Н. Яшалова, И.М. Потравный; В.В. Бушуев, Д.А. Соловьев и др.), а также работы, рассматривающие региональные особенности, в том числе для Дальнего Востока и территорий с повышенной стоимостью энергоснабжения (В.В. Бушуев и соавт.). Параллельно сформирован значительный корпус исследований, посвященных оценке эколого-экономической эффективности альтернативной энергетики и

энергоэффективности в регионах России (Д.Ю. Двинин; П.А. Кирюшин; М. Соколов и др.), включая обсуждение побочных экологических эффектов и ограничений (К.С. Дегтярев).

Отдельного внимания заслуживают методические подходы к оценке затрат и выгод, включая учет внешних эффектов и углеродного фактора. В литературе широко представлены подходы к интернализации внешних эффектов (R.H. Coase; И.Ю. Ховавко), к оценке «социальной стоимости» выбросов и применению углеродных параметров в регулировании (IWG Social Cost of Carbon; обзоры IMF по углеродному налогообложению; доклады World Bank по углеродному ценообразованию; В.Д. Газман), а также инструменты оценки жизненного цикла и стандарты экологического менеджмента (ISO 14001; ISO по LCA; European Commission – ILCD Handbook; обзоры по LCA, например E. Mälkki, K. Alanne). Для экономической сопоставимости технологий в энергетике активно применяется показатель LCOE и его модификации; соответствующие методические и прикладные аспекты отражены в исследованиях (I.V. Filimonova и соавт.), а также в аналитике IEA по LCOE и value-adjusted LCOE.

Параллельно развивается направление, связанное с системной интеграцией ВИЭ и повышением надежности электроэнергетических систем, включая использование накопителей энергии и предоставление вспомогательных услуг. В международной литературе представлены исследования координированного управления накопителями и ветровой генерацией для частотного регулирования и многомасштабных сервисов (J. Tan, Y. Zhang; Y. Tan, K.M. Muttaqi; Z. Wu и соавт.; D. Gamage и соавт.), а также работы по оптимизации мощностей гидроаккумулирования и межрегиональной торговли «зеленой» энергией (X. Zhang и соавт.). Вопросы неопределенностей технико-экономических параметров и их влияния на эффективность проектов рассматриваются, в частности, в исследованиях A. Daniilidis, R. Herber.

При всей широте исследований и нормативной базы сохраняется ряд недостаточно проработанных аспектов, значимых для нового диссертационного исследования. Во-первых, в отечественной литературе сравнительно

ограниченно представлены комплексные экономические оценки проектов ВИЭ, одновременно учитывающие: (а) отраслевые механизмы поддержки и рыночные ограничения; (б) сетевые и системные эффекты интеграции (надежность, ограничения пропускной способности, потребность во вспомогательных услугах); (в) роль накопителей и иных гибких ресурсов как источника дополнительной ценности; (г) экологические эффекты на основе сопоставимых методик жизненного цикла и/или углеродных параметров. Во-вторых, нуждается в развитии методический инструментарий адаптации показателей типа LCOE/value-adjusted LCOE к условиям российской электроэнергетики, включая региональную неоднородность (ценовые/неценовые зоны, изолированные энергосистемы), а также к логике актуальных документов планирования развития ЕЭС и схемно-программных решений. В-третьих, недостаточно систематизированы эмпирические выводы о результативности и «стоимости» различных вариантов государственной поддержки развития энергетики и сопутствующей инфраструктуры в увязке с целями устойчивого развития и низкоуглеродной трансформации.

Указанные пробелы определяют необходимость проведения исследования, ориентированного на разработку и апробацию комплексного подхода к экономическому обоснованию развития альтернативных источников энергии (и связанных с ними технологических и инфраструктурных решений) в электроэнергетических системах России с учетом современного стратегического и нормативного контекста, а также требований сопоставимости.

#### **Цель и задачи исследования**

**Цель исследования:** разработка теоретических и методологических основ оценки эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии (АИЭ) для обеспечения устойчивого развития энергетического сектора с учетом экономических и экологических факторов. **Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:**

1. Определить и систематизировать подходы к оценке эколого–экономической эффективности альтернативных источников энергии в контексте устойчивого развития и создания устойчивой энергетики.

2. Оценить возможный объем выбросов CO<sub>2</sub> в различных сценариях строительства нового энергетического оборудования в контексте устойчивого развития и создания устойчивой энергетики.

3. Выявить и проанализировать недостатки текущих механизмов в Российской Федерации в отношении стимулирования развития альтернативных источников энергии.

4. Предложить практические меры по преодолению барьеров развития альтернативных источников энергии в Российской Федерации с учетом максимизации их эколого-экономической эффективности.

5. Разработать рекомендации для участников энергетической отрасли для стимулирования перехода к низкоуглеродной экономике.

**Объектом исследования** является комплекс производственно-инфраструктурных и природно-ресурсных систем, участвующих в выработке энергии из альтернативных источников.

**Предметом исследования** является эколого-экономическая эффективность применения альтернативных источников энергии, выражающаяся в соотношении достигнутых энергетических, экологических и экономических результатов.

**Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем**

1. Предложены подходы к оценке экономической эффективности проектов строительства альтернативных источников энергии с применением метода расчета чистой приведенной стоимости удельных затрат электроэнергии (Levelized Cost of Energy, LCOE) с учетом особенностей структуры энергетики России путем оценки удельных затрат всей энергетической системы на производство новой электроэнергии в трех различных сценариях, показывающих рентабельный объем ВИЭ для энергетической отрасли, что критически важно для обоснования долгосрочных инвестиций в чистую энергетику и

формирования экономически устойчивой стратегии декарбонизации, обеспечивающей как экологическую безопасность, так и энергетическую устойчивость для страны.

2. Рассчитана и проведена оценка возможного дополнительного объема выбросов CO<sub>2</sub> от строительства новых объектов генерации для покрытия потенциальных дефицитов в энергетическом балансе страны, проведена их эколого-экономическая оценка в трех сценариях.

3. Определены и описаны пять системных недостатков текущих механизмов возврата инвестиций строительства объектов энергетики, в том числе и АИЭ, препятствующих переходу к низкоуглеродной экономике. Все это сдерживает снижение цен на электроэнергию и адаптацию отрасли к климатическим требованиям, что требует нового подхода к инвестициям.

4. Предложен усовершенствованный инвестиционный механизм для электроэнергетики, реализующий задачу привлечения инвестиций в электроэнергетику России и компенсации ущерба окружающей среде, путем введения климатического ограничения и интеграции с рынком углеродных единиц, что позволит устранить недостатки существующих механизмов и обеспечит достижение целей устойчивого развития.

5. Сформулированы рекомендации для участников энергетической отрасли по интеграции нового механизма в энергетический рынок, позволяющие стимулировать переход к низкоуглеродной экономике и повышению эффективности природопользования.

**Теоретическая значимость исследования** состоит в углублении знаний в области развития энергетического комплекса с учетом влияния экологических ограничений, разработке универсальных подходов к определению оптимальной стратегии низкоуглеродного развития энергетического комплекса региона, выбора вариантов модернизации и строительства новых энергетических мощностей с соблюдением требований сокращения выбросов парниковых газов. Основные положения диссертационного исследования создают фундамент для

более тесной взаимосвязи реализации задач развития российской электроэнергетики и ключевых целей устойчивого развития.

**Практическая значимость исследования** заключается в разработке инструментов и подходов для оптимизации использования АЭИ. Результаты исследования могут найти применение при разработке региональных схем развития электроэнергетики, определении приоритетов в выделении средств при строительстве новых мощностей и модернизации уже действующих объектов. Отдельные результаты исследования могут использоваться при преподавании курсов: «Экономика устойчивого развития», «Управление устойчивым развитием», «Экономика природопользования».

### **Теоретико-методологические основы исследования и эмпирическая база**

Теоретическую основу исследования составили фундаментальные и прикладные исследования российских и зарубежных ученых в области экономики устойчивого развития, проблем развития электроэнергетики и ее ресурсной базы, зеленой промышленной политики в сфере развития энергетического комплекса.

Информационной базой исследования послужили данные Росстата, Российского энергетического агентства, Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса (ЦДУ ТЭК), Министерства природных ресурсов Российской Федерации, Росгидромета, данные профильных министерств и ведомств. Использовались данные Международного энергетического агентства (IEA), Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), Программы ООН по окружающей среде (UNEP UN), материалы Парижской (COP-21) и последующих конференций по климату, а также рамочных документов, определяющих процессы низкоуглеродного развития мировой экономики.

В рамках исследования использовались общенаучные методы исследования. Применение комплексного и сравнительного подходов позволило раскрыть взаимосвязи между экономическими и экологическими параметрами

развития альтернативной энергетики. Использовались методы экономического и экологического учета. Сценарный анализ и методы прогнозирования стали основой для разработки и обоснования возможных сценариев развития энергетического комплекса российского Дальнего Востока с учетом использования различных альтернативных источников электрогенерации.

### **Информационная база исследования**

Исследование базируется на данных международных и национальных организаций, ведущих деятельность в области энергетики и экологии, таких как Организация Объединенных наций (ООН), Международное энергетическое агентство (МЭА), Межправительственная группа экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency, IRENA), Всемирный банк, а также профильных российских организаций, включая Министерство энергетики Российской Федерации, Федеральную службу государственной статистики (Росстат). Дополнительно используются материалы стандартов и стратегий в области развития альтернативной энергетики и охраны окружающей среды.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Для Объединенной энергетической системы Востока с прогнозируемым ежегодным дефицитом мощности 10–12 % и ограничениями инфраструктурной базы наиболее предпочтительным является гибридный сценарий развития, сочетающий традиционную и альтернативную энергетику. Удельная стоимость новой электроэнергии в гибридном сценарии составляет 12 689 руб./МВт·ч, что на 13 % ниже, чем в альтернативном (14 612 руб./МВт·ч), при сопоставимом объеме выработки. Гибридный сценарий в наибольшей степени соответствует Энергетической стратегии РФ до 2050 года, обеспечивая надежное и экономически обоснованное энергоснабжение Дальневосточного федерального округа.

2. При сопоставимых экологических последствиях (различие дополнительных эмиссий не превышает 6 %) решающим фактором выбора стратегии выступает экономическая эффективность. Капитальные вложения в гибридный сценарий составляют 2 320 млрд рублей, тогда как альтернативный требует 2 935 млрд рублей — на 26,5 % больше. Экологически сопоставимые сценарии ранжируются по экономическому критерию, что позволяет отдать приоритет гибриднему как более эффективному без ущерба для экологических показателей.

3. Действующий механизм отбора инвестиционных проектов в электроэнергетике для ОЭС Востока имеет ряд системных недостатков: отсутствие ценовой состязательности технологий генерации; ориентация на задачи машиностроительного сектора, а не на потребности энергорынка; неконкурентная поддержка гидро- и атомной генерации; высокая капиталоемкость при длительных сроках окупаемости; консервация существующей структуры активов, что ограничивает снижение конечной цены для потребителей и внедрение инноваций. В условиях прогнозируемого дефицита мощности до 10–12 % эти факторы препятствуют переходу к низкоуглеродной экономике и обуславливают необходимость разработки нового механизма привлечения инвестиций.

4. Для устранения выявленных недостатков разработан новый механизм конкурсного отбора проектов, объединяющий преимущества действующих механизмов возврата инвестиций с введением экологических ограничений и интеграцией торговли углеродными единицами. Ключевым элементом — монетизация экологического воздействия через учет углеродных налогов или платы за выбросы парниковых газов, что делает стоимость эмиссии значимым экономическим параметром. В конкурсе участвуют как действующие, так и новые проекты. Целевая функция — минимизация совокупных приведенных затрат на энергоснабжение, включающих капитальные, операционные издержки и плату за эмиссию. Экологические экстерналии интернализируются, что

обеспечивает объективное сопоставление технологий и направляет инвестиции в наиболее чистые и экономически эффективные решения.

5. Разработаны рекомендации по интеграции механизма в действующую структуру рынка. Министерство энергетики РФ обеспечивает нормативно-правовую базу для конкурсного отбора по критериям экономической эффективности и минимизации углеродного следа, а также долгосрочное планирование и мониторинг. Министерство экономического развития РФ формирует рынок углеродных единиц, развивает инфраструктуру и создает инвестиционный климат для низкоуглеродных проектов. Энергетические компании адаптируют стратегии: разрабатывают проекты с технико-экономическим обоснованием, внедряют системы мониторинга выбросов (MRV) и корпоративные углеродные стратегии. Комплексный подход с распределением функций между государством и бизнесом обеспечивает переход к низкоуглеродной экономике на основе прозрачных и экологически ориентированных критериев.

**Степень достоверности результатов исследования** определяется совокупностью следующих факторов:

1. Результаты работы получены на основе применения общенаучных и специальных методов исследования, с использованием инструментария экономической теории и с опорой на труды отечественных и зарубежных ученых.

2. Эмпирическая база исследования сформирована на основе достоверных статистических данных из открытых источников, что обеспечивает корректность выводов и обобщений.

3. Основные положения и результаты исследования прошли апробацию: отражены в публикациях в рецензируемых научных изданиях и представлены в докладах на российских и международных научных конференциях, и семинарах, что подтверждает их научную обоснованность и практическую применимость.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Представленная диссертация выполнена в рамках научной специальности

5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика (экономика природопользования и землеустройства)» и соответствует положениям паспорта специальности, в частности:

- п.9.7 (разработка и совершенствование методов и методик экономической оценки и компенсации экологического ущерба).
- п.9.11 (экологическая политика; экономические механизмы стимулирования экологизации экономики и повышения эффективности природопользования).
- п.9.19 (вопросы противодействия климатическим изменениям; развитие «зеленой» и низкоуглеродной экономики).

#### **Апробация и достоверность результатов исследования**

Отдельные результаты и выводы диссертационной работы были внедрены в учебный процесс на кафедре экономики природопользования экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. По тематике диссертации опубликованы 5 статей в рецензируемых научных изданиях (общий объем – 5,35 п.л., авторский вклад – 4.8 п.л.), соответствующих требованиям п. 2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по экономическим наукам.

#### **Представление результатов на научных мероприятиях**

Результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях и научных форумах:

1. Международная научная конференция «Хачатуровские чтения-2022: Устойчивое развитие и национальные цели» (Москва, 2022).
2. Международная конференц-сессия «Государственное управление и развитие России: цивилизационные вызовы и национальные интересы», секция «Устойчивое развитие и ESG-повестка: подходы к реализации концепций развития общества» (Москва, 2023).
3. Международная ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения-2024», секция экономических наук «Человеческий и социальный капитал России: новые вызовы и возможности» (Москва, 2024).

4. Международная научная конференция «Хачатуровские чтения-2024: Реализация концепции устойчивого развития в условиях суверенизации России» (Москва, 2024).

5. Международная ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения-2025: Настоящее и будущее социально-экономического развития: потенциал ИИ и новые вызовы» (Москва, 2025).

6. IX Международный экономический симпозиум, приуроченный к 85-летию экономического факультета СПбГУ, секция «Устойчивое развитие: общество и экономика» (Санкт-Петербург, 2025).

7. IX Международная научная конференция консорциума журналов экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, 2025)

8. Международная научная конференц-сессия «Государственное экологическое благополучие регионов – основа устойчивого развития России» (Москва, 2025).

### **Структура диссертационной работы**

Научно-квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 209 источников. Диссертационное исследование изложено на 146 страницах основного текста и включает в себя 18 таблиц и 22 рисунка.

### **Структура работы выглядит следующим образом:**

#### **Введение**

### **ГЛАВА 1. Теоретико-методологические основы исследования эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии**

1.1. Эволюция концепции устойчивого развития и ее роль в современном обществе

1.2. Роль и место эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии в контексте перехода к устойчивому и низкоуглеродному развитию

1.3. Методы оценки эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии

## **ГЛАВА 2. Состояние и потенциал развития отрасли альтернативной энергетики в России**

2.1. Особенности институционального развития альтернативных источников энергии в России и проблемы устойчивой энергетической системы в условиях приоритетной поддержки развития ВИЭ

2.2. Региональное распределение объектов возобновляемой энергетики и технологические возможности, ограничения развития отрасли

2.3. Оценка перспективы развития альтернативных источников энергии в России

## **ГЛАВА 3. Анализ и оценка эколого-экономической эффективности развития альтернативной энергетики на примере Дальнего Востока**

3.1. Методология оценки эколого-экономической эффективности

3.2. Анализ проекта развития альтернативной энергетики на Дальнем Востоке

3.3. Направления совершенствования механизма регулирования развития энергетического комплекса с учетом обеспечения решения задачи устойчивого развития энергетического комплекса

Заключение

Список литературы

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность исследования эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии в контексте задач устойчивого развития и обеспечения надежности энергоснабжения. Определяются объект и предмет исследования, формулируются цель и задачи, описываются методологическая база (системный, комплексный, сравнительный и сценарный подходы) и информационная основа, сформированная на данных из открытых источников и нормативно-стратегических документов. Раскрываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, формулируются положения, выносимые на защиту, и приводится структура диссертации.

**Первая глава «Теоретико-методологические основы исследования эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии»** посвящена раскрытию теоретико-методологических основ оценки эколого-экономической эффективности альтернативной энергетики через призму концепции устойчивого развития и учета внешних эффектов. Систематизируются подходы и ключевые метрики оценки, включая анализ жизненного цикла, углеродный след и нормированную стоимость электроэнергии, а также обсуждаются ограничения монетизации экстерналий и выбора сопоставимых критериев. В результате формируется методический каркас исследования, который используется далее для анализа российской практики и для прикладных расчетов.

Во **второй главе «Состояние и потенциал развития отрасли альтернативной энергетики в России»** проводится комплексный анализ состояния и потенциала развития альтернативной энергетики в России с акцентом на институциональные механизмы и их эволюцию, включая инструменты стимулирования инвестиций и требования к локализации. Рассматриваются региональная структура размещения объектов ВИЭ, технологические ограничения интеграции в энергосистему и факторы, влияющие на инвестиционную привлекательность проектов, включая

инфраструктурные и ресурсные особенности. На этой основе обосновывается выбор Дальнего Востока как приоритетного объекта дальнейшей эмпирической оценки в условиях ожидаемых дефицитов мощности и электроэнергии.

**Третья глава «Анализ и оценка эколого-экономической эффективности развития альтернативной энергетики на примере Дальнего Востока»** содержит методологию и результаты оценки эколого-экономической эффективности вариантов развития генерации на примере энергосистемы Дальнего Востока. На основе полученных результатов предлагаются направления совершенствования регулирования и механизмов отбора инвестиционных проектов, включая усиление конкурентности и интеграцию экологических ограничений в контуры планирования и поддержки. **В исследовании раскрываются следующие положения, выносимые на защиту:**

1. По результатам оценки удельной стоимости новой электроэнергии в составе энергетического оборудования для Объединенной энергетической системы (ОЭС) Востока в трех сценариях стратегии развития энергетического рынка Дальнего Востока выявлено, что гибридный сценарий, объединяющий преимущества традиционных и альтернативных источников энергии, оказался наиболее экономически выгодным. Удельная стоимость новой электроэнергии в гибридном сценарии составила 12 689 руб./МВт·ч, что на 13% ниже, чем в альтернативном сценарии, где удельная стоимость электроэнергии составляет 14 612 руб./МВт·ч. Стоимость инвестиций на 21% ниже в гибридном, чем в альтернативном сценарии, при этом объем выработки новой электроэнергии одинаковый и составит 47 млрд кВт·ч. Предложенный расчет показывает, что гибридный сценарий дает наилучшее соотношение экономической выгоды и экологической эффективности, тем самым поддерживая рациональное использование ресурсов в рамках устойчивого развития. Снижение удельной стоимости электроэнергии и капитальных вложений делает чистую энергию более доступной, способствуя достижению целей энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 г.

В исследовании были проведены прогнозные расчеты в рамках трех возможных сценариев развития энергетического рынка: *гибридный сценарий*, предполагающий покрытие дефицита с помощью традиционных и альтернативных источников энергии (сценарий А); сценарий покрытия дефицита за счет традиционных источников генерации (сценарий Б). В этом случае новые АЭС и ВИЭ не вводятся, и альтернативный сценарий покрытия дефицита за счет возобновляемых источников энергии – ветровой (ВЭС) и солнечной (СЭС) (сценарий В). Более подробно см. рисунок 1.

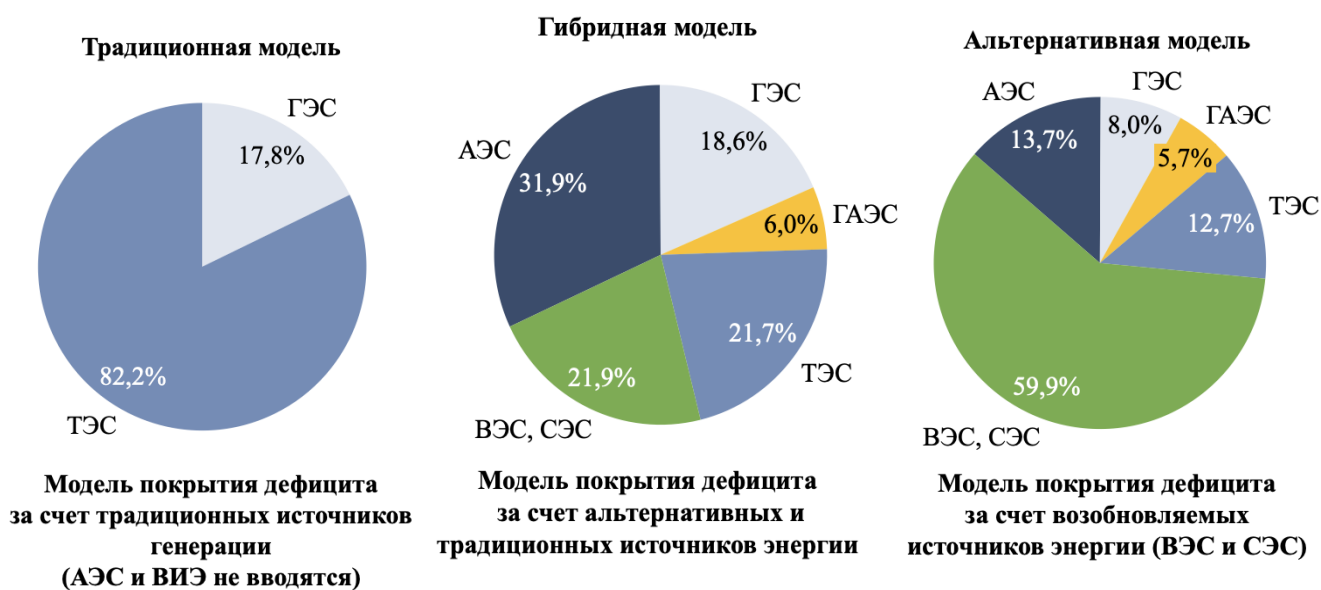


Рисунок 1 – Структура дополнительной установленной мощности электростанций ОЭС Восток к 2042 г.

Источник: составлено автором

Согласно балансу электрической энергии Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики<sup>1</sup>, к 2042 г. дополнительная выработка в ОЭС Восток должна достичь уровня не менее 35 млрд кВт·ч, чтобы покрыть потенциальный дефицит электроэнергии в регионе. Для предложенных сценариев выработка составит 45–47 млрд кВт·ч с учетом пиковых нагрузок (см. рисунок 2).

<sup>1</sup> Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2024 г. № 4153-р.

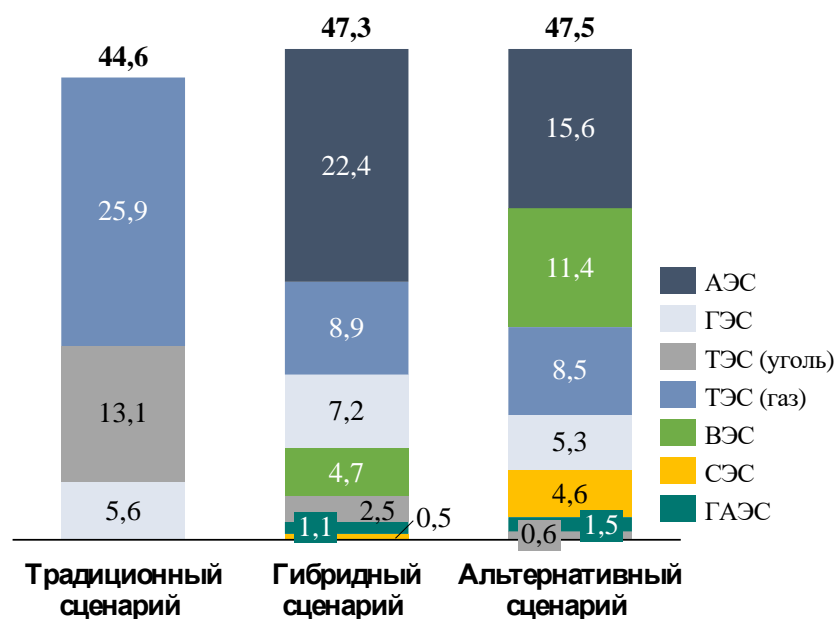


Рисунок 2 – Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч

Источник: составлено автором

В рамках нашего исследования с учетом международного опыта и специфики развития региональных энергетических систем России расчеты строились на основе использования метода чистой приведенной стоимости удельных затрат электроэнергии (LCOE). Использовалась следующая формула:

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

где  $I_t$  – инвестиционные затраты в год  $t$ ;  $M_t$  – операционные затраты и затраты на содержание в год  $t$ ;  $F_t$  – затраты на топливо в год  $t$ ;  $E_t$  – производство электроэнергии в год  $t$ ;  $r$  – ставка дисконтирования;  $n$  – жизненный цикл системы.

Преимуществом использования показателя LCOE является возможность учитывать себестоимость производства электричества и возмещения капитальных и операционных затрат на функционирование генерирующих объектов на протяжении всего их жизненного цикла – от проектирования и строительства объектов, периода их активной эксплуатации и до вывода объектов из производственного цикла.

Расчеты показали, что гибридный сценарий, объединяющий преимущества традиционных и возобновляемых источников энергии, оказался наиболее

перспективным и демонстрирующим лучшие экономические показатели. Удельная стоимость новой электроэнергии на 13% ниже, чем в сценарии состава оборудования в основном с возобновляемыми источниками энергии (альтернативный сценарий). Удельная стоимость электроэнергии в гибридном сценарии составила 12 689 руб./МВт·ч, а в альтернативном 14 612 руб./МВт·ч (рисунок 3).

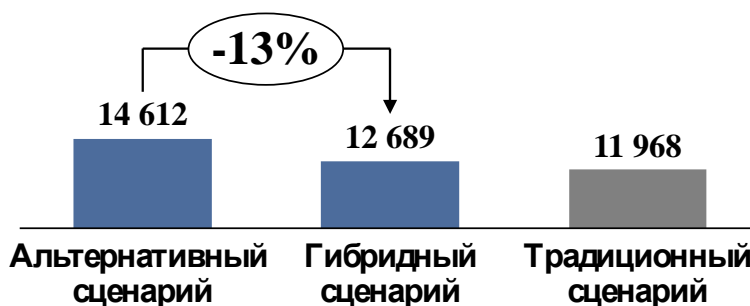


Рисунок 3 – LCOE, руб./МВт·ч

Источник: составлено автором

Вместе с тем стоимость инвестиций в гибридном сценарии на 21% ниже, чем в альтернативном сценарии, а прогнозируемый объем выработки новой электроэнергии равен 47,3 млрд кВт·ч (гибридный сценарий) и 47,5 млрд кВт·ч (альтернативный сценарий) – рисунок 4.

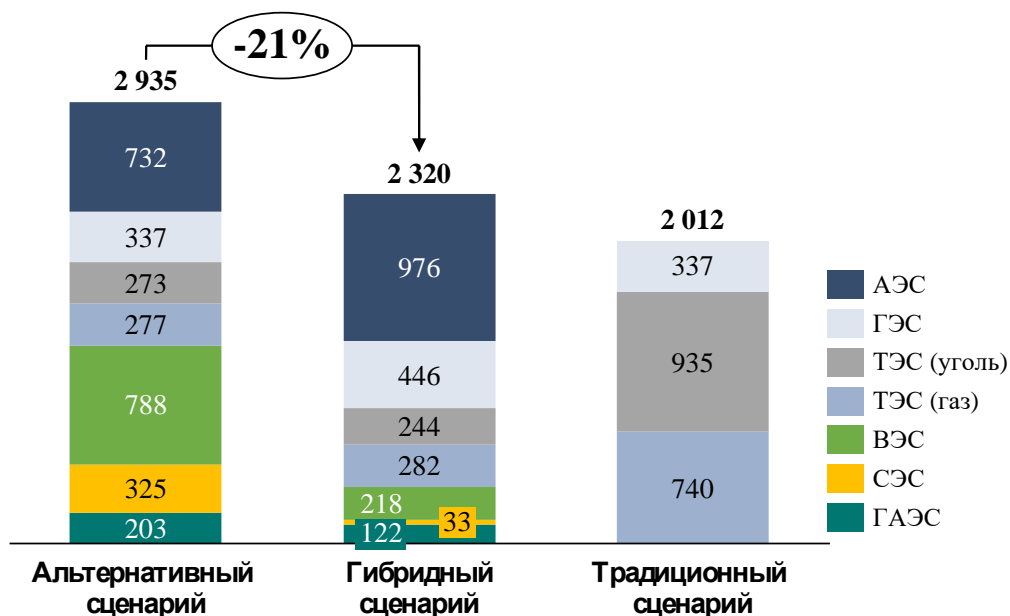


Рисунок 4 – Капитальные затраты на строительство дополнительного энергетического оборудования для ОЭС Восток в трех сценариях, млрд руб.

Источник: составлено автором

Быстрое удешевление технологий ВИЭ, таких как солнечные панели или ветряные турбины, переход на полностью «зелёную» энергосистему требует значительных инвестиций в инфраструктуру, решения для хранения энергии и перестройку энергетического рынка. Рассмотрим, почему поддержание исключительно ВИЭ в энергетическом балансе может быть дорогостоящим. Без развитых систем хранения энергии или дополнительных резервных генераторов, таких как газовые или атомные электростанции, полная зависимость от возобновляемых источников может привести к частым перебоям в энергоснабжении и ставить под угрозу надёжность энергосистемы, что дорого обходится экономике. Системы, полностью основанные на ВИЭ, сталкиваются с проблемой обеспечения стабильного энергоснабжения из-за переменной природы источников солнечной и ветровой энергии. Производство за счет традиционных источников энергии все еще остается наиболее экономически эффективным (11 968 руб./МВт·ч) как для потребителей, так и для экономики в целом, но при условии игнорирования экологических последствий традиционной угольной электрогенерации (см. рисунок 3).

Замещение за счет альтернативных источников энергии является самым дорогим из всех типов генерации, это обусловлено дополнительными расходами для потребителей на строительство инфраструктуры и балансирующих мощностей, чтобы компенсировать колебания производства электроэнергии за счет АИЭ. Несмотря на экологическую пользу АИЭ, их высокая стоимость и сложность интеграции в энергосистему могут создавать барьеры для достижения ключевых национальных целей России, если не будут решены вопросы экономической эффективности и технологического развития.

2. Проведенная эколого-экономическая оценка развития энергетического комплекса на Дальнем Востоке выявила, что различие в прогнозных объемах потенциальных дополнительных эмиссий загрязняющих веществ и их стоимости между гибридным и альтернативным сценариями составляет 6%. Данная величина расхождения воздействия на атмосферный воздух невелика, особенно при сопоставлении с существенно более выраженными различиями в объемах

требуемых капиталовложений для реализации каждого из рассматриваемых сценариев. В альтернативном сценарии удельная стоимость капиталовложений составила 2935 млрд руб., а в гибридном сценарии – 2320 млрд руб. В результате при прочих равных условиях и сфокусированном анализе исключительно на приросте эмиссий выбор между указанными сценариями не демонстрирует кардинальных преимуществ одного над другим в экологическом аспекте, что позволяет предположить бóльшую значимость экономических факторов, в частности объема инвестиций, при принятии стратегических решений о векторе развития энергетики региона, не опасаясь существенного непропорционального увеличения экологической нагрузки по данному показателю.

Ввод в энергобаланс оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии, как минимум предполагает снижение риска уплаты углеродного налога. А при полном расчете всех экологических и социальных эффектов должны учитываться снижение заболеваемости населения за счет сокращения выбросов загрязняющих веществ и улучшения экологической ситуации; снижение ущерба лесным массивам и биоразнообразию; эффекты от улучшения качества почв, не подверженных негативному воздействию выбросов; уменьшение потерь, связанных с ускоренным износом конструкций (воздействие кислотных дождей), и т.д.

В исследовании экологические эффекты оценивались на базе учета денежной оценки выбросов CO<sub>2</sub> как наиболее востребованного и признанного в современных условиях метода оценки эффектов развития альтернативной энергетики. В каждом из сценариев определялись потенциальные объемы выбросов CO<sub>2</sub> (рисунок 5), и результаты оценки были переведены в денежный эквивалент.

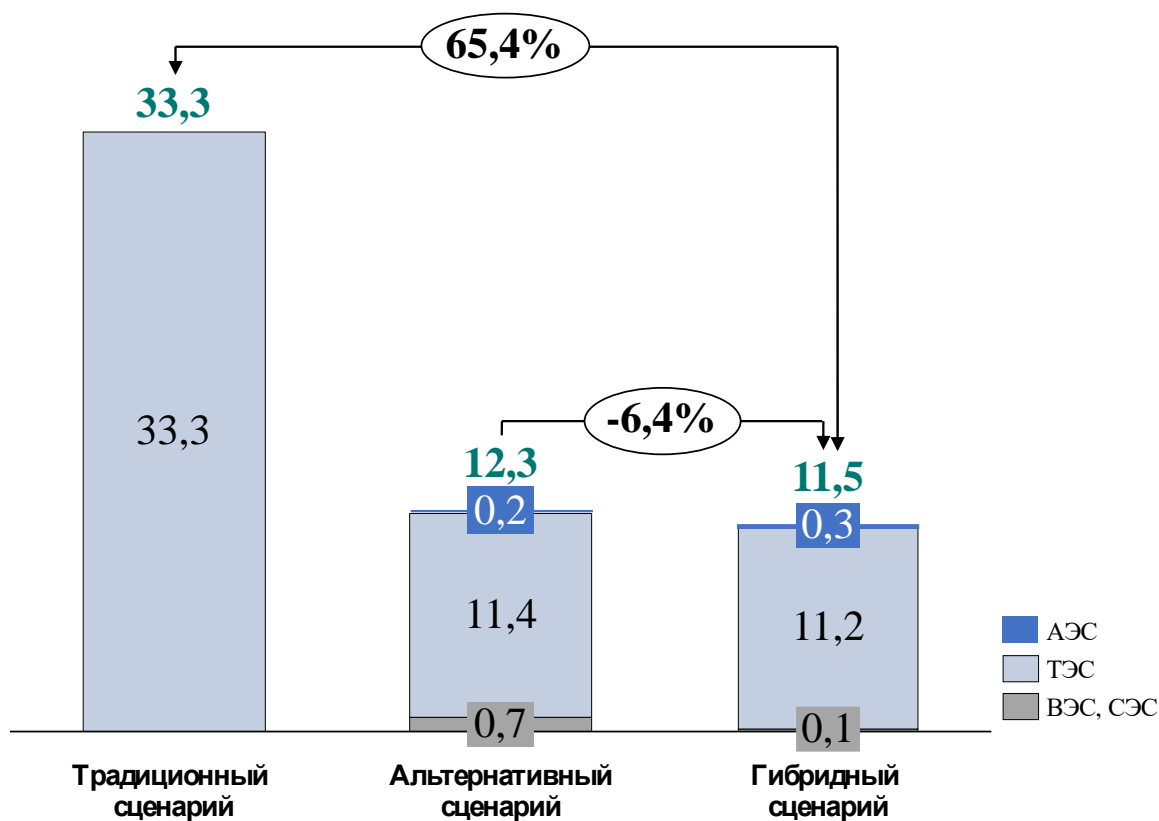


Рисунок 5 – Ежегодный объем выбросов новых объектов генерации в 3 сценариях, млн т\*

\*Выбросы CO<sub>2</sub> от гидроэлектростанций (ГЭС) являются минимальными, поэтому в исследовании принимается допущение и выбросы от ГЭС приравнены к 0.

Источник: составлено автором

Основные подходы к эколого-экономической оценке включают использование углеродного налога<sup>2</sup> (carbon tax) или системы торговли выбросами<sup>3</sup> (emissions trading system, ETS). Углеродный налог предполагает фиксированную ставку за каждую тонну выбросов CO<sub>2</sub>, что создаёт предсказуемую ценовую нагрузку для эмитентов. Система торговли выбросами, напротив, основывается на рыночном механизме распределения квот, при котором цена на выбросы формируется в результате спроса и предложения. Оба инструмента направлены на стимулирование снижения углеродоёмкости производства, однако их фискальные и экономические последствия различаются. Результаты расчетов эколого-экономической эффективности представлены на рисунке 6.

<sup>2</sup> World Bank Group – State and Trends of Carbon Pricing (ежегодный доклад, 2021, 2022, 2023).

<sup>3</sup> European Commission (2021). EU ETS Handbook.

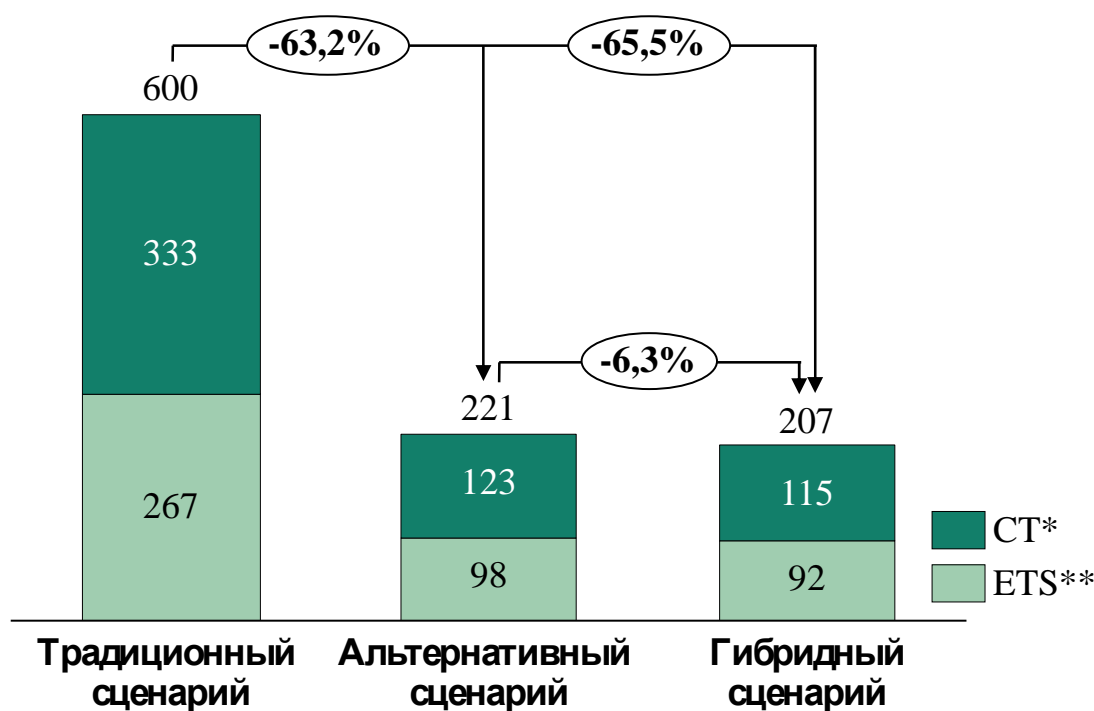


Рисунок 6 – Эколого-экономическая оценка выбросов CO<sub>2</sub> с помощью механизмов применения углеродного налога и торговли квотами на выбросы

Источник: составлено автором

В рамках проведённого исследования был оценён фискальный эффект для национальной экономики, возникающий в результате выбросов от объектов новой генерации, в трёх различных сценариях развития энергетического сектора. С одной стороны, рассчитан потенциальный объём поступлений от налога на выбросы CO<sub>2</sub> в федеральный бюджет, что позволяет оценить фискальную нагрузку на предприятия и возможные бюджетные доходы. С другой стороны, при применении механизма торговли квотами на выбросы формируется дополнительная стоимость квот, обращающихся на соответствующем рынке, что создаёт экономические стимулы для модернизации производственных мощностей и внедрения низкоуглеродных технологий.

Также была проведена оценка экономического ущерба, связанного с выпуском одной дополнительной тонны CO<sub>2</sub> в атмосферу по методу оценки социальной стоимости углерода (Social Cost of Carbon, SCC) (рисунок 7). SCC учитывает влияние CO<sub>2</sub> на изменение климата, экономику, здоровье, сельское хозяйство и экосистемы. Социальная стоимость углерода оценивает долгосрочный ущерб от выбросов CO<sub>2</sub>, включая экономические последствия

изменения климата. В зависимости от модели и страны SCC может варьироваться от \$40 до \$100 за тонну выбросов CO<sub>2</sub>.

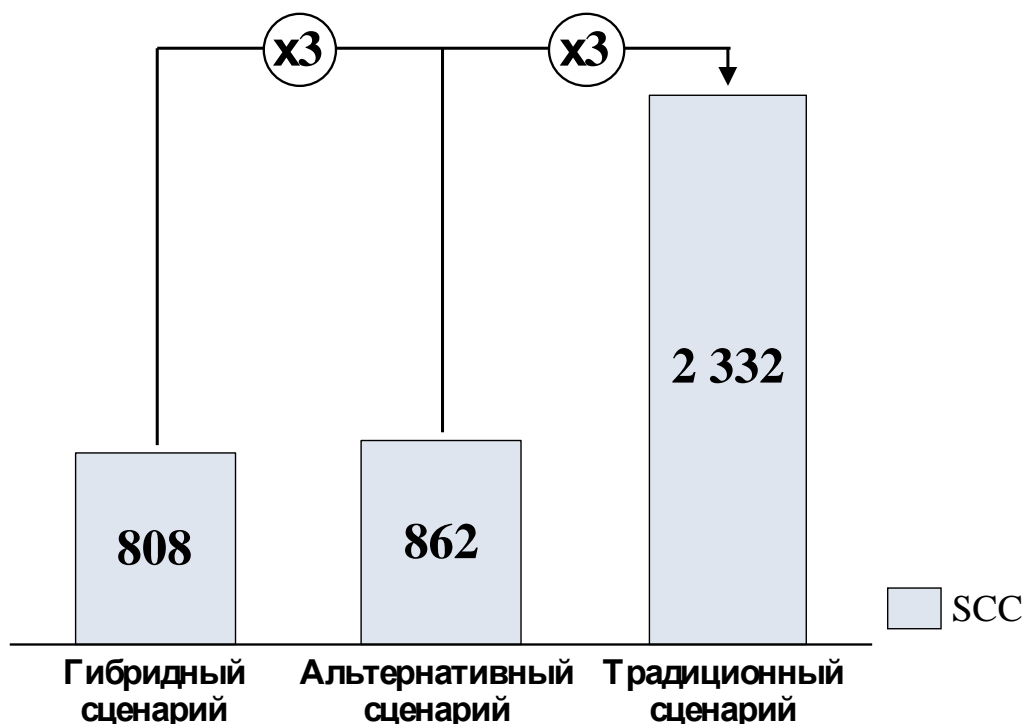


Рисунок 7 – Оценка долгосрочных экологических и экономических последствий изменения климата – социальная стоимость углерода (Social Cost of Carbon, SCC)

Источник: составлено автором

Расчеты показали, что при прочих равных условиях и сфокусированном анализе исключительно на приросте эмиссий выбор между гибридным сценарием, предполагающим покрытие дефицита с помощью традиционных и альтернативных источников энергии (сценарий А) и альтернативным сценарием покрытия дефицита за счет возобновляемых источников энергии – ВЭС и СЭС (сценарий В) не демонстрирует кардинальных преимуществ одного над другим, что позволяет предположить большую значимость экономических факторов, в частности, объема инвестиций, при принятии стратегических решений о векторе развития энергетики региона, не опасаясь существенного непропорционального увеличения экологической нагрузки по данному показателю. Сценарий покрытия дефицита за счет традиционных источников генерации (сценарий Б) при отсутствии внедрения новых технологий, в частности, использования

высококачественных угольных фильтров, по экологическим параметрам оказывается наименее предпочтительным.

3. На фоне прогнозируемого к 2030 г. дефицита мощности с наиболее существенной нехваткой электроэнергии в ОЭС Восток до 10–12% ежегодно недостатки действующего механизма отбора проектов становятся критическим препятствием для перехода к низкоуглеродной экономике. Существующие механизмы отбора инвестиционных проектов в электроэнергетике характеризуются рядом недостатков. Во-первых, применение строго квотируемого подхода и отсутствие прямой ценовой состязательности между различными технологиями генерации снижают экономические стимулы к оптимизации капитальных вложений. Во-вторых, приоритеты при распределении новых мощностей зачастую определяются задачами смежного машиностроительного сектора, а не фактическими потребностями региональных энергосистем. В-третьих, программы поддержки гидро- и атомной генерации реализуются вне конкурентных процедур, что ограничивает предпосылки для снижения удельных затрат. В-четвертых, высокая капиталоемкость данных технологий затрудняет их прямое ценовое сопоставление с тепловой генерацией и возобновляемыми источниками энергии в рамках действующих рыночных моделей. В-пятых, сложившаяся система отбора способствует консервации существующей структуры генерирующих активов, ограничивающей потенциал снижения конечной цены на электроэнергию. Все вышеперечисленные факторы создают барьеры для адаптации отрасли к нарастающим глобальным климатическим требованиям. На основе этого предложен новый механизм привлечения инвестиций.

В связи с возникновением проблемы дефицита электроэнергии, особенно регионов Дальнего Востока, возникает вопрос о выборе оптимальной стратегии строительства новых энергообъектов: наращивания генерирующих мощностей, где в качестве альтернативных путей рассматриваются комбинированное строительство объектов возобновляемой и атомной энергетики либо

техническое перевооружение действующего парка угольных электростанций с ориентацией на местные топливные ресурсы.

Существующие механизмы отбора инвестиционных проектов в электроэнергетике характеризуется рядом недостатков. Указанные системные недостатки формируют существенные риски для обеспечения энергетической безопасности государства и создают барьеры на пути устойчивого развития национальной экономики, что более подробно показывает таблица 1.

*Таблица 1 – Основные недостатки текущих механизмов привлечения инвестиций для альтернативной генерации*

<b>Наименования меры стимулирования инвестирования</b>	<b>Описание основных недостатков механизма возврата инвестиций</b>
<i>Альтернативная генерация (ВИЭ, АЭС, ГЭС)</i>	
<b>Договор о предоставлении мощности для возобновляемых источников энергии (ДПМ ВИЭ)*</b>	<p>Объем вводимых генерирующих мощностей определяется установленными квотами для конкретных технологий (ВИЭ), что исключает возможность их экономического соревнования на основе стоимости электроэнергии или интегральной эффективности.</p> <p>Отбор проектов осуществляется не на основе актуальных потребностей в обеспечении надежности электроснабжения регионов или энергосистемы в целом, а исходя из целевых показателей развития национального машиностроительного комплекса. Это подменяет энергетические приоритеты задачами промышленной политики</p>
<b>Договор о предоставлении мощности для (ДПМ АЭС/ГЭС)</b>	<p>Реализация проектов в атомной и гидроэнергетике осуществляется вне конкурентных процедур (таких как ДПМ для ТЭС или ВИЭ). Это устраняет для поставщиков оборудования и генерирующих компаний стимулы к оптимизации и снижению капитальных (CAPEX) и операционных (OPEX) затрат. Из-за высокого уровня инвестиций ГЭС и АЭС не могут конкурировать с проектами ТЭС и ВИЭ.</p> <p>Высокая капиталоемкость проектов АЭС и ГЭС в сочетании с отсутствием конкурентного отбора делает такие проекты экономически неконкурентоспособными по сравнению с проектами тепловой генерации (ТЭС) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) при прочих равных условиях</p>
<b>Договор о предоставлении мощности в неценовой зоне (ДПМ НЦЗ до 01.01.2025 г.)</b>	Отсутствует конкуренция между участниками конкурса и технологиями из-за внеконкурсного условия в связи с территориальным расположением проектов в неценовой зоне, то есть вне рынка электроэнергетики

*Источник: составлено автором*

Одна из особенностей дальневосточного региона – суровые климатические условия почти на всей территории региона. В качестве энергетической стратегии развития этих территорий целесообразно рассматривать внедрение гибридных моделей: комбинированных систем, в которых альтернативные источники энергии сочетаются с балансирующими мощностями (например, малыми ГЭС, газовыми ТЭЦ) или с накопителями энергии. Поэтому, если государственные программы в этих регионах будут направлены на поддержку строительства объектов альтернативной энергетики, их следует дополнять мерами по развитию систем накопления и балансирующих источников, обеспечивающих надёжность энергоснабжения. В совокупности эти меры смогут не только ускорить развитие возобновляемой энергетики и дать мощный импульс устойчивому развитию Дальнего Востока, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду и устранить энергетическую уязвимость региона.

Однако на практике в силу дефицита новых технологий, инвестиционных ресурсов, опыта работы с новыми технологиями, наличия собственных доступных местных запасов угля и значительной занятости населения в угледобывающей промышленности, а также некоторых особенностей организационно-экономического механизма управления энергетическим комплексом при решении вопроса об увеличении мощностей энергетической системы, предпочтение нередко отдаётся энергетическим объектам, работающим на традиционном углеводородом топливе и нередко на местном буром высокосернистом угле. Все вышеперечисленные факторы создают барьеры для адаптации отрасли к нарастающим глобальным климатическим требованиям и эффективному внедрению альтернативной генерации. С учётом экологической небезопасности угольных ТЭЦ и ТЭС, а также тренда к ускоренному развитию возобновляемой энергетики, обеспечивающей конкурентные преимущества в будущем, авторами предлагается ряд рекомендаций в области совершенствования организационно-экономического механизма управления.

Ситуацию может изменить корректировка механизма привлечения инвестиций. Важно внедрение следующих мер:

- регулярная процедура проведения конкурса для инвестиционных проектов, один раз в несколько лет под перспективный спрос электроэнергии в регионах РФ;

- планомерное развитие машиностроительной отрасли и энерго–строительных организаций;

- стабильные условия конкурса, понятные правила определения спроса и предложения позволят привлечь большее число заявок на конкурс привлечения инвестиций;

- отбор только конкурентоспособных имеющихся на рынке энергетики генерирующих объектов;

- определение объема новых мощностей спросом энергосистемы, а не искусственной квотой;

- учет наличия мощности, обеспечивающей регулирование, проекты ВИЭ при этом условии будут реализовываться в регионах с достаточным объемом регуляции;

- обеспечение конкуренции проектов ВИЭ с другими технологиями.

4. Для устранения недостатков текущих инструментов привлечения инвестиций в энергетику предлагается новый механизм конкурсного отбора проектов для энергетической отрасли, который объединит преимущества уже действующих механизмов возврата инвестиций с введением экологических ограничений и интеграцией площадки по торговле углеродными единицами. Ключевым элементом такого подхода станет монетизация экологического воздействия, в частности, через учет потенциального влияния углеродных налогов или введение явной платы за выбросы. Это позволит сделать стоимость эмиссии парниковых газов весомым экономическим параметром при отборе проектов. В конкурсе смогут участвовать как уже существующие электростанции, так и новые проекты по строительству энергетических объектов. В ходе отбора инвестиционных проектов должен быть определен

наиболее экологически и экономически эффективный способ покрытия спроса электроэнергии.

Целевая функция механизма конкурсного отбора — минимизация совокупных приведённых затрат на энергоснабжение, включающих дисконтированные капитальные вложения, операционные издержки на топливо и обслуживание, а также плату за эмиссию парниковых газов (углеродный налог или стоимость квот). Это интернализирует экологические экстерналии: выбросы CO<sub>2</sub> становятся явным элементом затрат, стимулируя выбор низкоуглеродных технологий. Проекты с низкими топливными расходами, но высокими выбросами, могут уступить более дорогим, но чистым решениям. Единая метрика позволяет объективно ранжировать технологии — от угольной генерации до ВИЭ и атомной энергетики. Инвестиции переориентируются на экологически безопасные проекты, а механизм создаёт стимулы для внедрения CCS и повышения энергоэффективности, так как сокращение выбросов снижает совокупные затраты. Таким образом, целевая функция обеспечивает надёжное энергоснабжение, экономическую эффективность и декарбонизацию. Такой подход учитывает полный жизненный цикл проектов, делая процесс отбора прозрачным и объективным, а итоговые тарифы — обоснованными и сбалансированными для потребителей (см. рисунок 8). Кроме того, методика позволяет сравнивать разнородные проекты на единой основе, минимизируя субъективные оценки, и даёт регулятору гибкий инструмент для долгосрочного планирования энергобаланса с учётом экологических приоритетов и повышая прозрачность принимаемых решений.

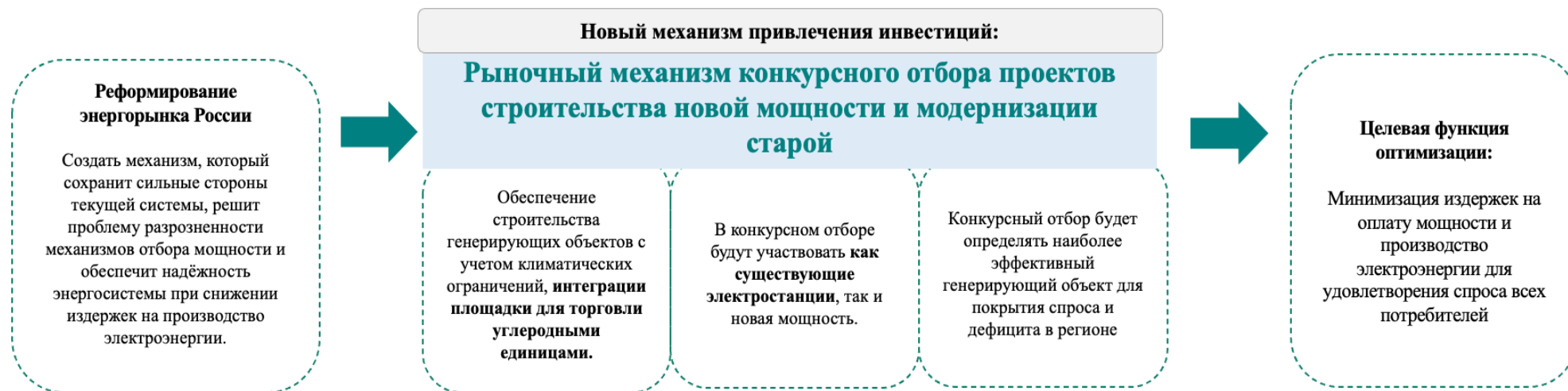


Рисунок 8 - Схема нового механизма привлечения инвестиций

Источник: составлено автором

5. Подготовлены практические рекомендации для интеграции механизма в энергетический рынок, предполагающий скоординированные действия государственных регуляторов и участников рынка. Ключевая роль отводится Министерству энергетики в части создания нормативно-правовой базы для конкурсного отбора проектов, основанного на критериях эффективности и минимизации углеродного следа, а также в долгосрочном планировании и мониторинге. Параллельно Министерство экономического развития должно обеспечить формирование и функционирование рынка углеродных единиц, включая его инфраструктуру и регуляторные основы, и создавать благоприятный инвестиционный климат. Со стороны энергетических компаний требуется адаптация стратегий: разработка конкурентоспособных низкоуглеродных проектов с соответствующим технико-экономическим обоснованием и интеграция в углеродный рынок через внедрение систем мониторинга выбросов (Measurement, Reporting, and Verification, MRV – Измерение, отчетность и верификация) и разработку корпоративных углеродных стратегий. Такой комплексный подход обеспечит переход к низкоуглеродной экономике и стимулирование «зеленой модернизации» отрасли на основе прозрачных и экономически обоснованных критериев.

**Рекомендации для участников реализации нового механизма привлечения инвестиций:**

**Для Министерства энергетики**

1. Подготовка нормативно-правовой базы: разработка критериев конкурсного отбора (1. Параметры эколого-экономической эффективности. 2. Расчет нового объема выбросов CO<sub>2</sub> для проекта. 3. Описание новых технологий, применяемых в проекте).

1.1 Формулирование технических требований к проектам (технические требования к проектам должны быть ориентированы на стимулирование развития устойчивой экономики и обеспечение снижения углеродного следа).

1.2 Регламентация интеграции с рынком углеродных единиц (разработать порядок учета и верификации сокращения выбросов, внедрить механизмы монетизации углеродных единиц через участие в национальном и международном рынках квот).

1.3 Стимулирование проектов, направленных на поглощение углерода (например, через лесовосстановление или создание углеродных ферм в рамках комплексных инициатив).

1.4 Определение правил и процедур прозрачного конкурсного отбора (например, публикация критериев оценки и их весовых коэффициентов: 40% – эколого-экономическая эффективность, 30% – инновационность технологий, 20% – снижение выбросов CO<sub>2</sub>, 10% – социальный эффект).

2. Планирование и координация: долгосрочное планирование с учетом климатических целей.

2.1 Определение энергодефицитных регионов России и их основных проблем (например, недостаточная мощность сетей, высокая стоимость подключения или низкая доступность традиционных источников энергии).

2.2 Координация с АО «Системный оператор Единой энергетической системы».

2.3 Создание экспертной комиссии для оценки заявок.

3. Мониторинг и контроль: контроль реализации проектов-победителей.

### **Для Министерства экономического развития**

1. Создание и функционирование рынка углеродных единиц: разработка нормативно-правовой базы для углеродного рынка (эмиссия, верификация, обращение).

1.1 Формирование инфраструктуры рынка (для обеспечения эффективного функционирования рынка углеродных единиц необходимо создание соответствующей инфраструктуры: платформа, реестр).

1.2 Стимулирование спроса и предложения (возможный углеродный налог/квоты).

2. Формирование благоприятного инвестиционного климата: снижение административных барьеров.

3. Привлечение инвестиций и «зеленых технологий».

#### **Для энергетических компаний (инвесторов)**

1. Разработка конкурентоспособных проектов.

1.1 Технико-экономическое обоснование (ТЭО) с учетом новых требований (экономика, климат, выбросы).

1.2 Инвестиции в низкоуглеродные и высокоэффективные технологии.

2. Адаптация к рынку углеродных единиц.

2.1 Разработка корпоративных углеродных стратегий.

2.2 Внедрение систем мониторинга выбросов (MRV).

2.3 Участие в торгах углеродными единицами.

Исследование позволило предложить ряд рекомендаций по совершенствованию системы управления и привлечения инвестиций в энергетический комплекс. К числу ключевых мер, необходимых для успешного функционирования электроэнергетики, относятся: регулярное проведение конкурсов новых энергетических объектов; взаимоувязанное развитие энергетики и энергомашиностроительного комплексов, поскольку именно машиностроение сегодня определяет возможности, границы и успешность развития электроэнергетики любой страны; совершенствование механизма конкурсного отбора проектов для энергетической отрасли и др.

В ближайшие годы проблемы управления электроэнергетикой будут в центре внимания российских и зарубежных ученых. Результаты расчетов еще раз подчеркивают важность и перспективность дальнейших исследований эколого-экономических аспектов развития энергетических систем.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижение целей устойчивого развития невозможно без создания эффективной энергетической системы. Население и промышленные предприятия должны получать недорогую и надежную в поставках электроэнергию, а выработка электроэнергии не должна сопровождаться значительными нагрузками на окружающую среду, в частности необходимо стремиться к сокращению углеродного следа. Перед нашей страной стоит задача развития энергетической системы в соответствии с принципами устойчивого развития. В прошлое десятилетие при создании новых объектов энергетики ставился акцент на создании объектов ВИЭ. Однако в условиях технологических ограничений, вызванных санкциями, и с учетом необходимости обеспечения надежности работы энергетики и соблюдения баланса между достижением социальных, экономических и экологических целей становится приоритетным обеспечение обоснованного баланса между различными альтернативными источниками электрогенерации.

Проведенное исследование эколого-экономической эффективности объектов энергетики показало, что современные исследования акцентируют внимание не только на положительных, но и на отрицательных последствиях развития возобновляемой энергетики. В ряде случаев объекты ВИЭ являются источниками отрицательных экстерналий, связанных с отчуждением значительных земельных площадей, переносом загрязнения на другие территории и др.

В исследовании было обращено особое внимание на экологические эффекты строительства альтернативных источников энергии, а также на финансовые результаты реализации этих проектов. Важно было сравнить капитальные расходы на реализацию проектов, в связи с тем, что энергетическая отрасль испытывает колоссальную финансовую нагрузку из-за высоких ставок инвестиционного кредитования и одновременно нуждается

в инициации нового инвестиционного цикла (по данным Генеральной схемы, недофинансирование отрасли составляет 42 трлн. руб. к 2042 году).

В качестве эмпирического исследования выбран макрорегион Дальний Восток. Этот регион уже столкнулся с дефицитом электроэнергии и спрос на электроэнергию будет продолжать опережать предложение. Было рассмотрено три основных сценария строительства в регионе энергетических объектов с учетом необходимости решения задачи полного покрытия потенциального дефицита электроэнергии. В результате расчетов было доказано, что гибридная энергетическая модель, сочетающая традиционные и альтернативные источники энергии, оказывается наиболее реалистичной. Расчеты показали, что в этом сценарии достигается наилучший баланс между экологической и экономической эффективностью. Стоимость электроэнергии (LCOE) в гибридной модели составляет 12,5 тыс.руб./МВт·ч, что существенно ниже, чем в сценарии с полностью возобновляемыми источниками энергии (14,6 тыс.руб./МВт·ч). С экологической точки зрения гибридная модель позволяет свести выбросы CO<sub>2</sub> к минимальным значениям. Однако реализация стратегии гибридной модели развития энергетического комплекса региона сталкивается с рядом барьеров. В первую очередь – это слабые инвестиционные стимулы. В исследовании были показаны основные барьеры, препятствующие трансформации энергетического комплекса с учетом требований устойчивого развития и предложен новый улучшенный механизм с интеграцией экологической составляющей в оценку проектов при принятии решений о выборе энергетического оборудования. Такой подход позволит более эффективно справляться с вызовами в достижении цели создания устойчивой энергетики.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

**Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук:**

1. Сергеева С.А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. – 2024. – Т.60, № 4. – С. 148-153. EDN: UVCNTF. Импакт-фактор 0,534 (РИНЦ). 0,85 п.л.

2. Сергеева С.А. Эколого-экономическая эффективность использования технологии «Термококс» // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 1. – С. 393-396. EDN: BGZXHF. Импакт-фактор 0,803 (РИНЦ). 0,8 п.л.

3. Сергеева С.А., Крылов Е.В. Оценка эффективности строительства возобновляемых источников энергии на Дальнем Востоке // Экономика устойчивого развития. – 2025. – Т.61, № 1. С. 354-358. EDN: HPWWIO. Импакт-фактор 0,534 (РИНЦ). 0,8 из 1,1 п.л.

4. Сергеева С.А. Влияние «зеленой» цифровизации на экономическую эффективность проектов ВИЭ // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 2. – С. 386-390. EDN: KfvXXI. Импакт-фактор 0,803 (РИНЦ). 0,85 п.л.

5. Маликова О.И. Сергеева С.А. Управление развитием альтернативной энергетики в регионах Дальнего Востока // Управленческие науки. – 2025. – Т.15, № 4. – С. 6-19. EDN: VETABZ. Импакт-фактор 2,452 (РИНЦ). 1,5 из 1,75 п.л.