

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Сергеева Софья Александровна

**Эколого-экономическая эффективность альтернативных
источников энергии**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
д.э.н., профессор Маликова Ольга Игоревна

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	3
<i>ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ</i> ...	15
<i>1.1. Эволюция концепции устойчивого развития и её роль в современном обществе</i>	15
<i>1.2. Роль и место эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии в контексте перехода к устойчивому и низкоуглеродному развитию</i>	22
<i>1.3. Методы оценки эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии</i>	32
<i>ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ</i>	43
<i>2.1. Особенности институционального развития альтернативных источников энергии в России и проблемы устойчивой энергетической системы в условиях приоритетной поддержки развития ВИЭ</i>	43
<i>2.2. Региональное распределение объектов возобновляемой энергетики и технологические возможности, ограничения развития отрасли</i>	56
<i>2.3. Оценка перспективы развития альтернативных источников энергии в России</i>	66
<i>ГЛАВА 3. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА</i>	78
<i>3.1. Методология оценки эколого-экономической эффективности</i>	79
<i>3.2. Анализ проекта развития альтернативной энергетики на Дальнем Востоке</i>	92
<i>3.3. Направления совершенствования механизма регулирования развития энергетического комплекса с учётом обеспечения решения задачи устойчивого развития энергетического комплекса</i>	101
<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	120
<i>Список литературы</i>	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Обеспечение высоких темпов экономического роста в России и конкурентоспособности национальной экономики невозможно без развитой электроэнергетики. Современная энергетика должна не только гарантировать надёжный 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. Её 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 учётом 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 «зелёной» 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. Ховавко, 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 «зелёной» 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, посвящённых 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 учёт 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 «зелёной» энергией (X. Zhang и соавт.). Вопросы неопределённостей 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, и (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 учётом 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 учётом 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 объём выбросов CO₂ 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 расчёта чистой приведенной стоимости удельных затрат электроэнергии (Levelized Cost of Energy, LCOE) с учётом особенностей структуры энергетики России путём оценки удельных затрат всей энергетической системы на производство новой электроэнергии в трёх различных сценариях, показывающих рентабельный объём 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 объёма выбросов CO₂ от строительства новых объектов генерации для покрытия потенциальных дефицитов в энергетическом балансе страны, проведена их эколого-экономическая оценка в трёх 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. Всё 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, путём 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 примененные 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 «зелёной» 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, трёх глав, заключения и списка литературы, включающего 209 источников. Диссертационное исследование изложено на 148 страницах основного текста и включает в себя 18 таблиц и 22 рисунка.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

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

Концепция устойчивого развития — одна из ключевых идей XXI в., позволяющая гармонизировать взаимоотношения человека, общества и окружающей среды. Нравственные ориентиры, заложенные в эту концепцию, предполагают соблюдение баланса между экономическим ростом и сохранением природы. Однако природные блага часто не имеют рыночной оценки и соответственно не в полной мере учитываются при принятии экономических решений.

Интеграция экологической оценки в экономическую оценку была сложным и постепенным процессом, который набирал силу во второй половине XX в. и продолжается до сих пор^{1 2}. Активная фаза добавления экологической оценки к экономической началась примерно с 1970-х годов^{3 4}, подкреплённая концептуально в 1980-х гг. идеей устойчивого развития, и продолжает развиваться и углубляться по сей день^{5 6}. Это не одномоментное событие, а эволюционный процесс, движимый научными открытиями, общественным давлением и политической волей. Степень интеграции до сих пор сильно варьируется в разных странах и секторах экономики.

До 1960-х годов экономическая мысль в основном рассматривала природные ресурсы как «бесплатный дар природы» или как бесконечный источник. Экологические последствия экономической деятельности практически не учитывались, за исключением отдельных случаев явного истощения ресурсов (например, лесов, рыбных запасов) или локального загрязнения.

¹ Daly H.E. Steady-State Economics. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.

² Ward, B., Dubos, R. Only One Earth: The Care and Maintenance of a Small Planet. Report for the United Nations Conference on the Human Environment. W.W. Norton & Company, 1972.

³ Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecological Systems, 1973.

⁴ Martinez-Alie J. Haciendas, plantations, and collective farms: agrarian class societies, Cuba and Peru. F. Cass, London. 1977

⁵ Медоуз Д. Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Беренс В. Б. Пределы роста. М.: Изд-во Московского университета, 1991.

⁶ Small is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered. Ernst Friedrich Schumacher. URL: https://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5110/small_is_beautiful.pdf (дата обращения: 05.03.2023)

В результате экономисты начали активнее применять концепцию внешних эффектов (экстерналий) для описания экологического ущерба, который не отражается в рыночных ценах (например, загрязнение воздуха от завода). Возникла необходимость их «интернализации» — включения в экономические расчёты. Термин «экстерналии» (или «внешние эффекты») в экономическую теорию был введён и популяризирован британским экономистом Артуром Сесилом Пигу (Arthur Cecil Pigou).

Хотя концептуальные основы идеи о том, что экономическая деятельность одних агентов может влиять на благосостояние других без соответствующей компенсации, можно проследить и ранее, например, у Альфреда Маршалла (Alfred Marshall), который говорил о «внешних экономиях» и «внешних дизэкономиях», именно Пигу в своей фундаментальной работе «Экономическая теория благосостояния» (The Economics of Welfare, 1920) систематизировал это понятие.

Первое упоминание о **концепции устойчивого развития** в рамках ООН было сделано в 1972 г. на Стокгольмской конференции⁷ по окружающей среде. На международном уровне эта конференция впервые привлекла внимание к экологическим проблемам и необходимости их исследования. На ней была принята Декларация Стокгольма о человеческой среде⁸. Документ подчёркивает следующее:

1. Необходимость устойчивого развития, которое предполагает сбалансированное сочетание экономического роста и охраны окружающей среды.
2. Важность интеграции экологических внешних эффектов в экономические структуры, что требует учёта истинной стоимости природных ресурсов.
3. Необходимость инвестиций в устойчивые технологии для обеспечения сохранения экосистем и биологического разнообразия, что подразумевает социальное благосостояние и экономическое процветание.

⁷ United Nations Conference on the Human Environment (Конференция ООН по окружающей среде). URL: <https://www.law.uchicago.edu/lawecon/coaseinmemoriam/problemofsocialcost>. (дата обращения: 25.11.2024).

⁸ Декларация Стокгольма о человеческой среде. Документ Конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, 5–16 июня 1972 г.). URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N72/307/42/PDF/N7230742.pdf?OpenElement> (дата обращения: 25.11.2024).

4. Значимость международного сотрудничества, как основополагающего фактора в достижении цели эффективного управления природными ресурсами.

Впервые понятие «устойчивое развитие» было упомянуто норвежским политическим деятелем Гру Харлем Брутлан в докладе под названием «Наше общее будущее» в 1987 году. Доклад стал ключевым документом, который систематизировал основные определения, принципы устойчивого развития и идеи об устойчивом развитии, которые мы привыкли понимать сегодня. Вот ряд главных идей: 1) «удовлетворять потребности настоящего без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»; 2) три основополагающих устойчивости: экологическая, социальная и экономическая устойчивость (ESG) должны развиваться гармонично.; 3) в докладе было отмечено, что экологические проблемы невозможно решить без социально-экономических вопросов. Доклад оказал огромное влияние на развитие и появление дальнейших инициатив и подготовил основу для конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро в 1992 год.

3-14 июня 1992 года в Рио-де-Жанейро состоялась конференция по окружающей среде и развитию, широко стала известна по названию «Саммит Земли». В рамках конференции были утверждены основные концепции устойчивого развития и принята рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН)⁹, направленная на снижение выбросов парниковых газов. Ещё одним ключевым результатом конференции стало принятие «Повестки дня на XXI век»¹⁰. «Agenda 21» целесообразно рассматривать как институционально-нормативную рамку, которая переводит концепцию устойчивого развития из уровня общих принципов в уровень программных направлений и инструментов экономической политики. Принятая на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992), «Повестка дня на XXI век» фиксирует ключевой для экологической экономики тезис о взаимной обусловленности экономического

⁹ United Nations. United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. (дата обращения: 12.02.2025).

¹⁰ United Nations. (1992). Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development. United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992: URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. (дата обращения: 12.02.2025).

роста, состояния экосистем и социального благополучия. Тем самым документ концептуально поддерживает идею, что традиционные рыночные механизмы без корректирующих институтов и стимулов систематически недоучитывают экологические внешние эффекты, что приводит к деградации природного капитала и накоплению долгосрочных рисков, не отражённых в краткосрочных макро- и микроэкономических показателях.

С точки зрения экономико-экологического анализа значимость Agenda 21 состоит в формировании «повестки» структурной перестройки развития: повышение ресурсной и энергоэффективности, предотвращение загрязнения (как приоритет по сравнению с последующей ликвидацией ущерба), развитие систем мониторинга и экологической информации, укрепление институтов управления природопользованием и расширение участия стейкхолдеров. В этой логике окружающая среда интерпретируется не как внешнее ограничение экономического роста, а как базовый фактор производства и носитель экосистемных услуг, дефицит и ухудшение которых порождают экономические потери. Важным является и многоуровневый характер реализации (включая «локальные повестки»), позволяющий увязать глобальные экологические цели с региональными экономическими интересами и практиками управления, что делает документ удобной теоретической опорой для обоснования необходимости интеграции экологических критериев в экономическое планирование и оценку эффективности государственной политики.

Главное значение принятия всех вышеперечисленных документов - это, безусловно, создание институциональной и правовой основы для развития концепции устойчивого развития на глобальном уровне. В результате принятие этих документов позволило изменить логику международного сотрудничества и создать общие рамки, в пределах которых государства смогли совместно выстраивать стратегии по достижению устойчивого развития.

После Саммита Земли идея устойчивого развития перестала быть исключительно политическим лозунгом и постепенно превратилась в самостоятельное направление академической работы — с расширяющейся

повесткой исследований, ростом числа публикаций и формированием специализированных научных дискуссий. Как результат, вопрос привлек внимание не только международное политическое сообщество, но и гражданское общество. Вот, например, в исследовании В.А. Антохина¹¹ приводятся кейсы, где население стало активно участвовать в мониторинге устойчивости на локальном уровне. В рамках конференции НИУ ВШЭ «Устойчивое развитие в неустойчивом мире: объединяя усилия регионов, городов и компаний»¹² обсуждалась проблема комплексного подхода к трансформации поведения и отношения населения к проблемам устойчивого развития и устойчивой энергетики.

В связи с нарастающими экологическими проблемами, вызванными людьми, и потребностью в снижении выбросов углерода, переход к устойчивому и низкоуглеродному развитию становится критически важным. В этой ситуации оценка эколого-экономической эффективности освоения альтернативных источников энергии (АИЭ) выходит на первый план. Теперь это не просто один из критериев, а ключевой фактор, определяющий успех, принципиальную возможность и социально-экономическую оправданность долгосрочного перехода к новой энергетике. Альтернативные источники энергии — это источники производства энергии, выработка которых основана на неисчерпаемых и возобновляемых ресурсах без использования традиционных ископаемых видов топлива (угля, нефти, газа) как по происхождению, так и по технологиям преобразования. К ним относятся источники, характеризующиеся минимальным уровнем антропогенного воздействия на окружающую среду, устойчивостью и потенциалом для долгосрочного обеспечения энергетических потребностей общества. Их развитие связано с необходимостью диверсификации энергетического баланса, снижения зависимости от исчерпаемых ресурсов и минимизации экологических рисков.

¹¹ Антохина В.А. Государственная политика устойчивого развития регионов: повестка 2030. // Среднерусский вестник общественных наук. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennaya-politika-ustoychivogo-gazvitiya-regionov-povestka-2030> (дата обращения: 20.01.2025).

¹² Доклад НИУ ВШЭ К XXIV Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Устойчивое развитие в неустойчивом мире: объединяя усилия регионов, городов и компаний. 2023. URL: https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082508790/Устойчивое_развитие-доклад.pdf (дата обращения: 20.01.2025).

Атомная генерация и водородные решения считаются альтернативными и способны обеспечивать низкий экологический эффект по всему жизненному циклу при корректной реализации. Атомная энергетика, в том числе термоядерный синтез и реакторы на быстрых нейтронах, основана на делении или синтезе ядер. Она даёт много энергии и почти не выбрасывает парниковые газы при работе¹³. Водородная энергетика может быть экологичной, если водород получают без выбросов углерода или с минимальными выбросами¹⁴. Примеры: электролиз с использованием экологически чистой электроэнергии, пиролиз метана или паровая конверсия метана с улавливанием и хранением CO₂. Технологии снижения выбросов, такие как CCS (Carbon capture and storage, Улавливание и хранение углерода), уменьшают воздействие от использования углеводородов и могут интегрироваться как с традиционной, так и с альтернативной генерацией.

Возобновляемые источники энергии (солнечная, ветровая, геотермальная, гидро- и др.) при этом составляют устойчивую подкатегорию альтернативной энергетики, поскольку естественно регенерируются в короткие сроки. В совокупности альтернативная энергетика включает ВИЭ, атомную и водородную энергетiku, а также технологические решения по декарбонизации, расширяя спектр низкоуглеродных вариантов замещения ископаемого топлива (см. рисунок 1).

¹³ Адамов Е.О. и др. Зеленая книга ядерной энергетики / под ред. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2024. – 232 с.

¹⁴ Экология, энергетика, энергосбережение : бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. 2023. URL: https://www.eriras.ru/files/informatsionno_analiticheskiy_byulleten_pao_mosenergo.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

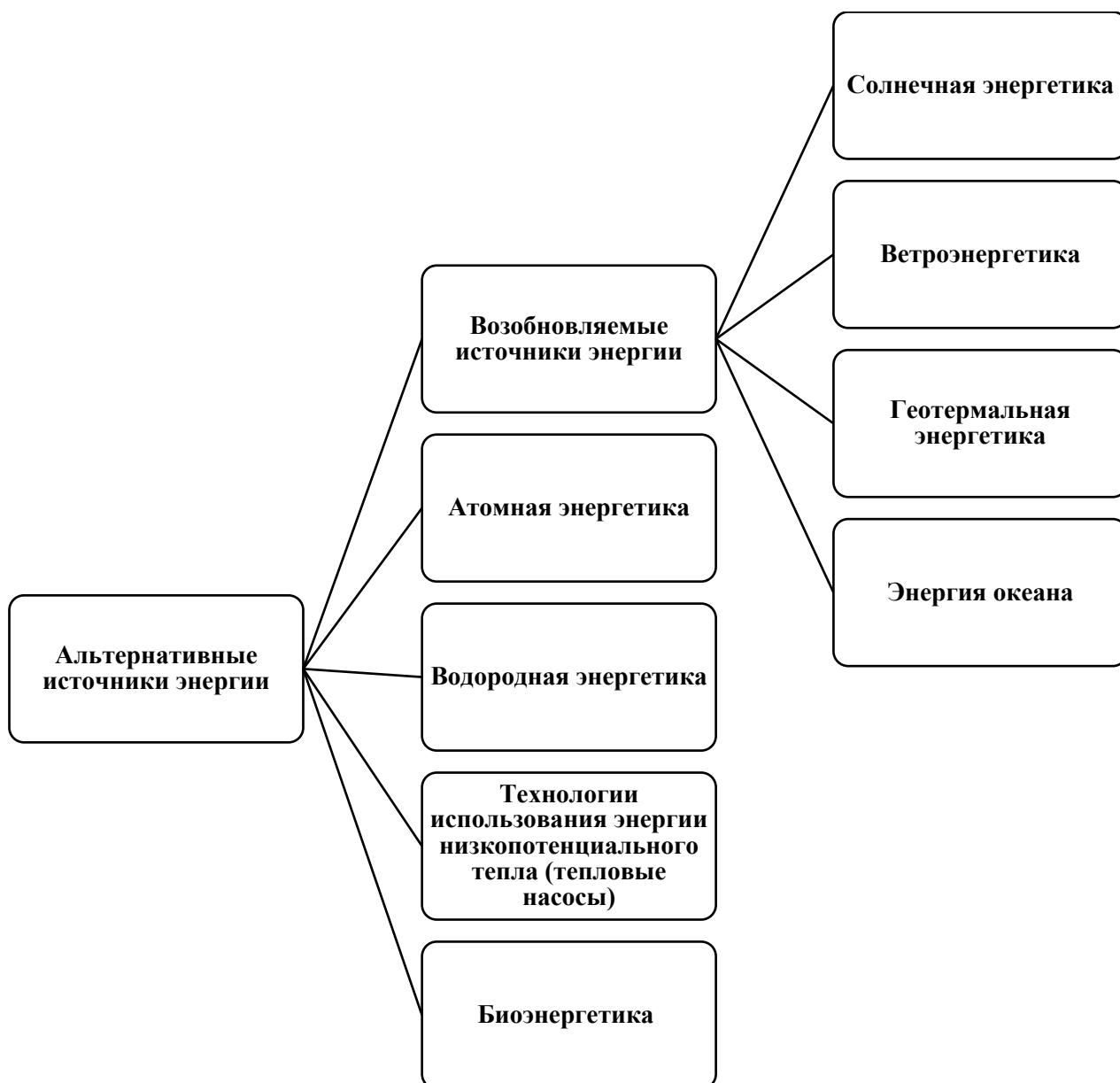


Рисунок 1 – Классификация альтернативных источников энергии
Источник: составлено автором.

С точки зрения долгосрочной устойчивости и минимизации воздействия на окружающую среду в исследовательской работе акцент делается именно на атомной энергетике и возобновляемых источниках энергии.

В данном исследовании при помощи анализа эколого-экономической эффективности АИЭ предпринята попытка оценить не только экологическую целесообразность, но и экономическую состоятельность, конкурентоспособность, энергобезопасность, а также реализуемость и масштабируемость перехода к новой устойчивой экономике. Адекватная оценка эколого-экономической эффективности

АИЭ должна быть центральным, интегральным критерием для стратегических решений в разработке энергетической стратегии, госполитики и инвестиций в возобновляемую энергетику.

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

Эколого-экономическая эффективность альтернативных источников энергии представляет собой интегральный показатель, предназначенный для оценки рациональности применения АИЭ с точки зрения одновременного достижения положительных экологических и экономических результатов. Роль и место эколого-экономической эффективности АИЭ в контексте перехода к устойчивому и низкоуглеродному развитию являются центральными и многогранными. Это не просто технологическая замена, а фундаментальный сдвиг в парадигме энергетического обеспечения, затрагивающий экологические, экономические и социальные аспекты. Интеграция альтернативных источников энергии в энергетическую систему должна приводить к достижению максимального экологического эффекта при минимальных экономических затратах или получению экономической выгоды за счёт снижения негативного воздействия на окружающую среду¹⁵.

Здесь же необходимо дать определение *устойчивой энергетической системы* (или *устойчивой энергетики*). Предлагается следующая формулировка: комплексная система по производству, передаче, распределению и потреблению энергии, которая стремится удовлетворить текущие энергетические потребности человечества, не снижая возможностей последующих поколений удовлетворять свои потребности. В данном определении принципиально важно, что «устойчивость» сводится не к перечню отдельных технологий, а характеризует

¹⁵ Bogdanov D., Ram M., Aghahosseini A., Gulagi A., Solomon A.O., Child M., Caldera U., Sadovskaia, K. Farfan J., Barbosa L. S., Fasihi M., Khalili S., Traber T., Breyer C. Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability, Energy, Volume 227, 2021, 120467, ISSN 0360-5442. , URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120467>

направленность и качество структурных изменений в отрасли: такие изменения должны согласовывать экономическую результативность и ресурсную эффективность с требованиями экологической допустимости (включая снижение негативных внешних эффектов и давления на экосистемы) и с социальными критериями, прежде всего доступностью энергии и справедливостью распределения выгод и издержек энергетического перехода. Иными словами, устойчивость энергетики выступает характеристикой долгосрочной траектории развития сектора, на которой обеспечиваются надёжность снабжения и конкурентоспособность экономики при соблюдении экологических ограничений и межпоколенческой ответственности. Важно отметить один из главных аспектов устойчивого энергоснабжения - обеспечение доступа к надёжным источникам энергии¹⁶, что непосредственно связано с развитием энергетической инфраструктуры и её эффективностью. ООН опубликовала доклад, где отметила сохраняющийся высокий уровень недоступности электроэнергии для части населения, а именно 733 млн человек до сих пор не имеют доступа к электричеству¹⁷.

Изучение вопроса развития устойчивой энергетики непосредственно связано и с национальными целями Российской Федерации¹⁸, а именно: экологическое благополучие и технологическое лидерство. Согласно указу президента поставлена цель по снижению выбросов в 2 раза к 2036 году. А также ставится задача: обеспечить технологическую независимость и создать новые рынки в отношении энергетических технологий (в том числе и атомной энергетики). Очевидно, что развитие альтернативных источников непосредственно помогает решать поставленные выше задачи.

¹⁶ Прогнозы и аналитика о состоянии и перспективах мирового энергоснабжения, в том числе для обеспечения доступа к энергии в развивающихся странах. Международное энергетического агентство, 2021. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_Summary_2021_RU.pdf (дата обращения: 12.10.2025).

¹⁷ 733 миллиона человек все еще не имеют доступа к электричеству. URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/06/1424922> (дата обращения: 12.10.2025).

¹⁸ Указ Президента №309 от 24.05.2024 г. Национальные цели развития России до 2030 года и на перспективу до 2036 года. URL: <https://rspp.ru/upload/content/45f/zgf8herv7bm142o64296wy77nzks6i4c/Президент%20o%20нац.целях.pdf> (дата обращения: 30.08.2025 г.)

Роль эколого-экономической эффективности АИЭ в устойчивом развитии

Эколого-экономическая эффективность альтернативных источников энергии в переходе к устойчивому и низкоуглеродному развитию может выполнять двойную функцию — быть драйвером изменений, либо барьером.

Под положительными экологическими эффектами подразумеваются: 1) снижение уровня выбросов вредных веществ в атмосферу (CO₂, SO₂, NO_x); 2) снижение нагрузки на природные ресурсы и их сохранение путем снижения использования ископаемого топлива; 3) снижение нагрузки на водные ресурсы и экосистемы. *Положительные экономические эффекты* выражаются в: 1) снижении капитальных вложений и эксплуатации альтернативных источников энергии; 2) экономии на топливе и платежах за загрязнение окружающей среды; 3) обеспечении долгосрочной стабильности энергообеспечения. В этом контексте концепция устойчивой энергетической системы находит практическое воплощение через оценку эколого-экономической эффективности АИЭ, которая служит инструментом для балансировки экологических и экономических аспектов в ходе энергетической трансформации. *В контексте изложенного ключевой проблемой выступает сложность учёта и монетизации экстерналий.*

Положительные и отрицательные экстерналии интеграции АИЭ

Количественно оценить и выразить в денежном эквиваленте положительные экстерналии (например, стоимость спасённых жизней от снижения загрязнения, предотвращённый ущерб от изменения климата) очень трудно. Сбалансированный прогресс развития устойчивой энергетики возможен только при одновременном сокращении вредных последствий и усилении положительных результатов.

Международное энергетическое агентство IRENA регулярно публикует прогноз о стабильном росте занятости населения в отрасли ВИЭ. В отчёте 2023 г.¹⁹ прогнозируется рост числа рабочих мест в возобновляемой энергетике в 2030 г. на 114%, а к 2050 г. этот уровень достигнет около 39 млн человек. Фактический уровень занятости в 2021 г. составил около 12 млн человек. Больше всего новых

¹⁹ Прогноз преобразования мировой энергетической системы. Доклад агентства IRENA. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_WETO_2023_Summary_RU.pdf (дата обращения: 12.10.2025).

рабочих мест появится в солнечной генерации — примерно 18 млн (рост на 63% относительно текущих планов). Доля рабочих мест в биоэнергетике составит к 2050 г. 33%, в абсолютном значении это 10 млн рабочих мест. Для ветровой энергетики тоже прогнозируется рост до 6 млн. Занятость в гидроэнергетике вырастет умеренно (+7%), обеспечив менее 3 млн рабочих мест. Другие технологии, такие как геотермальная энергия, также покажут рост — почти на 60% к 2050 г.

Снижение зависимости от ископаемых видов топлива непосредственно связано с улучшением качества атмосферного воздуха. Очистка воздуха от вредных выбросов уменьшает заболеваемость и способствует увеличению ожидаемой продолжительности жизни. Статистические данные^{20,21} показывают, что в регионах, перешедших на возобновляемые источники энергии, отмечается значительное снижение числа заболеваний, связанных с загрязнением воздуха. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение атмосферного и внутреннего воздуха в помещениях оказывает значительное негативное влияние на здоровье и выживаемость детского населения. В глобальном масштабе 93% детей проживают в условиях с превышением рекомендованных ВОЗ нормативов качества воздуха. Более 25% случаев смертности детей до 5 лет связано с экологическими факторами риска. Загрязнение воздуха способствует развитию респираторных инфекций, вызвавших 543 000 летальных исходов в данной возрастной группе в 2016 г.

Немаловажным положительным эффектом является развитие НИОКР. Технологическое развитие производства и строительства альтернативных источников энергии может позитивно, путём косвенного применения, влиять на использование этих технологий. Новые продукты могут быть адаптированы для других отраслей экономики. Например, усовершенствованные системы аккумулирования энергии, созданные для солнечных электростанций, теперь адаптированы для обеспечения бесперебойного питания медицинского

²⁰ World Health Organization (WHO). Air pollution and child health: Prescribing clean air. 2018. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health> (дата обращения: 12.10.2025).

²¹ International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. 2016. URL: <https://www.irena.org/Publications/2016/Jan/Renewable-Energy-Benefits-Measuring-the-Economics> (дата обращения: 12.10.2025).

оборудования в удалённых клиниках. Разработки в области интеллектуальных энергосистем, изначально ориентированные на улучшение распределения возобновляемой энергии, оказались полезными и в системах управления водными ресурсами, в частности, в сельском хозяйстве для орошения. В свою очередь, лёгкие композитные материалы, созданные для ветроэнергетики, теперь применяются в авиа- и автомобилестроении с целью уменьшения потребления энергии. В результате развитие альтернативной энергетики положительно сказывается и на других секторах экономики, таких как строительство и транспорт²².

Отрицательные экстерналии альтернативных источников энергии представляют сопоставимо важный аспект, учитываемый в экономическом анализе. Концепция устойчивого развития энергетики может представлять в большей степени идеологию, используемую западными элитами как инструмент глобального управления и контроля над ресурсами, что особенно затрагивает интересы России²³. Россия, обладающая более чем 25% мирового природного капитала и национальным богатством, оценённым в 60 трлн долл. (где доля природного капитала составляет 40%), сталкивается с рисками для своего суверенитета.

По результатам исследования сформирована²⁴ схема классификации экстерналий в контексте устойчивого развития (рисунок 2).

²² European Environment Agency (EEA). Air quality in Europe — 2021 report. 2021. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2021> (дата обращения: 02.06.2025).

²³ Ховавко И.Ю. Концепция устойчивого развития в контексте глобализации // Век глобализации. 2016. №3 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-ustoychivogo-razvitiya-v-kontekste-globalizatsii> (дата обращения: 02.06.2025).

²⁴ Дегтярев К.С. ВИЭ и побочные экологические эффекты // С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2015. № 5. С. 90–94.



Рисунок 2 – Экстерналии в контексте развития устойчивой энергетики
 Источник: составлено автором по данным: UNEP. Emissions Gap Report 2019.
 United Nations Environment Programme, Nairobi, 2019.
 URL: <https://www.unep.org> (дата обращения: 14.02.2025).

Еще одна проблема, освещаемая в научных исследованиях, — сравнение с традиционными источниками энергии в контексте обеспечения энергетической безопасности и доступности. Эта проблема заключается в обеспечении стабильного доступа к надёжным источникам энергии при одновременном снижении зависимости от исчерпаемых ресурсов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Нехватка предложения энергетической мощности усугубляется ростом глобального спроса, устареванием инфраструктуры, геополитическими рисками и климатическими ограничениями.

С одной стороны, исследования показывают, что инвестиции в возобновляемую энергетику **значительно улучшают энергетическую**

безопасность²⁵. Эмпирические результаты демонстрируют, что увеличение объёма «зелёных» облигаций на 1 млрд долл. США приводит к снижению индекса риска энергетической безопасности на 0,143 пункта (статистически значимо на уровне 1%). **Геополитические риски усиливают угрозы энергетической безопасности, но «зелёная» финансовая система смягчает этот негативный эффект.** Локальный геополитический риск увеличивает риск энергетической безопасности на 1,483 пункта (значимость 10%), а глобальный — на 0,025 пункта (значимость 10%). При этом взаимодействие «зелёных» облигаций с геополитическими рисками даёт значимый отрицательный коэффициент (-0,229 для локального и -0,003 для глобального риска), что подтверждает защитную роль «зелёного» финансирования.

С другой стороны, избыток установленной мощности в энергосистеме за счёт альтернативных источников энергии не гарантирует энергетическую безопасность, поскольку нестабильность возобновляемых источников, обусловленная климатическими факторами, может приводить к дефициту фактической выработки. В некоторых исследованиях предлагается сокращение избыточных мощностей, оптимизация структуры генерации и повышение загрузки теплоэлектростанций (ТЭС)²⁶. Модернизация топливно-энергетического комплекса с преимущественно традиционными источниками энергии, совместимая с декарбонизацией, будет способствовать реализации климатических целей, но потребует более гибкого регулирования и отказа от решений, сдерживающих развитие отрасли. Таким образом, необходимы гибкое регулирование и отказ от инерционных решений, блокирующих развитие²⁷, а также повышение эффективности инвестиций с учётом снижения выбросов CO₂²⁸.

Это, в свою очередь, порождает новую научную проблему, связанную с интеграцией альтернативных источников энергии в энергетическую систему

²⁵ Vo D.H., Ho C.M., Lang N.D., Greener for greater security? The role of green finance in energy security amid rising geopolitical risks, Energy Economics, Volume 151, 2025, 108902, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108902>.

²⁶ Порфирьев Б.Н. Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2 (173).

²⁷ Потенциальные возможности роста российской экономики: анализ и прогноз. Научный доклад ИНИ РАН. М.: Артик Принт, 2022. 296 с. ISBN 9 78-5-6047208-5-1. ISSN 2712-9209. DOI 10.47711/sr2-2022.

²⁸ Порфирьев Б.Н. «Зелёная» экономика: общемировые тенденции развития и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 4.

страны. АИЭ характеризуются высокой долей источников с нестабильной генерацией электроэнергии, что требует значительных инвестиций в развитие сетей и системы хранения энергии (аккумуляторы), а также строительства резервных мощностей²⁹. Устойчивая энергетика — в первую очередь стабильная выработка и балансирование пиковых нагрузок, что должно выполняться оперативно, во избежание «блэкаутов». Внедрение в энергетическую систему альтернативных источников энергии усиливает сложность балансирования, поэтому требуется эффективное первичное регулирование для обеспечения стабильности нагрузки в сети³⁰. Вышеперечисленные системные затраты часто игнорируются при анализе эффективности проектов, что значительно снижает их реальную стоимость³¹. Исследователи также указывали на технико-экономические ограничения внедрения альтернативных источников энергии, особенно в децентрализованных энергосистемах³². Прямые затраты на строительство генерирующих объектов часто анализируются без учёта сопутствующих системных издержек.

Анализируя различные аспекты устойчивого развития энергетики, стоит акцентировать внимание на том, что реализация ЦУР на территории отдельных стран требует их модификации, принимая во внимание специфику государственных стратегий и первоочередные задачи национального развития³³.

Ключевое значение в процессе интеграции ЦУР в различных национальных контекстах будет принадлежать политическим и стратегическим решениям,

²⁹ Tan Y., Muttaqi K.M. Multilevel energy storage based frequency regulation in remote area power supply systems, 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), Wollongong, NSW, Australia, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERCON.2016.7754028.

³⁰ Don Gamage, Chathura Wanigasekara, Abhisek Ukil, Akshya Swain, Multi-level consensus based load frequency controller with multi-battery energy storage systems, Electric Power Systems Research, Volume 239, 2025, 111208, ISSN 0378-7796.

³¹ Tan and J., Zhang Y. Coordinated Control Strategy of a Battery Energy Storage System to Support a Wind Power Plant Providing Multi-Timescale Frequency Ancillary Services, in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 8, no. 3, pp. 1140-1153, July 2017, doi: 10.1109/TSTE.2017.2663334

³² Бушуев В.В., Соловьев Д.А., Сокотущенко Н.В. Роль возобновляемых источников энергии в снижении выбросов парниковых газов: перспективы и вызовы для Дальнего Востока России // Энергетическая политика. 2023. № 9(188). С. 98-111. DOI 10.46920/2409-5516_2023_9188_98|

³³ Бобылев С.Н., Зубаревич Н.В., Соловьева С.В., Власов Ю.С. Устойчивое развитие: Методология и методики измерения – М.: Экономика, 2011. – 310 с.

принимаемым на государственном уровне³⁴. В своих работах С.Н. Бобылев часто предлагает для России разработку двух основополагающих документов: «Стратегия устойчивого развития России» и «Цели устойчивого развития России». Он считает, что России необходимо перейти от экспортно-сырьевой экономики к модели, основанной на сбалансированном устойчивом развитии, полноценно интегрировав ЦУР в национальную стратегию и используя комплексные индикаторы для объективной оценки прогресса. Рассматривая национальные цели развития России (далее НЦР), нужно отметить, что хотя уровень взаимного соответствия НЦР и ЦУР растёт, из 169 задач ЦУР с российскими НЦР напрямую соотносятся только 87 задач, что составляет 52%³⁵. Такой процент объясняется тем, что ряд задач ЦУР глобального характера либо не адаптирован к страновому уровню, либо не является приоритетными для текущей повестки России. Особую озабоченность вызывает недостаточное внимание в НЦР к энергетической эффективности (упоминается лишь в контексте жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и строительства) и развитию возобновляемой энергетики (Бобылев С.Н., 2025). Энергоёмкость ВВП России в 2–3 раза выше, чем у развитых стран (IEA, 2023b), а доля «новых» ВИЭ (солнечная, ветровая) в производстве электроэнергии составляет всего 0,7% (IEA, 2023a). Выбросы CO₂ на душу населения в России (11,4 т) значительно превышают среднемировой показатель (4,7 т) (Our World in Data, 2024). Для мониторинга С.Н. Бобылев предлагает использовать 14 ключевых национальных индикаторов, охватывающих экономические, социальные и экологические аспекты (например, инвестиции в основной капитал, степень износа основных фондов — 49,4% в 2014 г.; энергоэффективность, ожидаемая продолжительность жизни – 70,93 лет в 2014 г.; выбросы парниковых газов — 2295 млн т CO₂-экв. в 2012 г. без учёта землепользования; затраты на НИОКР — 1,19% валового внутреннего продукта (ВВП) в 2014 г.). Авторы исследования предлагают объединить все индикаторы в

³⁴ Daszkiewicz, K. (2020). Policy and Regulation of Energy Transition. In: Hafner, M., Tagliapietra, S. (eds) The Geopolitics of the Global Energy Transition. Lecture Notes in Energy, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2_9

³⁵ Бобылев С.Н., Барaboшкина А.В., Курдин А.А., Яковлева Е.Ю., Бубнов А.С. Национальные цели развития России и ключевые индикаторы устойчивости в журнале Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), том 60, № 1, с. 40-59 DOI 2025

едины показатель – интегральный индекс устойчивости (ИИУ). В результате расчет ИИУ показал, что в России низкий и нестабильный рост устойчивости.

Авторы утверждают, что ключевую роль в декарбонизации сыграют технологические изменения. Это включает существенное увеличение доли возобновляемых источников энергии и атомной энергетики в энергобалансе, активное внедрение водородных технологий, а также технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS). Во всех сценариях к 2030 г. Россия превосходит ЕС по темпам сокращения выбросов CO₂ (на ~65% от уровня 1990 г.) и ПГ (на ~60% от уровня 1990 г.). Совокупные чистые выбросы CO₂ в России в 2021–2060 гг. по сценариям 4D и 4F оцениваются в 21,7 Гт CO₂, что составляет 4% бюджета для ограничения потепления 1,5 °С и 2% для 2 °С.

Интересно отметить, что значительный вклад в поглощение выбросов традиционно вносит сектор землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Однако даже при сокращении его поглощающей способности, как показывают некоторые сценарии (4D, 4F), достижение углеродной нейтральности остается возможным за счёт более интенсивных мер в других секторах.

Немаловажным является изучение проблемы *сопоставления капитальных и эксплуатационных затрат на ВИЭ с долгосрочными выгодами, включая экологические и социальные эффекты. Оценка жизненного цикла ВИЭ — от производства оборудования до утилизации для определения чистой экологической эффективности.* С точки зрения инвестиций, переход к низкоуглеродной экономике необязательно означает увеличение общего объёма капиталовложений по сравнению с инерционным сценарием. Однако потребуются их кардинальное перераспределение: средства должны быть перенаправлены от добычи ископаемого топлива в сторону развития низкоуглеродных технологий и реализации мер по смягчению климатических изменений. Таким образом, путь к углеродной нейтральности для России вполне реален, но сопряжён с масштабной структурной и технологической перестройкой экономики.

Устойчивое развитие энергетики включает доступность энергетических ресурсов для всех слоев населения³⁶, что способствует устранению социального неравенства. В этой связи преимуществом альтернативных источников является их доступность для отдалённых регионов и сельской местности, не интегрированных в единую электросеть, что позволяет ещё большему числу населения иметь доступ к электроэнергии. Устойчивые подходы позволяют государствам уменьшать свою зависимость от импорта энергетических ресурсов, что увеличивает национальную безопасность и экономическую стабильность.

Эколого-экономическая оценка развития альтернативных источников энергии — сложная задача, сопряжённая с рядом проблем. В первую очередь это сложность учёта и монетизации экстерналий. Как отмечалось ранее, АИЭ имеет ряд положительных экстерналий, однако количественно оценить и выразить в денежном эквиваленте эти выгоды (например, стоимость спасённых жизней от снижения загрязнения, предотвращённый ущерб от изменения климата) очень трудно. Методики такой оценки существуют, но они часто дискуссионны и зависят от множества допущений. *Поэтому в данном исследовании автором принято допущение об оценке только выбросов парниковых газов как наиболее распространённом и общепринятом критерии экологической оценки в краткосрочной и в долгосрочной перспективе (более подробно в главе 2).*

1.3. Методы оценки эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии

В рамках разработки целей устойчивого экономического развития страны, альтернативные источники энергии все чаще предлагаются как один из главных инструментов в решении задачи повышения энергетической устойчивости. Это обусловлено тем, что такое энергетическое оборудование удовлетворяет сразу несколько потребностей: с одной стороны, повышает экономическую целесообразность (например, за счет более низкого капекса), с другой стороны

³⁶ Порфирьев, Б. Н. Альтернативная энергетика и социально ориентированная экономика / Б. Н. Порфирьев, С. А. Рогинко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2016. – № 3. – С. 4-19. – DOI 10.21638/11701/spbu05.2016.301. – EDN XDCCDAN.

уменьшает экологическое воздействие на окружающую среду (например, снижение выбросов парниковых газов).

Оценка эффективности ВИЭ по снижению углеродных выбросов может включать следующие параметры:

- *объем сэкономленной углеродной эмиссии.* Сравнение между углеродными выбросами от традиционных источников и выбросами от ВИЭ;
- *углеродный след жизненного цикла.* Учёт всех этапов — от производства технологий ВИЭ до их эксплуатации и утилизации;
- *долгосрочные цели:* Оценка соответствия выбранной энергетической стратегии целям по сокращению углеродных выбросов на национальном и глобальном уровне.

Рассмотрим ещё несколько ключевых аспектов, которые следует учитывать при проведении оценки альтернативных источников энергии. Оценка целесообразности проектов на основе альтернативных источников энергии должна опираться на комплексный экономический анализ, в котором финансовые параметры соотносятся с экологическими и социальными эффектами на протяжении жизненного цикла технологии. Одновременно в оценке эффективности использования АИЭ должна быть исследована и экономическая целесообразность. Этот аспект включает экономическую выгоду, доступность технологий, стоимость внедрения, а также долгосрочные финансовые последствия для инвесторов и общества в целом. Первоначальные затраты³⁷ на установку и интеграцию ВИЭ часто высоки, особенно в случае солнечной и ветровой энергетики. Экономическая целесообразность АИЭ является многогранным понятием, охватывающим начальные инвестиции, операционные расходы, долгосрочные выгоды и влияние на энергетическую безопасность.

При анализе наиболее достоверных и точных индикаторов стоит обратиться к изучению метрик, применяемых международным энергетическим агентством по

³⁷ Бубенчиков А.А., Гаилов И.А., Горюнов А.Н., Дорогов Б.Б., Киселев Г.Ю. Экономика возобновляемой энергетики в европейской части РФ. // Вестник ЮГУ. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-vozobnovlyaemoj-energii-v-evropeyskoj-chasti-rf> (дата обращения: 23.03.2025).

возобновляемой энергетики (далее – IRENA). Преимущества результатов их расчетов, это применение единых подходов, допущений и прозрачность описания показателей. Они рассматривают широкий спектр различных моделей эколого-экономической оценки эффективности возобновляемых источников энергии. Далее предлагается более подробно изучить основные подходы, см. таблицу 1.

Таблица 1 – Подходы IRENA к оценке эколого-экономической эффективности развития ВИЭ

1	2	3
Метод	Инструменты	Описание подхода
Оценка нормированной стоимости электроэнергии (Levelized cost of electricity, LCOE)	$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n C_t}{\sum_{t=1}^n E_t (1+r)^t}$ <p>где C_t — затраты в год t, E_t — произведенная энергия в год t, r — ставка дисконтирования, n — срок службы проекта</p>	LCOE представляет основной показатель, который IRENA использует для оценки стоимости генерации электроэнергии из ВИЭ. Этот показатель рассчитывается как сумма всех затрат (капитальных, операционных, топливных и т.д.), поделённая на общий объём произведенной энергии за весь период эксплуатации проекта
Коэффициенты возвращаемости энергии (energy returned on energy invested, EROI)	$EROI = \frac{E_{\text{полученная}}}{E_{\text{затраченная}}}$ <p>где $E_{\text{полученная}}$ — количество энергии, полученной от энергетической системы (например, в джоулях или киловатт-часах); $E_{\text{затраченная}}$ — количество энергии, затраченной на её извлечение, производство и распределение (также в джоулях или киловатт-часах)</p>	Данный показатель применяется для количественной оценки энергетической эффективности различных технологий возобновляемых источников энергии, конвертируя энергетические инвестиции в преимущества

Продолжение таблицы 1, Подходы IRENA к оценке эколого-экономической эффективности развития ВИЭ

1	2	3
Анализ жизненного цикла (Life Cycle Assessment, LCA)	<p>1. Анализ воздействия на окружающую среду на этапе получения сырья.</p> <p>2. Оценка выбросов и отходов в процессе производства оборудования для ВИЭ.</p> <p>3. Анализ экологических воздействий во время работы установок.</p> <p>4. Оценка воздействия на окружающую среду в конце жизненного цикла</p>	Систематический подход к оценке всех экологических аспектов и потенциальных воздействий ВИЭ на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла продукта или технологии
Оценка углеродного следа (Carbon Footprint Evaluation)	<p>Carbon Footprint = $\sum_{i=1}^n (E_i \times EFi)$,</p> <p>где E_i — объём энергии, производимой или потребляемой из источника i, EF_i — углеродный эквивалент (выбросы CO₂ на единицу энергии) для источника i, n — количество различных источников энергии</p>	IRENA активно применяет метод оценки углеродного следа для анализа количества выбросов углекислого (CO ₂) и других парниковых газов, связанных с производством и использованием энергии из ВИЭ. Этот метод позволяет оценить, насколько внедрение ВИЭ может помочь в снижении общего углеродного следа энергетической системы
Модели оценки устойчивого развития (Sustainability Assessment Models)	REMA (Renewable Energy Mapping and Assessment, Картирование и оценка возобновляемых источников энергии)	Данная модель позволяет оценить потенциал ВИЭ в определённом регионе, учитывая природные ресурсы и существующую инфраструктуру
	REI (Renewable Energy Index, Индекс	Индекс, который позволяет сравнивать и оценивать

Окончание таблицы 1, Подходы IRENA к оценке эколого-экономической эффективности развития ВИЭ

1	2	3
	возобновляемых источников энергии)	прогресс стран в сфере использования возобновляемых источников энергии и их вклад в устойчивое развитие
	RAP (Renewable Energy Policy Assessment, Оценка политики в области возобновляемых источников энергии)	
	SEIA (Sustainable Energy Impact Assessment, Оценка воздействия на устойчивую энергетику)	Модель, позволяющая анализировать и оценивать политику в области возобновляемой энергии и её влияние на экономику и социальные аспекты

Источник: составлено автором по: Renewable Power Generation Costs in 2021, IRENA, 2022. Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050, IRENA, 2020. Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics, IRENA, 2016. Reaching Zero with Renewables: Eliminating CO2 Emissions in Industry and Transport, IRENA, 2020.

IRENA использует различные модели для оценки будущего состояния сектора ВИЭ. Модели оценки, используемые IRENA, направлены на поддержку исследований и определение путей для достижения глобальных целей в области устойчивого развития через развитие возобновляемой энергетики.

С.Н. Бобылев³⁸ отмечает важность оценки и социокультурных факторов: общественное мнение, вовлеченность местного населения в реализации устойчивого развития, влияние на качество жизни. Значит нельзя не принимать во внимание и **социальные индикаторы** в эколого-экономической оценке АИЭ. Понимание долгосрочных преимуществ и недостатков поможет при оценке АИЭ учитывать существенные последствия для людей и территорий (занятость,

³⁸ Бобылев С.Н., Горячева А.А. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2019. № 1.

здоровье, безопасность и т.д.). Социальные критерии помогают выявить неравномерность распределения издержек. Поэтому в исследовании предлагается рассмотреть ключевые социальные индикаторы, которые стоит учитывать при проведении оценки эффективности альтернативных источников энергии (таблица 2).

Таблица 2 – Социальные индикаторы в оценке эколого-экономической эффективности АИЭ

1	2
Социальные индикаторы	Описание индикатора
Оценка рынка труда	Развитие отрасли возобновляемой энергетики может дать несколько эффектов на рынке труда: создание новых рабочих мест, за счет потребности рабочей силы в производстве и установке оборудования, либо наоборот создать дополнительный дефицит кадров в регионе. В этом контексте необходима оценка занятости, при реализации новых проектов АИЭ.
Доступность энергии	Возобновляемые источники энергии могут повысить доступность и надежность энергоснабжения, особенно в удаленных и отдаленных населенных пунктах. Это важно для дальнейшего социального и экономического развития этих регионов.
Социальная справедливость	Справедливое распределение выгод и затрат от реализации проектов АИЭ среди разных социальных групп. Это включает анализ воздействия на уязвимые категории населения и признание их прав.
Уровень жизни	Внедрение АИЭ может способствовать улучшению качества жизни населения, предоставляя более чистую и стабильную энергию. Оценка должна учитывать, как проекты АИЭ влияют на здоровье, образование и общее благосостояние граждан.
Общественное мнение и вовлечение населения	Взгляды и интересы местного населения, его вовлечённость в процессы принятия решений относительно развития АИЭ. Это может помочь избежать конфликтов и повысить уровень доверия к проектам.

Продолжение таблицы 2, Социальные индикаторы в оценке эколого-экономической эффективности АИЭ

1	2
Образование и подготовка кадров	Проекты АИЭ часто требуют специальных знаний и навыков, что стимулирует развитие образовательных программ и профессиональной подготовки в области устойчивой энергетики
Культурные аспекты	Влияние проектов АИЭ на местные культурные и социальные традиции. Участие местного населения в решениях, связанных с использованием природных ресурсов, может значительно улучшить как социальное восприятие, так и успех проектов.
Социальная инфраструктура	Реализация проектов АИЭ может привести к развитию социальной инфраструктуры (дороги, школы, здравоохранение) в связи с ростом инвестиций и притоком рабочей силы в регионы.

Источник: составлено автором по: Отчет Inclusion Matters: The Foundation for Shared Prosperity. Всемирный Банк, 2013; отчет «Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics», Международное агентство по возобновляемым источникам энергии. 2016.

Результаты оценок социальных индикаторов могут быть учтены и в государственной энергетической политике, в вопросе создания новых рабочих мест, повышение качество жизни в регионе, если это, например, электрификация изолированных территорий.

В прикладном контуре ключевым является сопоставление затрат и выгод: к капитальным вложениям относятся расходы на приобретение и монтаж оборудования (включая солнечные модули, ветроустановки и элементы преобразования энергии), а также затраты на присоединение к сети и развитие сопутствующей инфраструктуры; операционные издержки, как правило, ниже, чем у традиционной генерации, однако требуют корректного учёта обслуживания, ремонтов, страхования, деградации оборудования, возможных затрат на балансирование, хранение и ограничение выдачи мощности при сетевых ограничениях. Здесь для расчетов можно использовать традиционные показатели

финансовой эффективности, расчет: чистой приведенной стоимости (NPV - Net Present Value), внутренней нормы доходности (IRR - Internal Rate of Return), срок окупаемости. При этом в моделировании денежных потоков важно учесть высоко рискованные и волатильные драйверы: климатические факторы, удешевление технологий строительства АИЭ, стоимость капитала.

Следует учитывать и *оценку ценовых эффектов на оптовом рынке электроэнергии и мощность* при вводе новых мощностей в энергетический баланс. Меняется структура объема и ценовых заявок и в результате более дорогие источники энергии вытесняются с рынка. Здесь может быть двойственный эффект. С одной стороны, если цена альтернативной энергии дешевле, соответственно дорогие генераторы-конкуренты теряют маржинальную прибыль и меньше инвестируют в надежность оборудования. Тут стоит учесть риск гибкости энергетической системы и готовности энергетического оборудования к пиковым нагрузкам. С другой стороны, если альтернативная энергия дороже, в результате чтобы не допустить снижение темпов развития, в частности возобновляемой энергетики, нужна государственная поддержка в форме налоговых льгот, субсидий, «зеленого» финансирования, что существенно повысит эффективность такого оборудования по сравнению с традиционным. Несомненно, правильность и точность выводов экономической оценки в основном определяет корректного долгосрочного прогноза ключевых драйверов сценарного моделирования. Важно подготовить чувствительность результатов расчетов таких параметров как: технологический прогресс, рыночные тренды, ставка дисконтирования. По мимо этого учесть основные риски: 1) регулярные, обязательства по сокращению выбросов; 2) институциональные, требования к процедурам; 3) экономические, распределение выгоды между участниками энергосистемы. Тут же стоит обратить особое внимание на учет стоимость углеводородного топлива, при сравнение альтернативных и традиционных источников энергии. Основным драйвером в расчете себестоимости производства электроэнергии от традиционныз источников энергии, бесспорно, является *топливо*, она и определяет их экономическую

целесообразность³⁹. Следовательно, при анализе рекомендуется рассчитывать чувствительность к изменению цен на уголь и природный газ.

Следует также отдельно рассмотреть такой подход, как оценка жизненного цикла (LCA – Life Cycle Assessment⁴⁰). Преимущества этого подхода в комплексной оценке энергетического оборудования.⁴¹ Несмотря на то, что возобновляемые источники энергии не производят негативных выбросов в окружающую среду, однако есть воздействие на этапах производства оборудования для их строительства или во время логистики.

На основе изученной информации автором подготовлена классификация ключевых факторов значимости оценки эффективности развития возобновляющих источников энергии (более подробно см. рисунок 3).

Экологические обоснование	Экономическая целесообразность	Социальные аспекты	Правовые и политические основы	Технологические аспекты
<ul style="list-style-type: none"> •Снижение углеродных выбросов и устойчивость к катастрофам •Экономия природных ресурсов 	<ul style="list-style-type: none"> •Переход к «зеленой» экономике •Оценка долгосрочных инвестиций/ инвестиционная привлекательность ВИЭ 	<ul style="list-style-type: none"> •Энергетическая независимость и устойчивое развитие •Доступ к энергии •Улучшение здоровья населения 	<ul style="list-style-type: none"> •Поддержка устойчивого развития •Законодательные инициативы •Международные соглашения и обязательства 	<ul style="list-style-type: none"> •Интеграция в энергетические системы •Снижение затрат на производство от ВИЭ •Анализ жизненного цикла

Рисунок 3 – Ключевые факторы значимости оценки эффективности возобновляемых источников энергии (ВИЭ)

Источник: составлено автором.

В современных исследованиях наиболее подробно раскрыт вопрос об оценке эффективности использования возобновляемых источников энергии. Это не

³⁹ Стенников В.А., Жарков С.В. Методы оценки эффективности энергоснабжения потребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. 2014. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-effektivnosti-energосnabzheniya-potrebitelley> (дата обращения: 19.01.2025).

⁴⁰ ISO 14040:2006 - Environmental Management: Life Cycle Assessment – Principles and Framework Это стандарт Международной организации по стандартизации (ISO), который определяет общие принципы и основы метода LCA. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html> (дата обращения: 16.08.2024)

⁴¹ European Commission - ILCDC Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment

случайно, т.к. последние годы в силу снижения себестоимости выработки электроэнергии из ВИЭ и реализации курса на декарбонизацию экономики именно к этим источникам энергии было приковано основное внимание. В своём исследовании мы учитываем подходы, сформированные для оценки эффективности ВИЭ, поскольку одним из ключевых аспектов нашей исследовательской задачи является определение оптимального баланса между использованием различных альтернативных источников энергии, включающих в свой состав прежде всего ВИЭ, а также универсальности данных методов оценки применительно к проблемам развития энергетики и другим видам энергоресурсов.

.....

Выводы к главе 1

Проведённый анализ теоретико-методологических основ исследования эколого-экономической эффективности альтернативных источников энергии позволяет сформулировать ряд ключевых выводов. Во-первых, установлено, что концепция устойчивого развития, эволюционировавшая на протяжении второй половины XX и начала XXI в., стала фундаментальной парадигмой современного общества, определяющей необходимость интеграции экологических императивов в экономическую деятельность. Этот процесс был ознаменован такими знаковыми событиями, как Стокгольмская конференция 1972 г., публикация доклада Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее» (Доклад Брундтланд) в 1987 г. и Саммит Земли в Рио-де-Жанейро в 1992 г., которые закрепили понимание устойчивого развития как сбалансированного сочетания экономического роста, социальной справедливости и охраны окружающей среды, направленного на удовлетворение потребностей настоящего времени без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

Во-вторых, в контексте глобального перехода к устойчивому и низкоуглеродному развитию эколого-экономическая эффективность АИЭ

приобретает системообразующее значение. Она рассматривается не просто как один из технических параметров, а как интегральный критерий, детерминирующий возможность, целесообразность, социально-экономическую оправданность и долгосрочную устойчивость энергетического транзита. Устойчивая энергетическая система должна соответствовать трём основным критериям: экономической, экологической и социальной стабильности. При этом критически важно учитывать как значительные положительные экстерналии от внедрения АИЭ, так и потенциальные отрицательные внешние эффекты, связанные с их производством, эксплуатацией и утилизацией, что требует всестороннего анализа.

В-третьих, оценка эколого-экономической эффективности АИЭ представляет сложную многоаспектную задачу, требующую применения комплексных и зачастую междисциплинарных методов. Среди ключевых инструментальных подходов выделяются анализ жизненного цикла (LCA), оценка углеродного следа, расчет приведённой (нормированной) стоимости электроэнергии (LCOE), а также методы экономической оценки предотвращённых выбросов и других экстерналий, как положительных, так и отрицательных.

Существенная сложность заключается в полной и точной количественной оценке, и особенно монетизации, всех внешних эффектов, а также в учёте долгосрочных последствий и неопределённостей, связанных с технологическим развитием и климатическими изменениями.

ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

В условиях глобального энергетического перехода и необходимости достижения национальных целей развития Российской Федерации⁴² трансформация национальных энергетических систем приобретает фундаментальное значение. В данном контексте необходимо провести анализ всех действующих нормативно-правовых актов, регулирующих отрасль, с точки зрения формирования инфраструктуры для её развития. Следует оценить, каким образом указанные документы в текущий период стимулируют строительство альтернативных источников энергии и способствуют привлечению рыночных инвестиций. На основе полученных результатов требуется выявить ключевые преимущества и недостатки нормативной базы, оказывающие влияние на становление альтернативной энергетики в Российской Федерации. Глава 2 посвящена комплексному анализу состояния и перспектив развития энергетического комплекса в контексте поиска экономического и экологического обоснования баланса между развитием традиционной и альтернативной энергетики в России.

2.1. Особенности институционального развития альтернативных источников энергии в России и проблемы устойчивой энергетической системы в условиях приоритетной поддержки развития ВИЭ⁴³

Энергопереход в России представляет собой многоуровневый и сложный процесс, который начался на рубеже XX и XXI веков и набирает особую актуальность в условиях климатических перемен, усиления глобальных процессов, увеличения экологической ответственности и движения к углеродной нейтральности. В контексте развития альтернативной энергетики ВИЭ является важным элементом энергетической стратегии диверсификации и формирования

⁴² Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁴³ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: Сергеева С.А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. 2024. Т.60, № 4. С. 148–153.

устойчивой энергетики. В России, где присутствуют запасы традиционных источников энергии, инновации в сфере ВИЭ позволяют более эффективно использовать энергоресурсы. В рамках исследования особое внимание необходимо уделить ВИЭ поскольку определение оптимального баланса между использованием различных источников энергии в значительной степени определяется темпами прогресса в этой области.

Развитие ВИЭ в России прошло несколько этапов, каждый из которых имел свои особенности, законодательные инициативы и участников.

В начале 2000-х годов в России проявилось осознание важности диверсификации энергетического сектора, что было необходимо в условиях зависимости от углеводородных ресурсов. В этот период можно говорить о первых зачатках институциональных изменений, направленных на поддержку ВИЭ, несмотря на низкий уровень заинтересованности со стороны как государства, так и частного сектора. Программы, призванные стимулировать инвестиции в эту сферу, оставались ограниченными, что свидетельствовало о недостаточной институциональной инфраструктуре. В 2009 г. в стране был принят закон «Об альтернативных источниках энергии»⁴⁴. Этот закон стал основным нормативным актом, регламентирующим развитие ВИЭ, и установил правовую основу для использования солнечной и ветровой энергии. В этот же период были предприняты попытки провести институциональную реформу в энергетической отрасли (см. таблица 3).

Таблица 3 – Хронология институциональной реформы в области развития ВИЭ

1	2	3
Дата принятия закона	Название документа	Комментарии
2008 г.	Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О внесении изменений в отдельные	Принятие закона способствовало созданию правовой базы для

⁴⁴ Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

Окончание таблицы 3, Хронология институциональной реформы в области развития ВИЭ

1	2	3
	законодательные акты Российской Федерации в части регулирования отношений в области возобновляемых источников энергии»	стимулирования развития отрасли ВИЭ
2009 г.	Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2009 г. № 1420 «О мерах по реализации Федерального закона "О государственной поддержке использования возобновляемых источников энергии"»	Документ определил основные критерии и механизмы поддержки проектов в области возобновляемых источников энергии
2010 г.	Федеральный закон от 28 декабря 2010 г. № 363-ФЗ «О государственном регулировании теплоэнергетики и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации»	Принятый закон содержал положения, касающиеся поддержки теплоэнергетических систем, включая возможности интеграции ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭМ).

ОРЭМ — оптовый рынок электроэнергии и мощности.

Источник: составлено автором.

С 2013 г. можно наблюдать устойчивый рост альтернативной энергетики, который стал возможен благодаря создаваемым институциональным рамкам. В 2015 г. были приняты изменения к Федеральному закону от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «О электроэнергетике», в которых изложены положения, касающиеся поддержки возобновляемых источников. Эти меры способствовали улучшению инвестиционной привлекательности проектов в сфере ВИЭ^{45 46}.

В тот же период была утверждена схема развития Единой энергетической системы России, в которой наряду с развитием атомной энергетики акцентировалось внимание на необходимости увеличения доли ВИЭ и

⁴⁵ Федеральный закон "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с укреплением платежной дисциплины потребителей энергетических ресурсов" от 03.11.2015 N 307-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁴⁶ Федеральный закон «О внесении изменений в статью 23.2 Федерального закона «Об электроэнергетике» от 30.12.2015 N 450-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

формирования соответствующей инфраструктуры. Данный документ также предусматривает внедрение программ поддержки, направленных как на крупные проекты, так и на малый бизнес, что способствовало росту экономической активности в регионах⁴⁷. Кроме того, в 2020 г. была утверждена «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года». Этот документ определил приоритеты и направления развития российского энергетического сектора, включая цели по увеличению доли ВИЭ до 4.5% в итоговом потреблении энергии, что отражало стремление к диверсификации источников энергоснабжения и к улучшению энергетической безопасности страны⁴⁸.

В этот же период существенно увеличиваются объёмы инвестиций в возобновляемую энергетику, а также активизируется деятельность частного сектора. Этому способствовала разработанная Правительством программа стимулирования развития ВИЭ в России путём введения тарифного механизма (далее ДПМ ВИЭ — договор поставки мощности), который помогает генерирующим компаниям гарантированно получать возврат инвестиций в строительство генерирующих объектов.

Первый отбор проектов по ДПМ ВИЭ проходил с 2013 по 2020 г. Период вводов новой мощности по договорам первой очереди был определён, вплоть до 2024 г. *После первого конкурса ДПМ ВИЭ 1.0 стал заметен ряд недостатков механизма отбора проектов.*

Во-первых, механизм не создал стимулы для дальнейшего повышения эффективности оборудования и его модернизации. Оплата уже была гарантирована тарифным механизмом через плату за мощность.

Во-вторых, механизм не мотивировал генерирующие компании на поиск иных источников финансирования и рынков сбыта. Также у генерирующих компаний не было необходимости выходить на рынок экспорта. В этом плане

⁴⁷ Приказ Минэнерго России от 01.03.2017 N 143 «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2017 - 2023 годы» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁴⁸ Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

отечественный сегмент ВИЭ изначально начал отставать от атомной энергетики, успешно реализующей международные проекты.

В-третьих, на конкурсных отборах наблюдался ограниченный уровень конкуренции, а реализация проектов в сфере ВИЭ в целом характеризовалась низкой инвестиционной привлекательностью вследствие недостаточной окупаемости (за исключением проектов СЭС в 2013–2014 гг. и ВЭС в 2017–2018 гг.).

В-четвертых, механизм ДПМ ВИЭ 1.0 не учитывал возможных технических ограничений в рамках энергосистемы.

В-пятых, запланированных объёмов ДПМ ВИЭ 1.0 оказалось недостаточно для полноценной локализации производства оборудования.

В 2021 г. Правительством Российской Федерации было принято решение о продлении программы поддержки ВИЭ-генерации до 2035 г. Второй этап программы поддержки в экспертном сообществе получил название ДПМ ВИЭ 2.0. Программа ДПМ ВИЭ 2.0, в отличие от программы ДПМ ВИЭ 1.0, не содержит точных объёмных показателей по установленной мощности ВИЭ-генерации.

С учётом предыдущих недостатков в 2021 г. состоялся отбор проектов по новым правилам⁴⁹. Новый законопроект был доработан, созданы преимущества для поставщиков и потребителей энергии:

- стимулы к выработке «зелёной» энергии становятся прямыми и более выраженными;
- отсутствует жёсткая взаимосвязь установленной мощности с регулирующим механизмом, что стимулирует генерирующие компании быть более эффективными;
- нагрузка на потребителей ограничена установленными Правительством лимитами;

⁴⁹ Распоряжение Правительства РФ от 24.10.2020 N 2749-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

— фиксация долгосрочной цены на электроэнергию исключит её волатильность, что позволит поставщикам и потребителям достоверно планировать доходы и расходы;

— гибкий отбор выработки позволит в условиях конкуренции не менять минимальные объёмы при отклонении удешевления технологий от учтённых в расчете капитальных затрат.

Одно из требований к реализации проектов ДПМ ВИЭ 1.0 — **степень локализации**. Для отборов первого этапа ДПМ ВИЭ 1.0 были утверждены нормативы, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Степень локализации ДПМ ВИЭ 1.0

Виды генерирующих объектов	Год ввода в эксплуатацию	Целевой показатель степени локализации, %
Генерирующие объекты, функционирующие на основе энергии ветра	С 2015 по 2016	25
	2017	40
	2018	55
	С 2019 по 2024	65
Генерирующие объекты, функционирующие на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца	С 2014 по 2015	50
	С 2016 по 2024	70
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 25 МВт, функционирующие на основе энергии вод	С 2014 по 2015	20
	С 2016 по 2017	45
	С 2018 по 2024	65

Источник: составлено автором.

В рамках второго этапа программы поддержки осуществлён переход от процентной к балльной системе расчёта вкладов элементов оборудования в степень локализации. Мера создана для перехода на использование отечественных материалов внутри компонентов оборудования и в итоге формирования локальных цепочек поставок с высокой степенью технологической независимости в сегменте оборудования для ВИЭ-объектов (таблица 5).

Таблица 5 – Степень локализации ДПМ ВИЭ 2.0

Виды генерирующих объектов	Год ввода в эксплуатацию	Целевой показатель степени локализации, баллы
Генерирующие объекты, функционирующие на основе энергии ветра	С 2025 по 2030	87
	С 2031 по 2035	102
Генерирующие объекты, функционирующие на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца	С 2025 по 2027	110
	С 2028 по 2035	120
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 50 МВт, функционирующие на основе энергии вод	С 2025 по 2030	85
	С 2031 по 2035	95

Источник: Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 (ред. от 3 мая 2024 г.) «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» (вместе с Правилами определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, с изм. и доп., вступ. в силу с 1 июля 2024 г.)

Степень локализации по генерирующему объекту определяется как сумма вкладов каждого элемента оборудования (оборудования в сборе) и работ (услуг), выполняемых при проектировании генерирующего объекта. При этом отдается приоритет наиболее высокотехнологичным компонентам, начисляя за их производство большее количество баллов для определения степени локализации. Перечни вкладов отдельных элементов в степень локализации для генерирующих объектов, функционирующих на основе использования ВИЭ, представлены ниже.

Другим требованием к проектам второго этапа отбора является **требование к целевому показателю экспорта, таблица 6**. Целевой показатель экспорта определен в процентах как отношение объемов экспортной выручки от экспорта промышленной продукции, приходящейся на генерирующий объект, к величине, равной производству планового годового объема производства электрической

энергии и показателя эффективности генерирующего объекта, с учётом его индексации.

При этом под экспортом промышленной продукции понимается экспорт программ и оборудования, производимого юридическим лицом — поставщиком оборудования для объекта генерации, т.е. компания, владелец генерирующего объекта не может фактически влиять на этот параметр.

Таблица 6 – Целевые показатели экспорта

Виды генерирующих объектов	Год ввода в эксплуатацию	Целевой показатель экспорта, %
Генерирующие объекты, функционирующие на основе энергии ветра	С 2025 по 2029	20
	С 2030 по 2032	40
	С 2033 по 2035	60
Генерирующие объекты, функционирующие на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца	С 2025 по 2026	20
	С 2027 по 2028	40
	С 2029 по 2030	260
	С 2031 по 2035	300
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 50 МВт, функционирующие на основе энергии вод	С 2025 по 2030	4
	С 2031 по 2035	9

Источник: Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 (ред. от 3 мая 2024 г.) «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» (вместе с Правилами определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, с изм. и доп., вступ. в силу с 1 июля 2024 г.)

За несоблюдение целевых показателей экспорта цена на мощность штрафует на определенный коэффициент (таблица 7).

Таблица 7 – Штрафной коэффициент к ценам ДПМ-2 ВИЭ за несоблюдение требования к целевому показателю экспорта

1	2	3
Годы ввода объекта	ВЭС	СЭС
2025–2026	0,9	0,9
2027–2028		0,79
2029		0,38

Окончание таблицы 7 – Штрафной коэффициент к ценам ДПМ-2 ВИЭ за несоблюдение требования к целевому показателю экспорта

1	2	3
2030	0,79	0,27
2031–2032		
2033–2035	0,67	

Источник: Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 (ред. от 3 мая 2024 г.) «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» (вместе с Правилами определения цены на мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, с изм. и доп., вступ. в силу с 1 июля 2024 г.)

Таким образом, правила рынка должны были подтолкнуть участников конкурса ВИЭ **приобретать уже действующие либо развивать с нуля производство оборудования для проектов ВИЭ, чтобы исключить риски по невыполнению данного показателя.**

Введённые санкции против России внесли ряд корректировок в развитие возобновляемой энергетики в стране. *В первую очередь* это связано с уходом с российского рынка крупных генерирующих поставщиков альтернативной энергии. *Во-вторых*, производители компонентов и оборудования для строительства генерирующих объектов ВИЭ — иностранные поставщики — тоже покинули российский рынок. *И в-третьих*, были заморожены пусконаладочные работы на новых станциях ВИЭ из-за отсутствия иностранных экспертов. В результате у участников конкурса возникли трудности с выполнением обязательств по договорам ДПМ.

Правительство РФ приняло ряд антикризисных мер для поддержания развития возобновляемой энергетики в России: инвесторам было предоставлено право перенести сроки ввода объектов в эксплуатацию: по строительству объектов ВИЭ-генерации — на 24 месяца, для МГЭС — на 30 месяцев. Дополнительно принят ряд мер по поддержке отрасли. После того как компании объявили о своём уходе, Президент России подписал указ, который препятствует продаже активов с

долями иностранных инвесторов из недружественных стран в российских стратегических предприятиях, корпорациях ТЭК и банков.

На основе изученной информации автором сформулированы основные этапы институционального развития альтернативной энергетики в России, более подробно см. таблицу 8.

Таблица 8 – Основные этапы развития возобновляемой электрогенерации в России

Период	Название этапа	Особенности
Этап 1 (2009– 2013 гг.)	Формирование нормативно-правовой базы	В этот период произошло формирование правовой базы и законодательных инициатив, направленных на поддержку ВИЭ. Наблюдалась первые инвестиционные проекты в области солнечной и ветровой энергетики, которые в основном носили локальный и экспериментальный характер
Этап 2 (2014– 2020 гг.)	Активизация инвестиционной деятельности — ДПМ ВИЭ 1.0	В этот период были реализованы первые крупномасштабные инвестиционные проекты в отношении солнечных и ветровых электростанций, а также начались исследования по созданию оффшорных ветровых парков. Тем не менее, несмотря на усилия государственного регулирования, доля ВИЭ в общем энергетическом балансе страны оставалась незначительной
Этап 3 (2021– 2025 гг.)	Углубление локализации и технологическое развитие — ДПМ ВИЭ 2.0	На третьем этапе Россия начала реализацию стратегического подхода к развитию возобновляемых источников энергии, что привело к разработке федеральных и региональных программ, направленных на создание устойчивого внутреннего рынка ВИЭ. За этот период произошло значительное расширение установленных мощностей солнечной и ветровой энергетики, а также внедрение новых технологий хранения энергии, что позволило улучшить устойчивость сети и повысить эффективность работы ВИЭ
Этап 4 (2025- 2030)	Рыночная интеграция и диверсификация	На текущем этапе отмечается акцент на инновационные технологии и интеграцию ВИЭ в существующие энергетические системы, поиска разумного баланса между

Окончание таблицы 8, Основные этапы развития возобновляемой электрогенерации в России

		развитием ВИЭ, атомной энергетики и традиционной электро-генерации. Основное внимание уделяется повышению энергетической эффективности за счёт отечественных цифровых технологий и интеграции возобновляемых источников в энергосистему страны
--	--	--

Источник: составлено автором.

Тем не менее в отчётах о развитии ВИЭ в России в этот период также подчеркивались возникающие проблемы. Одной из таких проблем стали инфраструктурные барьеры, которые замедляли реализацию проектов. Численный рост ВИЭ также не всегда был подкреплён необходимой инфраструктурой для подключения к электросетям, что создавало дополнительные транзакционные издержки и препятствовало эффективному функционированию рынка. Ожидаемое увеличение доли ВИЭ в энергобалансе, связанное с амбициозными экономическими целями, подразумевало диверсификацию экономики, создание новых рабочих мест и развитие новых технологических отраслей. Однако в реальности реализация этих инициатив сталкивалась с серьёзными вызовами, такими как недостаточная инфраструктурная готовность и необходимость в адаптации существующих энергетических систем к новым требованиям.

Существующие механизмы отбора инвестиционных проектов строительства альтернативных источников энергии в электроэнергетике характеризуются рядом недостатков. Указанные системные недостатки формируют существенные риски для обеспечения энергетической безопасности государства и создают барьеры на пути устойчивого развития национальной экономики, более подробно см. таблицу 9.

Таблица 9 – Основные недостатки текущих механизмов привлечения инвестиций для альтернативной генерации

1	2
Мера стимулирования инвестирования	Описание основных недостатков механизма возврата инвестиций
<i>Альтернативная генерация (ВИЭ, АЭС, ГЭС)</i>	
<p>Договор о предоставлении мощности для возобновляемых источников энергии (ДПМ ВИЭ)⁵⁰</p>	<p>1) Объём 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>2) 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>
<p>Договор о предоставлении мощности для (ДПМ АЭС/ГЭС)</p>	<p>1) 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>2) 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</p>

⁵⁰ Основные меры поддержки ВИЭ на оптовом рынке электрической энергии и мощности определены в постановлениях Правительства РФ от 28.05.2013 № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» и от 27.12.2010 № 1172 «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». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

Окончание таблицы 9, основные недостатки текущих механизмов привлечения инвестиций для альтернативной генерации

1	2
	возобновляемых источников энергии (ВИЭ) при прочих равных условиях
Договор о предоставлении мощности в неценовой зоне ⁵¹ (ДПМ НЦЗ до 1 января 2025 г.)	Отсутствует конкуренция между участниками конкурса и технологиями из-за внеконкурсного условия в связи с территориальным расположением проектов в неценовой зоне, т.е. вне рынка электроэнергетики.

Источник: составлено автором.

Ещё одним важным инструментом для мониторинга и оценки прогресса развития энергетики в России является обзор «Добровольный национальный обзор хода осуществления Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»⁵², подготовленный Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации. В документе подробно обсуждаются трудности и вызовы, с которыми сталкивается страна на пути к достижению национальных целей в области энергетики. Среди областей, в которых не удалось достичь запланированных результатов, можно выделить следующие.

Темпы роста внедрения ВИЭ в энергетический баланс страны оказались ниже ожидаемых. Положительные результаты в отдельных проектах не были распространены на всю отрасль.

Недостаточный прогресс в сфере экологической устойчивости. Несмотря на усилия по увеличению доли возобновляемых источников энергии и улучшению энергоэффективности, существенных успехов в сокращении общего уровня загрязнения окружающей среды не достигнуто. Это связано с продолжением зависимости от ископаемых источников энергии и неэффективными системами

⁵¹ До 01.01.2025 г. Дальний Восток относился в неценовой зоне ОРЭМ

⁵² Добровольный национальный обзор хода осуществления Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. АНЦ при Правительстве Российской Федерации, 2020. URL: <https://economy.gov.ru/material/file/download/dcbc39abeafb0418d9d48c06c958e454/obzor.pdf> (дата обращения: 23.04.2025)

управления отходами, что, в свою очередь, негативно сказывается на состоянии экосистем и здоровье населения.

Нехватка предусмотренных схем для подключения альтернативных источников энергии к общей сети и отсутствие чётких механизмов учёта выработанной энергии создают препятствия для дальнейшего расширения их использования. Энергия, производимая из частных и местных источников ВИЭ, также сталкивается с проблемами интеграции в существующую энергетическую инфраструктуру.

Поднимается вопрос о необходимости интеграции инновационных технологических решений с экологической политикой. Это подчёркивает необходимость координации межсекторальной политики и создания многоуровневых институциональных связей.

Таким образом, институциональный обзор демонстрирует, что Российская Федерация движется в направлении устойчивого развития энергетического комплекса. Однако для достижения амбициозных целей необходимо инвестировать в передовые технологии, повышать энергоэффективность и развивать возобновляемые источники энергии, соблюдая баланс между развитием традиционной и альтернативной электрогенерации.

2.2. Региональное распределение объектов возобновляемой энергетики и технологические возможности, ограничения развития отрасли⁵³

Текущее состояние возобновляемой энергетики России демонстрирует прогресс, однако остается подверженным новым вызовам и ограничениям, (см. рисунок 4). Существует сильная конкуренция со стороны традиционных источников энергии, таких как газ и уголь, которые по-прежнему доминируют на российском энергетическом рынке благодаря своей стоимости и привлекательности

⁵³ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: Сергеева С.А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. 2024. Т.60, № 4. С. 148–153.

в плане капиталовложений. На эти источники установлены низкие цены, кроме того, стабильная существующая система распределения и логистики создают серьезные преграды для альтернативных технологий.

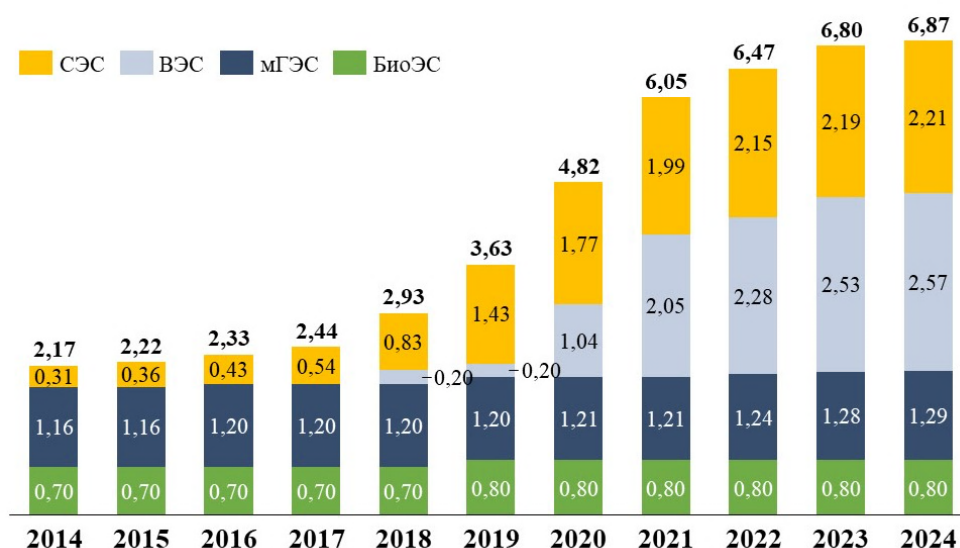


Рисунок 4 – Совокупная установленная мощность электростанций на основе ВИЭ за 10 лет (2014–2024 гг.), ГВт

Источник: составлено автором по данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ).

Постепенно становятся популярными солнечные электростанции как в южных регионах страны с высоким уровнем солнечной инсоляции, так и в других частях, где поставлены амбициозные цели по снижению углеродных выбросов, рисунок 4. Ветровая энергетика также имеет значительный потенциал, особенно в прибрежных и северных регионах, где ветровые ресурсы позволяют создавать эффективные электроэнергетические системы (рисунок 5).

Проанализировав размещение объектов ВИЭ по территории России можно выделить регионы-лидеры по установленной мощности СЭС (Оренбургская, Астраханская, Волгоградская области, Ставропольский край, республики Калмыкия, Башкортостан) и ВЭС (Ростовская область, Ставропольский край, республика Адыгея) (см. рисунок 5). Такое географическое распределение развития ВИЭ в России указывает на сильную концентрацию на солнечной и ветровой генерации и значительную географическую неравномерность. Другие альтернативные источники электрогенерации развиваются значительно медленнее.

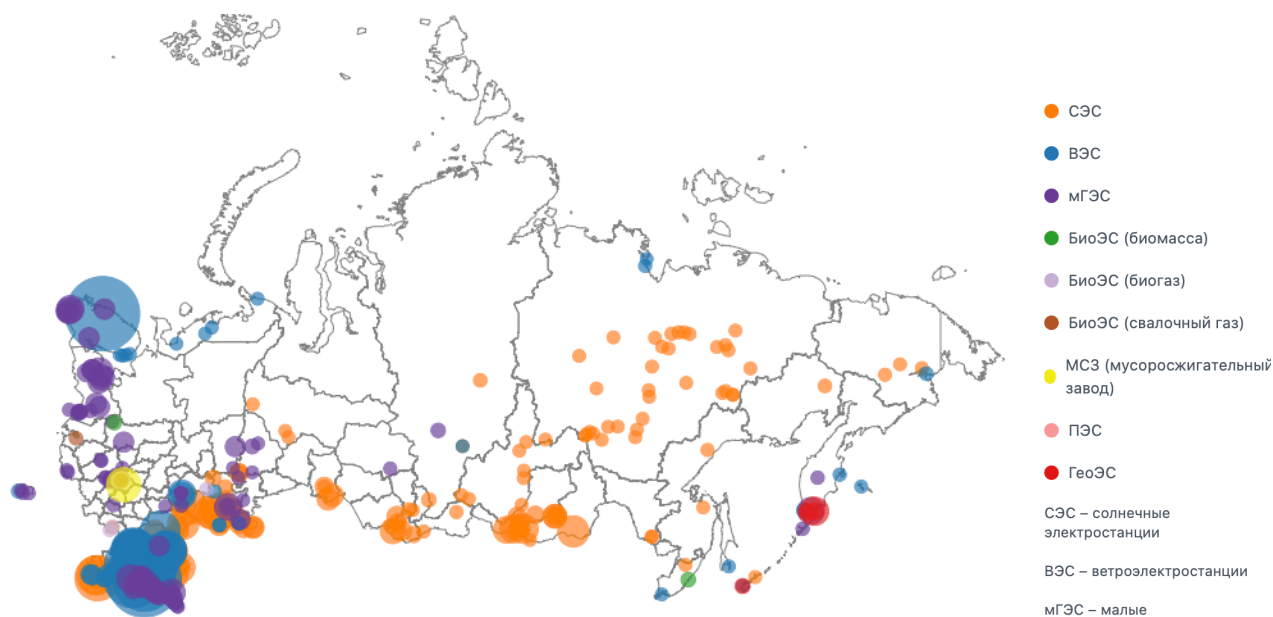


Рисунок 5 – Объекты ВИЭ-генерации в регионах России

Источник: Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ), 2025.

URL: <https://rreda.ru/industry/imap/> (дата обращения: 03.08.2025).

Экономическая модель развития ВИЭ в России построена на создании гарантированного инвестиционного контура, который обеспечивает окупаемость проектов в условиях высокой конкуренции со стороны традиционной энергетики. Ключевым катализатором экономического развития стала государственная программа поддержки ДПМ ВИЭ 1.0, запущенная в 2013 г. Без этой целенаправленной политики экономика проектов ВИЭ была бы неконкурентоспособной по сравнению с традиционной генерацией. Суть механизма ДПМ ВИЭ заключается в следующем: инвестор, выигравший при конкурсном отборе, строит объект генерации на основе ВИЭ и получает право в течение 15 лет продавать его мощность на оптовом рынке по фиксированной, повышенной цене. Эта цена рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить инвестору возврат капитальных затрат (CAPEX) и достижение установленной нормы базовой доходности. Формула платежа за мощность в упрощённом виде учитывает нормативные капитальные затраты, норму доходности и операционные расходы.

Платеж по ДПМ ВИЭ можно представить как сумму двух компонентов: возврата инвестиций и покрытия операционных издержек. Гарантированный платёж за мощность обеспечивает инвесторам стабильный и прогнозируемый денежный поток, что кардинально снижает инвестиционные риски. Базовая норма доходности, изначально установленная на уровне 14% годовых, являлась ключевым стимулом для привлечения частного капитала в новую отрасль.

Суммарно по ДПМ ВИЭ 1.0 было отобрано 5 641 МВт, из них 3569 ветровой генерации (ВЭС), 1858 МВт солнечной генерации (СЭС), остальное — малая гидрогенерация (мГЭС). Согласно отчету⁵⁴ Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) за IV квартал 2023 г., по состоянию на 1 января 2024 г. введено в эксплуатацию 4295 МВт объектов ВИЭ-генерации относящейся к ДПМ-1 ВИЭ. Доля введенных в эксплуатацию генерирующих мощностей, отобранных по результатам конкурса ДПМ-1 ВИЭ: 68% — ВЭС, 96% — СЭС, 41% — мГЭС. А совокупная установленная мощность ВИЭ в энергосистеме России на 1 января 2024 г. составляет 263,1 тыс. МВт⁵⁵ (более подробно см. рисунки 6 и 7).

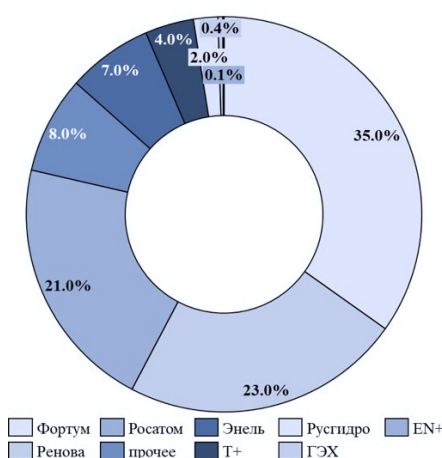


Рисунок 6 – Распределение проектов ДПМ-1 ВИЭ по установленной мощности холдингов

Источник: составлено автором по данным АРВЭ.

URL: <https://rreda.ru/industry/statistics/> (дата обращения: 25.02.2025).

⁵⁴ Информационный обзор рынка ВИЭ в России (октябрь – декабрь 2023г.) URL: <https://rreda.ru/products/quarterly-reviews/review-1552> (дата обращения: 07.07.2024)

⁵⁵ По данным Системного оператора Единой Энергетической системы. URL: <https://www.sos-ops.ru/functioning/ups/ups2024/#:~:text=На%201%20января%202024%20года,неэффективного%20и%20устаревшего%20генерирующего%20оборудования> (дата обращения: 07.07.2024)

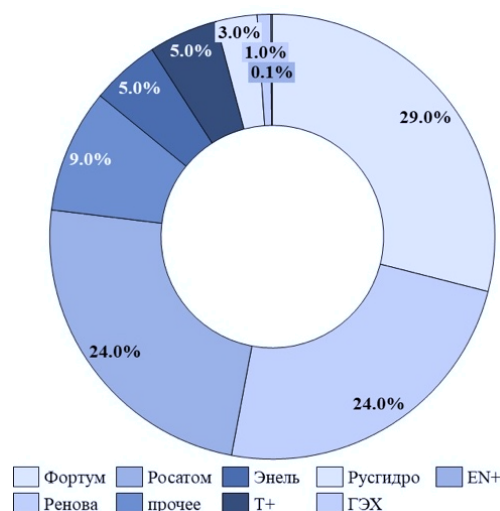


Рисунок 7 – Распределение проектов ДПМ-1 ВИЭ по заявленному капитальным затратам холдингов

В рамках первого отбора по обновлённой программе поддержки ДПМ ВИЭ 2.0 было отобрано 2722 МВт новой мощности от альтернативных источников энергии, в том числе 1851 МВт — ВЭС, 774 МВт — СЭС и 96 МВт — мГЭС (рисунок 8)⁵⁶. Ввод новых проектов в рамках состоявшегося отбора должен осуществляться с 2023 по 2028 г.

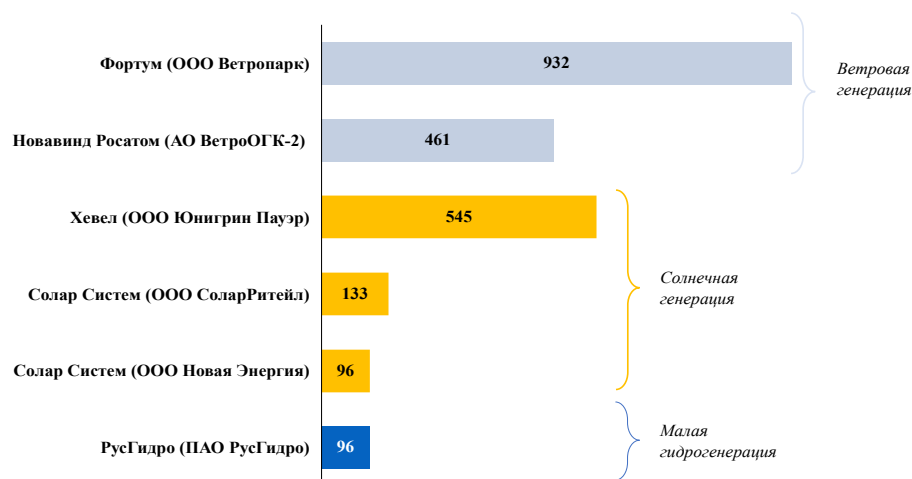


Рисунок 8 – Распределение проектов конкурсного отбора 2021 г.

Источник: составлено автором по данным АРВЭ.

URL: <https://rreda.ru/industry/statistics/> (дата обращения: 25.02.2025).

⁵⁶ Решением протокола № 18/2022 заочного голосования Наблюдательного совета Ассоциации «НП Совет рынка» от 23 декабря 2022 года 12 проектов ВЭС Фортума суммарной мощностью 459 МВт были отозваны.

По результатам конкурса крупнейшим портфелем проектов на рынке возобновляемой энергетики стала обладать энергетическая компания «Фортум» (проекты ВЭС) суммарной мощностью 2906 МВт (с учётом отказов в конце 2022 г.). Второй по величине стала компания «Росатом» (проекты ВЭС, 1654 МВт), третьей — «Ренова» (проекты СЭС, 1298 МВт).

С начала действия программы поддержки ВИЭ-генерации на оптовом рынке электроэнергии и мощности в России (ДПМ ВИЭ) по состоянию на июль 2024 г. введены в эксплуатацию и начали поставку мощности 105 электростанций на основе ВИЭ, в том числе 70 солнечных электростанций (1 788,3 МВт), 26 ветроэлектростанций (2455,0 МВт), 9 малых гидроэлектростанций (136,5 МВт)⁵⁷. Согласно данным схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 гг., на начало 2024 г. доля альтернативных источников энергии в России составила 1,85% (рисунок 9).

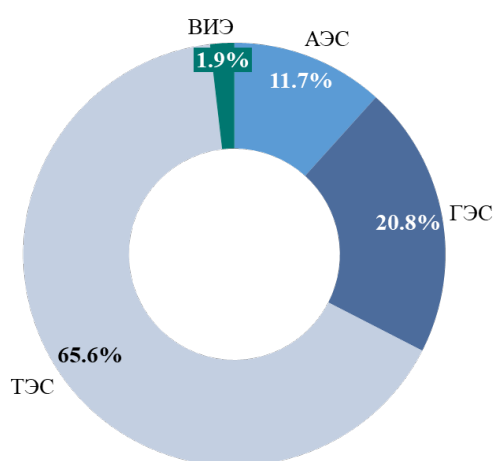


Рисунок 9 – Энергетический баланс России на начало 2024 г.

Источник: составлено автором по данным Системного оператора единой энергетической системы.

URL: <https://events.vedomosti.ru/events/vie22> (дата обращения: 25.02.2025).

⁵⁷ По данным АРВЭ. URL: <https://treda.ru/industry/statistics/> (дата обращения: 25.02.2025).

На рисунке 10 представлен прогноз прошедших отбор проектов ДПМ ВИЭ и дальнейший прогноз вводов по распоряжению Правительства Российской Федерации №1-р до 2035 г. с учётом оформленных отсрочек⁵⁸.

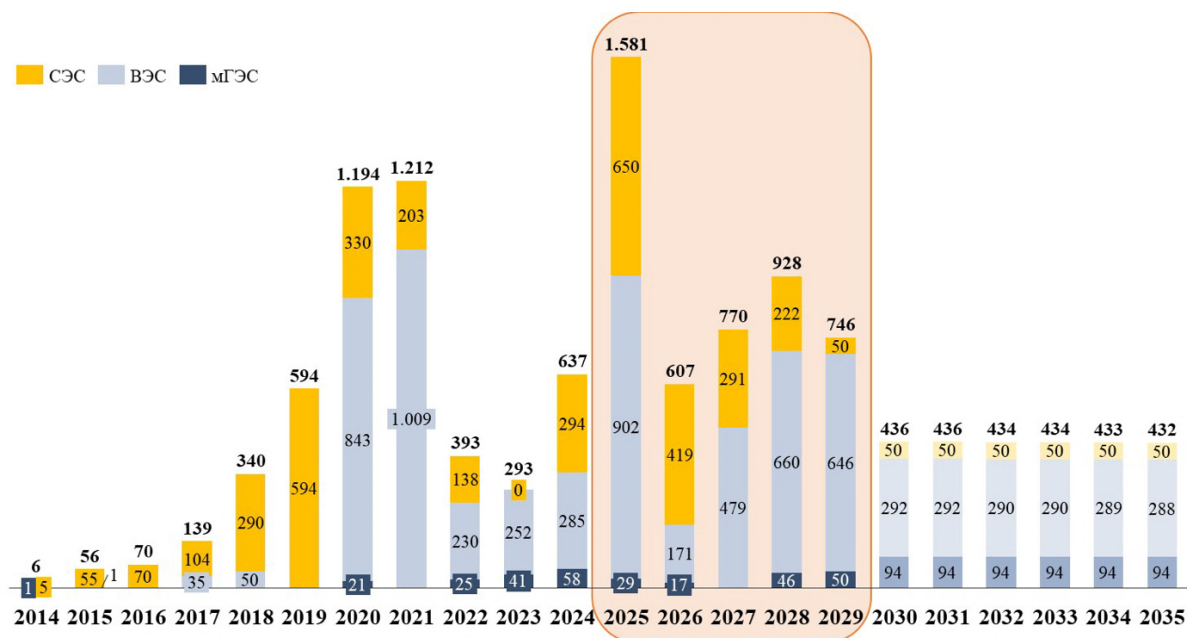


Рисунок 10 – Фактические и плановые показатели вводов ВИЭ, МВт

Источник: составлено автором по данным НП «Совет Рынка», АО «АТС» и распоряжению Правительства РФ от 8 января 2009 г. №1-р.

Важнейшим элементом программы ДПМ ВИЭ 2.0 является требование по локализации производства оборудования. Для получения права на поддержку инвестор обязан использовать оборудование (солнечные модули, инверторы, ветротурбинные установки и их компоненты), произведённое на территории Российской Федерации, с поэтапным увеличением степени локализации. Экономический смысл этого требования двояк. С одной стороны, оно стимулирует создание в стране высокотехнологичных производств и новых рабочих мест, формируя полноценный промышленный кластер. С другой стороны, на начальном этапе это требование приводило к удорожанию проектов по сравнению с

⁵⁸ Правительство России приняло антикризисные меры (в частности, предоставление нештрафуемой отсрочки на срок до 24 (36) месяцев), практически все ранее запланированные проекты были сохранены, при этом их реализация была отложена на период от 7 до 24 месяцев.

использованием готовых импортных решений, что является осознанной экономической платой за развитие внутренних компетенций.

Для соответствия требованиям ДПМ ВИЭ 2.0 к локализации производства крупные энергетические компании («Фортум», «ЭЛ5-Энерго» — бывший «Энел», «Росатом») заключили договоры партнерства с крупнейшими производителями ВЭС – Vestas, Lagerwey и Siemens Gamesa. Ориентировочные сроки локализации производства во всех случаях составляют 1–2 года, а требуемый объем инвестиций – 1–2 млрд руб.

Компания «Роснано» совместно с компанией «Фортум» и международным партнером Vestas заключила специвестконтракт (СПИК) на 8 лет, согласно которому Vestas обязан локализовать производство, взамен получая налоговые льготы. Таким образом, в Нижегородской области был построен завод по производству гондол, в Ульяновской области — завод по производству лопастей (мощностью 300 лопастей в год), а в Ростовской области — завод по производству башен ветряков (мощностью 100 башен в год). Это позволяет компаниям строить около 0,5 ГВт мощности ВЭС в год. Так как «Фортум» выиграл около 1,9 ГВт ВЭС в ДПМ ВИЭ, это обеспечит загрузку производственных мощностей Vestas до 2024 г.

«Росатом» также заключил договор партнерства с компанией Lagerwey, которая обеспечивает ему трансфер технологий производства ветроустановок мощностью 2,5 МВт (L100) и 4,5 МВт (L136), позволяет получить компетенции в области создания ветропарков, а также оказывает содействие в обучении персонала. Заводы в г. Волгодонск по производству гондол (мощностью 90 комплектов в год) и башен (мощностью 120 башен в год) обеспечивают компаниям мощность производства около 0,3 ГВт ВЭС в год и позволят ввести 1 ГВт выигранной «Росатомом» мощности до 2023–2025 гг. В этом случае загрузка мощностей также близка к максимальной, кроме того, существуют риски отставания технологий производства ВЭС из-за передачи лишь базовых технологий от компании Lagerwey.

Компания «ЭЛ5-Энерго» осуществляла локализацию оборудования ВЭС в партнерстве с Siemens Gamesa (через компанию СТГТ). Планируемая мощность

производства ВЭС составит 0,3 ГВт в год. «Энел» выиграл лишь около 0,36 ГВт ВЭС в ДПМ ВИЭ, чего недостаточно для полной загрузки локализованного производства.

Технологическую поддержку развития ВИЭ в России в основном оказывали компании Siemens Gamesa, Vestas и Lagerway⁵⁹. В течение 2022 и 2023 гг. все три компании прекратили свою деятельность на территории России, что напрямую отразилось на главных игроках рынка ВИЭ. Компании (ПАО «Фортум», ПАО «ЭД5-Энерго» и АО «НоваВинд») — лидеры конкурса ДПМ по вводу ветряной генерации потеряли поставки оборудования. Так как эти генерирующие компании имеют стратегическое значение для энергетики России, в компании ПАО «Фортум» и ПАО «Юнипро» было введено временное управление — назначено Росимущество⁶⁰.

На этом фоне особую роль стало играть импортозамещение, генерирующие компании испытали огромный удар от ухода иностранных компаний. На некоторое время было полностью парализовано строительство новых объектов генерации из-за отсутствия необходимых компонентов и оборудования.

Место на рынке поставки лопастей для ВЭС занял Росатом. В 2025 г. компания собирается возобновить производство лопастей для ВЭС в г. Ульяновске. Госкорпорация «Росатом» — лидер по уровню локализации производства для строительства ВЭС, её доля локализации на конец 2023 г. составила 68%. Дочерние компании уже производят генераторы, ступицы, башни гондолы на заводе «ВетроСтройДелаль». К 2027 г. Росатом планирует запустить производство неодимовых магнитов полного цикла на основе отечественной минерально-сырьевой базы.

Солнечная генерация также активно работала в направлении импортозамещения. Компании «Хевел» и «Юнигрин Энерджи» приняли решение о

⁵⁹ Возобновляемые перспективы. 2023. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6042045> (дата обращения: 20.09.2024)

⁶⁰ Росимущество разъяснило передачу ему под управление активов Fortum и Uniper. URL: https://www.vedomosti.ru/ecology/science_and_technology/articles/2022/06/16/926846-rossiiskii-rinok-vozbobnovlyaemoi-energetiki-zhdet-novih-igrokov (дата обращения: 20.09.2024)

совместном создании промышленного комплекса производства кремниевых пластин (1,3 ГВт в год) и фотоэлектрических ячеек (более 1 ГВт в год) в Калининградской области. Компании «Солар Системс» и «Солар Кремниевые технологии» начали крупные модернизации своих производств и углубления локализации при поддержке программы ВИЭ до 2035 г.

В 2023 г. был проведён ещё один конкурсный отбор на оптовом рынке электроэнергии и мощности в рамках ДПМ ВИЭ 2.0. Государство выделило на поддержку проектов по ДПМ ВИЭ 2.0 (второй этап) 360 млрд руб. После ухода лидеров конкурса предыдущих отборов на рынке появились новые участники. К основным инвесторам присоединились ООО «УралЭнергосбыт», взявшая на себя обязательства по вводу 739 МВт ветроэнергии, и «Юнигрин Энерджи» для строительства новых СЭС мощностью 1321 МВт.

Прежде всего следует отметить увеличение доли ВИЭ в общем энергетическом балансе страны. Это явление обусловлено внедрением инновационных технологий и реализацией программ, направленных на развитие солнечной и ветровой энергетики, а также малой гидроэнергетики. Примером успешной реализации данных инициатив является значительный рост установленных мощностей в сфере возобновляемого энергетического сектора, что, в свою очередь, содействует снижению зависимости экономики страны от ископаемых источников топлива. Этот аспект важен в контексте «зелёной» экономики, подчеркивающей необходимость создания эффективных институтов для «зелёного перехода». Рост объёмов производства и установленных мощностей ВИЭ также способствовал созданию новых рабочих мест. По оценкам аналитиков, по итогам первой программы ДПМ ВИЭ в России в секторе возобновляемой энергетики было создано более 11 тыс. рабочих мест, что положительно сказалось на экономическом развитии регионов, где развивались проекты ВИЭ⁶¹.

Солнечная и ветровая энергетика оказались наиболее быстро развивающимися сегментами альтернативной энергетики. Вместе с тем высокая

⁶¹ ВИЭ в России: первый шаг сделан, что дальше?»URL: <https://www.forbes.ru/partnerskie-materialy/410301-vie-v-rossii-pervyy-shag-sdelan-chno-dalshe> (дата обращения: 20.09.2024)

зависимость от поставок зарубежных технологий и оборудования сделали эти отрасли уязвимыми в условиях обострения международной обстановки. В ветровой, в солнечной электрогенерации и в сетевом хозяйстве наметился рост затрат. Одновременно на первый план стал выходить вопрос надёжности работы региональных энергетических систем.

2.3. Оценка перспективы развития альтернативных источников энергии в России⁶²

Правительство Российской Федерации ставит перед собой задачу сформировать надёжное, устойчивое и долгосрочное энергообеспечение страны, в частности, за счёт возобновляемых источников энергии. Наряду с этим энергетической отрасли необходимо развитие инновационных наукоёмких технологий и создание нового оборудования для развития ВИЭ в России. Также государственная политика направлена на развитие локального производства высокотехнологичного генерирующего и вспомогательного оборудования. Одновременно необходимо обеспечить выполнение международных обязательств России по ограничению выбросов парниковых газов.

Современный дизайн энергетической отрасли и цели её развития сегодня отражают три главных документа:

- 1) Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2050 года⁶³;
- 2) Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 г.⁶⁴;
- 3) Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 гг.⁶⁵

⁶² При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Сергеева С.А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. 2024. Т.60, № 4. С. 148–153.

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.

⁶³ Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2025 № 908-р. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года. // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁶⁴ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁶⁵ Приказ Минэнерго России от 29.11.2024 № 2328 от «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025 – 2030 годы». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

Энергетическая стратегия до 2050 г. — документ, который описывает основные задачи и цели для энергетической отрасли на долгосрочном горизонте планирования, включая меры государственной поддержки. Согласно целевому сценарию, потребление электроэнергии в России к 2050 г. увеличится более чем на 42% по сравнению с 2023 г. Чтобы удовлетворить возрастающие потребности экономики, необходимо осуществить комплексные меры по модернизации и развитию энергетической системы. Это включает строительство новых генерирующих мощностей и обновление существующих для повышения их эффективности и надежности, а также развитие возобновляемых источников энергии, которые будут способствовать диверсификации энергетического оборудования и внедрению инновационных технологий.

В рамках целевого сценария стратегии развития электроэнергетики до 2050 г. указывается, что установленная мощность ВИЭ (включая гидроэлектростанции) вырастет более чем на 40% по отношению к 2023 г.

Ключевая задача: «повышение эффективности использования генерации, основанной на возобновляемых источниках энергии, с целью обеспечения конкурентоспособности таких генерирующих объектов в рамках рыночных механизмов возврата инвестиций». Одним из ключевых направлений в развитии первичных источников энергии является задача по обеспечению стабильной и надёжной работы энергосистем, в структуре которых возрастает доля солнечной и ветровой генерации.

Ключевая задача в области развития отрасли ВИЭ: повышение экономической эффективности генерирующих объектов, работающих на основе возобновляемых источников энергии, с целью обеспечения их конкурентоспособности в условиях рыночных механизмов окупаемости капиталовложений. *Комплекс приоритетных мер для решения данной задачи включает:*

1. Оптимизацию механизмов регулирования: совершенствование нормативно-правовой базы, стимулирующей развитие возобновляемой энергетики на среднесрочную и долгосрочную перспективу.

2. Гармонизацию стандартов: адаптацию национальных стандартов в области ВИЭ с учетом передовых международных практик.

3. Стимулирование экспорта: создание условий для поддержки экспортных поставок оборудования, а также услуг в сфере проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания объектов ВИЭ за рубежом.

4. Сертификацию происхождения энергии: развитие систем подтверждения происхождения электроэнергии, выработанной из возобновляемых источников.

5. Формирование добровольного спроса: совершенствование инструментов стимулирования добровольного спроса потребителей на «зелёную» энергию.

6. Развитие систем накопления энергии: создание и внедрение систем аккумулирования электроэнергии (включая гидроаккумулирующие электростанции) для повышения эффективности использования генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры, а также для увеличения надёжности электроснабжения.

7. Использование отходов для генерации: при наличии экономической и инвестиционной целесообразности, а также при необходимости — частичное покрытие потребности в электроэнергии за счёт её выработки методом энергетической утилизации твёрдых коммунальных отходов.

Генеральная схема представляет собой документ, который обеспечивает выполнение задач Энергетической стратегии Российской Федерации в области электроэнергетики, учитывая сценарные условия и лучшие доступные технологии. Она является прогнозным документом для долгосрочного оптимального развития генерирующих мощностей и используется при формировании инвестиционных программ для строительства или реконструкции объектов энергетики с увеличением их установленной мощности.

Ежегодно спрос на электроэнергию и мощность стабильно растёт, за последние 5 лет среднегодовой рост потребления составил 2,5% (рисунок 11).

Согласно проекту Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. (далее — генеральная схема)⁶⁶, рост потребности в электроэнергии продолжится, и к 2042 г. суммарный прирост составит 32 млрд. кВт·ч (среднегодовой темп прироста 2,9%).

Существует риск появления энергодефицитных регионов. Одним из наиболее энергодефицитных регионов может стать Дальний Восток. Энергодефицит уже в ближайшие годы на Дальнем Востоке⁶⁷ обусловлен рядом причин:

- 1) изношенностью генерирующего фонда (средний возраст станции 40–50 лет);
- 2) отсутствием рыночного ценообразования (рынок электроэнергии Дальнего Востока функционирует в неценовой зоне оптового рынка, с регулируемыми, а не конкурентными тарифами);
- 3) тарифным регулированием государственными органами;
- 4) отсутствием капитальных инвестиций в энергетику в регионе (из-за отсутствия конкурентного рынка на территории не проводились конкурсы на модернизацию или строительство новой мощности за счёт тарифного механизма возврата инвестиций);
- 5) перекрестным субсидированием;
- 6) изолированностью территорий.

⁶⁶ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁶⁷ Энергодефицит может помешать развитию экономики Дальнего Востока, сессии «Новая энергия Дальнего Востока». Восточный экономический форум (ВЭФ). URL: <https://forumvostok.ru/news/energodefitsit-mozhet-pomeshat-razvitiyu-ekonomiki-dalnego-vostoka/>, дата обращения (17.03.2025)

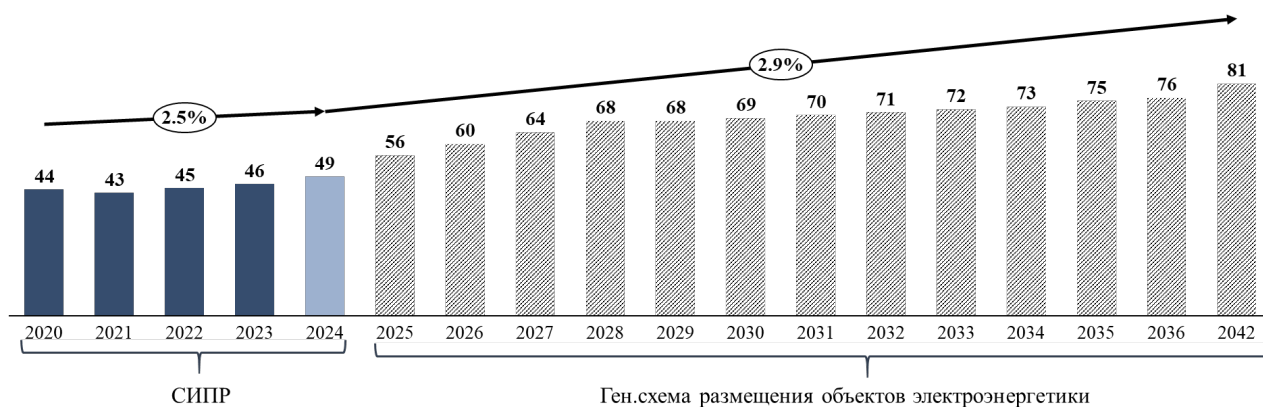


Рисунок 11 – Факт и прогноз потребления электрической энергии ОЭС
Восток, млрд кВт·ч

Источник: составлено автором по данным СиПР ЭЭС России на 2025–2030 гг. URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/public-discussion-sipr/public-discussion-sipr-2025-2030/> (дата обращения: 15.11.2024).

Схема и программа развития электроэнергетики (СиПР) — это комплексный документ, определяющий долгосрочное развитие электроэнергетической системы страны. Он включает анализ текущего состояния, прогноз спроса на электроэнергию, выработку стратегии развития, планирование строительства новых электростанций и линий электропередач, а также мероприятия по повышению эффективности и надёжности работы энергосистемы.

Среди других документов, которые определяют приоритетные направления для обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов, можно выделить Доктрину энергетической безопасности Российской Федерации. Одной из задач доктрины обозначено обеспечение технологической независимости топливно-энергетического комплекса и повышение его конкурентоспособности, создание и освоение передовых технологий в сфере энергетики, в том числе технологий использования ВИЭ.

Основные барьеры развития отрасли

Одним из ключевых факторов, ограничивающих развитие сектора ВИЭ, являются высокие капитальные затраты, требующиеся для первоначальных инвестиций в соответствующие технологии. Эти значительные финансовые

требования могут существенно снизить привлекательность проектов для потенциальных инвесторов, что, в свою очередь, повышает риски, связанные с реализацией инициатив в области ВИЭ. Готовность банков и финансовых институтов к финансированию инновационных решений остаётся на недостаточном уровне, что дополнительно ограничивает доступ к капиталу для проектов в этом секторе.

Немаловажную роль в поддержке развития отрасли оказывает государственные программы. К примеру, российское законодательство о «зелёных» тарифах позволяет генерирующим компаниям получать дополнительные финансовые стимулы за производство электроэнергии из возобновляемых источников. Исследования Пекинского университета указывают, что хотя технологии ВИЭ становятся всё более доступными, их интеграция в существующую энергетическую инфраструктуру остаётся затратной, и это вызывает необходимость в дополнительных мерах поддержки.

Несмотря на значительные шаги вперёд в деле повышения энергоэффективности в последние годы, Россия по-прежнему входит в число стран с крайне высокой энергоемкостью ВВП, таблица 10.

Таблица 10 – Динамика энергоемкости ВВП по странам по потребленным первичным энергоресурсам за 1999–2021 гг.

	Энергоемкость в кг. на н.э. на 1000 долл. ВВП (по ППС...)					Среднегодовые темпы снижения (-), роста (+) энергоемкости, %		
	1999	2007	2016	2020	2021	За 1999-2007 гг.	За 2007-2016 гг.	За 2016-2021 гг.
В целом по миру	199	141,5	114,5	101,5	98,6	-4,2	-2,3	-3,1
ЕС	151	119	85,6	67,8	67	-3	-3,6	-4,6
Германия	146	114	81	69	63	-3,1	-3,6	-4,9
США	236	171	122	107,1	94,8	-4	-3,7	-4,9
Канада	350	247,3	203,5	180,5	166,6	-4,3	-2,2	-4
Япония	150	117	91,3	82,4	76,6	-3,1	-2,7	-3,6
Китай	325	209,3	166,5	153	140,2	-5,4	-2,5	-3,4

Окончание таблицы 10 – Динамика энергоемкости ВВП по странам по потребленным первичным энергоресурсам за 1999–2021 гг.

	Энергоемкость в кг. на н.э. на 1000 долл. ВВП ^{..} (по ППС ^{...})					Среднегодовые темпы снижения (-), роста (+) энергоемкости, %		
	1999	2007	2016	2020	2021	За 1999-2007 гг.	За 2007-2016 гг.	За 2016-2021 гг.
Россия – расчет по ППС в долл.	452	225	198	168,7	169	-8,5	-1,4	-3
	-	-	-	-	-	-5,1	-0,1	+0,3

[·] кг на н.э. - килограмм-силы на нормальное эквивалентное значение

^{..} ВВП – внутренний валовой продукт

^{...} ППС – паритет покупательной способности

Источник: Соколов М. Энергоемкость экономики России и основные направления по ее сокращению // Энергетическая политика. 2023. № 7.

URL: <https://energypolicy.ru/energoemkost-ekonomiki-rossii-i-osnovnye-napravleniya-po-ee-sokrashheniyu/energetika/2023/20/31/> (дата обращения 05.07.2025).

Существует много угроз, способствующих сохранению этой ситуации:

1. Ухудшение энергетической безопасности страны и её регионов из-за недостаточного обеспечения растущих потребностей экономики в энергии и мощности.
2. Ослабление конкурентоспособности энергоёмкой российской промышленности и других секторов экономики.
3. Увеличение финансовой нагрузки на население из-за высоких цен на энергоносители, что, в свою очередь, сохраняет высокий уровень бедности и затрудняет сбор коммунальных платежей.
4. Перераспределение значительной доли инвестиционных средств на крупные проекты в области топливно-энергетического комплекса, что приводит к увеличению тарифов и, следовательно, ускоряет инфляцию.
5. Значительная нагрузка коммунальных расходов на бюджеты городов, регионов и федерации.

6. Высокий уровень загрязнения природы, что повышает риск техногенных катастроф и усложняет выполнение международных обязательств по контролю за выбросами парниковых газов.

7. Отставание от ведущих стран в переходе к «зелёной» экономике, которая способствовала бы устойчивому развитию.

Ещё одна ключевая проблема для развития ВИЭ в России — отсутствие оборудования и технологий для строительства СЭС и ВЭС. До 2022 г. отрасль обслуживали и обеспечивали всем необходимым три компании: Vestas, Siemens и Largerwey. Все они ушли из России в связи с политическими событиями 2022 г. В столь сжатые сроки отрасль не может самостоятельно справиться с нехваткой оборудования путем импортозамещения.

Перед отраслью стоит непростой выбор: потратить больше времени, но наладить долгосрочное производство отечественных комплектующих и добиться полного технологического суверенитета или в сжатые сроки найти новые схемы поставок оборудования по параллельному импорту. Александр Ковалев, аналитик ФГ «Финам», говорит, что наиболее вероятным решением для развития ВИЭ в России станет налаживание совместного производства с китайскими партнерами, среди них крупные азиатские игроки: Goldwind, Envision, Mingyang, Shanghai Electric.

Первый заместитель декана факультета экономики и бизнеса Финансового университета, профессор И.В. Петров⁶⁸, среди наибольших рисков называет недоступность IT-инфраструктуры на иностранном программном обеспечении. «Проекты с участием зарубежных партнеров приостановлены, но это не критично. Например, компания Enel ушла с российского рынка, а азовский ветропарк ПАО "Энел Россия" продолжает работать в штатном режиме», — говорит он.

По прогнозу консалтинговой компании Kert существует два сценария развития отрасли. На горизонте 2027 г. возможна технологическая независимость при покупке лицензии у иностранных поставщиков дружественных стран. Второй

68 Возобновляемые перспективы. 2023. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6042045> . (дата обращения: 20.09.2024)

сценарий: достижение полной технологической независимости возможно не раньше 2030 г. Существует риск заморозки развития отрасли на ближайшие несколько лет из-за отсутствия технологий и комплектующих, либо их высокой стоимости. По словам Ю. Мирошниковой, заместителя директора группы аналитики в электроэнергетики Kept, «если говорить о солнечной энергетике, то ее будущее, вероятно, будет в нише распределенной и собственной генерации для производств малой и средней мощности (до 50 МВт)»⁶⁹.

Несмотря на то что отношения России с Западом в последние годы претерпели значительные изменения, фактически усложнив сотрудничество в ряде сфер, в том числе в вопросах экологии и устойчивого развития, вступление России в БРИКС открывает новые возможности для реализации «зелёной» повестки. Платформа БРИКС создаёт пространство для диалога, сотрудничества и обмена опытом среди стран, которые сталкиваются с аналогичными экологическими вызовами. В рамках БРИКС Россия может интегрировать свои усилия по внедрению экологически чистых технологий, участию в проектах по устойчивому развитию, активно используя опыт таких стран, как Индия и Китай, которые уже достигли определённых успехов в области «зелёной» экономики.

Активное развитие Дальнего Востока с каждым годом требует значительно больше электроэнергии и мощности. Сегодня энергетическая система Востока испытывает стабильно растущий дефицит. В результате потенциальные инвесторы и часть населённых пунктов сталкиваются с отсутствием достаточного количества энергии, что снижает темпы развития региона. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, генерирующие объекты рынка ОЭС Востока крайне изношены, средний возраст станций 40–50 лет. Во-вторых, особенностью региона является функционирование в неценовой зоне. Это означает, что генерирующие объекты Дальнего Востока не попали под крупнейшие реформы модернизации генерирующих объектов (программы ДПМ и КОММод). Только несколько лет

⁶⁹ Через тернии к ветру и солнцу: нужны ли все еще России ВИЭ? URL: <https://mustread.kept.ru/articles/energetika/chez-ternii-k-vetru-i-solntsu-nuzhny-li-vse-eshche-rossii-vie> (дата обращения: 25.11.2024).

назад Постановлением Правительства России было принято решение включить некоторые генерирующие объекты ОЭС Восток в программу масштабной модернизации. Также в регионе есть большой спрос на экспорт электроэнергии в Китай. В связи с возникшим дефицитом в 2023 г. «ИнтерРАО» снизил⁷⁰ объём экспорта электроэнергии с 4,7 до 3,1 млрд кВт·ч, чтобы обеспечить, в первую очередь необходимой энергией российский регион⁷¹.

Традиционно строительство новых энергетических объектов или их модернизация в России осуществляется с помощью механизма возврата инвестиций (КОМ НГО, КОММод, КОМ, ДПМ ВИЭ, ДПМ НЦЗ). Долгое время электроэнергетика Дальнего Востока входила в отдельную неценовую зону на рынке электроэнергетики страны, то есть на этой территории цена на электроэнергию и мощность устанавливались регулируемым способом, так как нет возможности в полной мере организовать конкурентный рынок⁷². С 1 января 2025 г. произошла либерализация энергетического рынка Дальнего Востока, и его присоединили ко второй ценовой зоне оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Данная мера направлена на решение проблемы локального дефицита энергии путём организации конкурентного отбора мощности (КОМ НГ) и оформления соглашений о поставках мощности. Государственные органы устанавливают критерии для каждого такого отбора, а инвестор, одержавший победу в конкурсе, получает возможность возместить затраченные средства благодаря увеличенным выплатам с оптового энергорынка за предоставленную мощность. Это означает, что конечные потребители несут дополнительную финансовую нагрузку в виде доплат за мощности вновь построенных энергетических объектов. Поэтому для оценки строительства ВИЭ в регионе важно понимать стоимость новой электроэнергии.

70 В «Интер РАО» заявили о снижении поставок электроэнергии в Китай на 80%. – 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7061333>. (дата обращения: 22.12.2024)

71 Экспорт электроэнергии из России в Китай снизился более чем в три раза. 2024. URL: <https://neftegaz.ru/news/energy/854666-eksport-elektroenergii-iz-rossii-v-kitay-snizilsya-bolee-chem-v-tri-raza>. (дата обращения: 22.12.2024)

72 Постановление Правительства РФ от 27.12.2010 N 1172 (ред. от 07.04.2025) "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" (с изм. и доп., вступ. в силу с 17.04.2025) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

Вне зависимости от сценариев развития в настоящее время уже заложено дополнительное строительство в ОЭС Востока до 3000 МВт солнечных и ветровых установок (рисунок 12), превышающих запланированные базовые объёмы с целью покрыть дефицит электроэнергии.



Рисунок 12 – Предполагаемое развитие генерирующих мощностей ВИЭ в ОЭС Востока

Источник: составлено автором по данным Проекта Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года для общественного обсуждения. URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/public-discussion-genshema/2042/> (дата обращения 05.07.2025).

При этом нужно учитывать целевой сценарий энергетической стратегии России: *«реализация мероприятий для сбалансированного развития отраслей топливноэнергетического комплекса с учетом оптимального соотношения надежного и экологичного обеспечения внутреннего рынка с наименьшими издержками и эффективной реализации экспортного потенциала, достижения национальных целей в области климатической политики, а также технологического суверенитета и конкурентоспособности отраслей топливно-энергетического комплекса».*

.....

Выводы к главе 2

Анализ текущего состояния отрасли показывает, безусловную ориентацию на достижение устойчивого развитие. Институциональная поддержка, принятие механизмов привлечения инвестиций, льготное кредитование все это способствует развитию альтернативной энергетики в России. Однако внешние барьеры, такие как международные санкции и технологическое отставание снижают темпы строительства альтернативных источников энергии.

Стоит отметить главный драйвер развития альтернативной генерации в России - механизм возврата инвестиций (ДПМ ВИЭ и ДПМ ВИЭ 2.0). Мера внесла неоценимый вклад в смещение акцента с объемов строительства возобновляемой энергетики на локализацию производственных цепочек и снижению инвестиционных рисков.

Перспективы отрасли в России крайне позитивные, правительство и президент продолжают ставить новые цели и задачи по переходу к низкоуглеродной экономики. В этом контексте, строительство альтернативной энергетики имеет неоценимое преимущество. Однако стоит продолжать находить баланс между традиционными источниками и альтернативными для достижения целесообразных решений.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Учитывая растущие потребности в энергетических мощностях, развитие альтернативных источников энергии в макрорегионе Дальний Восток является одним из сценарием для устранения дефицитов⁷³. Реализация проектов в области АИЭ могла бы обеспечить необходимый объём электрической мощности для потребителей, а также уменьшить углеродный след производства электроэнергии, но здесь возникает проблема обеспечения надёжности энергоснабжения ввиду особенностей функционирования альтернативных источников энергии (нестабильная генерация ВИЭ и ГЭС). Поэтому оценка эколого-экономической эффективности строительства объектов альтернативной энергетики в энергетической системе Дальнего Востока России представляет собой критически важную задачу. В этом контексте формирование эффективной и устойчивой энергетической системы для региона требует интеграции экологических и экономических аспектов в процесс принятия стратегических решений для энергетической политики региона.

Далее в работе описаны подходы к оценке и представлены результаты анализа возможности включения АИЭ в ОЭС Восток. По итогам анализа предложены меры, которые могут повысить эффективность их применения в условиях энергосистемы Дальнего Востока. При этом внедрение новых видов генерации целесообразно рассматривать не только как техническую задачу: без понятных регуляторных требований и инструментов поддержки со стороны государства развитие альтернативной энергетики в регионе будет существенно затруднено.

⁷³ Эти планы представлены в подготовленных Системным оператором проектах ключевых документов стратегического планирования перспективного развития электроэнергетической системы страны — «Схеме и программе развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 годы» и «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года».

3.1. Методология оценки эколого-экономической эффективности⁷⁴

Методологическую основу работы составили системный и сравнительный подходы, дополненные комплексной оценкой технико-экономических и экологических параметров. Экономическая часть базировалась на расчёте удельных затрат интеграции каждого нового киловатт-часа электроэнергии в энергетическую систему Дальнего Востока через расчет LCOE (Levelised Cost of Energy), а также принятых допущений по сроку службы и ставке дисконтирования. Экологические эффекты учитывались через показатели: 1) оценка углеродного налога (Carbon tax)⁷⁵; 2) оценка объема квот на выбросы (Emissions trading system, ETS); 3) оценка социальной стоимости углерода (SCC), в рамках экологического и экономического учёта. Для оценки перспектив альтернативной генерации применялся сценарный анализ, а прогнозирование выполнялось на горизонте жизненного цикла каждого вида энергетического оборудования с варьированием ключевых факторов (цена топлива, операционные расходы, инвестиционные расходы).

LCOE (Levelised Cost of Energy) - это нормированная стоимость электричества, которая учитывает как себестоимость производства электричества, так и возмещение капитальных и операционных затрат на функционирование генерирующих объектов.

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

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 возмещение капитальных

⁷⁴ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

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.

⁷⁵ IMF – Carbon Taxation for Climate Mitigation (2019)

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.

При оценке LCOE необходимо определить подход к расчёту стоимостных параметров модели. Для оценки *инвестиционных затрат* в расчёте использовались удельные капитальные затраты на строительство нового объекта генерации в расчёте на 1 МВт установленной мощности, включая издержки на сетевую инфраструктуру и сопутствующие мероприятия (в том числе облагораживание и рекультивацию территории для водохранилищ, строительство социальных объектов, топливной инфраструктуры). Для расчёта взяты базовые показатели удельных капитальных затрат, рассчитанных для генеральной схемы⁷⁶, с учётом регионального коэффициента удорожания 1,38 для АЭС, 1,44 для традиционной генерации и 1,25 для ВИЭ. Возмещение капитальных затрат формируется на основе аннуитизированного платежа по номинальной доходности.

Для расчёта *операционных затрат и затрат на содержание* используем также данные Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики⁷⁷, объём операционных затрат новых генерирующих проектов в расчёте на 1 МВт установленной мощности в год (таблица 11). При оценке *затрат на топливо* в расчёте использовался удельный расход условного топлива (далее УРУТ) на основе типовых значений для имеющегося на станциях ОЭС Восток состава оборудования, для угольной генерации 353 тут⁷⁸/кВт·ч⁷⁹ и газовой генерации 320 тут/кВт·ч⁸⁰. Цена на уголь сформирована на основе нетбэк угольного разреза от среднего за последние 10 лет индикатора FOB Vostochny 6000 (64 долл. за 1 т) с учётом текущих тарифов железнодорожных перевозок и курса доллара. Цены на газ сформированы

⁷⁶ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁷⁷ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁷⁸ тут – тонна условного топлива

⁷⁹ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁸⁰ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

на основании опубликованных приказов ФАС по тарифам Газпрома в регионах, тарифах газораспределительным организациям (ГРО), тарифах конечным потребителям поставщиками газа (ПССУ) и тарифах специальной надбавки на услуги по транспортировке.

Таблица 11 – Значения основных технико-экономических показателей, принятых для расчета LCOE

Наименование	Единица измерения	АЭС	ТЭС				ГЭС		ВИЭ		ГАЭС
			ПГУ	ГТУ	ПСУ (газ)	ПСУ (уголь)	Сибирь	Восток	ВЭС	СЭС	
Удельные капитальные затраты	тыс. руб./кВт	221	134	124	154	260	154	240	97	65	147
Условно-постоянные затраты	тыс. руб./кВт/год	7,6	2,4	2,4	2,4	4,1	2,2	2,2	3,4	2,4	2,2
Удельный расход условного топлива:											
в конденсационном режиме	г у.т./кВт·ч	–	240	346	320	353	–	–	–	–	–
в теплофикационном режиме	г у.т./кВт·ч	–	192	227	224	247	–	–	–	–	–
Топливные затраты	руб./кВт·ч	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Источник: Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2024 г. № 4153-р.

URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/genshema/public_discussion/2024/genschema_justification_2024.pdf

(дата обращения 05.07.2025).

Для расчёта величины *производства электроэнергии в год* использовался коэффициент использования установленной мощности (далее КИУМ). При фактической структуре генерирующих мощностей КИУМ, отражающий востребованность построенной мощности для ГЭС, составляет в среднем 45%, для ТЭС — 50% (рисунок 13). При строительстве новых блоков для ТЭС КИУМ будет увеличен до 60% для угольных блоков и до 70% для газовых. Для атомной генерации КИУМ в расчёт принят на уровне 90%. Для прочих видов генерации КИУМ рассчитан на основе объёма выработки в год с учётом собственных нужд.

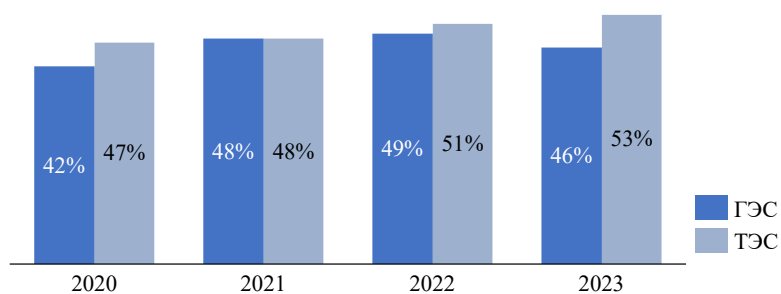


Рисунок 13 – Фактический КИУМ генерирующих мощностей за 2020–2023 гг.

Источник: составлено автором по данным Распоряжения Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2024 г. № 4153-р Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202501090002?index=1> (дата обращения 07.07.2025)

Ставка дисконтирования — на уровне базовой нормы доходности 14%. В рамках механизма Договоров о предоставлении мощности (ДПМ), регулирующего инвестиционную деятельность в электроэнергетике Российской Федерации, установлена базовая норма доходности инвестиций на уровне 14% для генерирующих компаний⁸¹. Указанная ставка в 14% выступает ключевым расчётным показателем при формировании тарифов для вновь вводимых генерирующих объектов.

При формировании альтернативных программ, нацеленных на покрытие ожидаемых дефицитов мощности и электроэнергии на Дальнем Востоке, необходимо учитывать изменение финансовой нагрузки на потребителя в частности и удельные издержки на кВт·ч электроэнергии для экономики страны в целом. Таким образом, оптимальная структура генерирующей мощности должна отвечать ряду задач:

- 1) полностью покрыть дефицит нового потребления электроэнергии;

⁸¹ Постановление Правительства РФ от 27.12.2010 N 1172 (ред. от 31.10.2025) "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" // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

- 2) предоставить электроэнергию с наименьшими издержками для экономики России;
- 3) обеспечить снижение выбросов загрязняющих веществ.

В исследовании были проведены прогнозные расчёты в рамках трёх возможных сценариев развития энергетического рынка: *Гибридного сценария, предполагающего покрытие дефицита с помощью традиционных и альтернативных источников энергии (сценарий А); сценария покрытия дефицита за счет традиционных источников генерации. В этом случае новые АЭС и ВИЭ не вводятся (сценарий Б) и альтернативный сценарий покрытия дефицита за счет возобновляемых источников энергии – ВЭС и СЭС (сценарий В) (рисунок 14).*



Рисунок 14 – Структура дополнительной установленной мощности электростанций ОЭС Восток к 2042 г.

Источник: составлено автором.

Согласно балансу мощности Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики⁸², к 2042 г. дополнительная выработка в ОЭС Восток должна достичь уровня не менее 35 млрд кВт·ч, чтобы покрыть потенциальный дефицит электроэнергии в регионе. Таким образом в каждом сценарии выработка новых генерирующих объектов должна удовлетворять этому условию. Для предложенных

⁸² Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

сценариев выработка составит 45-47 млрд кВт·ч, с учётом пиковых нагрузок (см. рисунок 15).

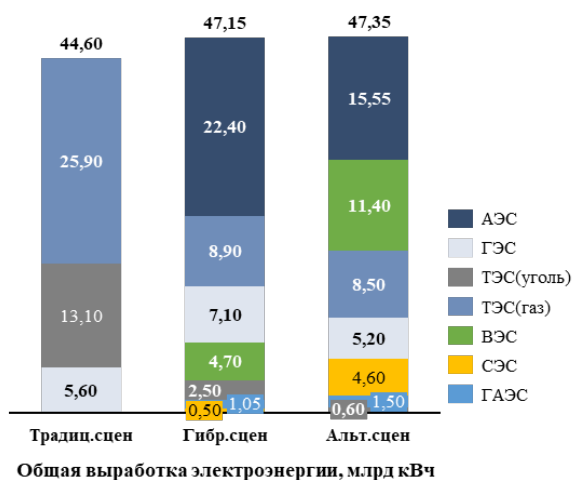


Рисунок 15 – Выработка, млрд кВт·ч

Источник: составлено автором.

Сценарий А. Гибридный сценарий, расчет покрытия дефицита с помощью традиционных и альтернативных источников энергии.

Анализ краткосрочной схемы и программы развития электрических систем на 2025–2030 гг. показал, что текущая энергетическая система Дальнего Востока не способна обеспечить в полной мере потребность региона в электроэнергии. В ближайшие годы прогнозируется дефицит в связи с режимно-балансовыми проблемами в ОЭС Восток (рисунок 16).

Прогноз потребления электрической энергии и мощности до 2030 г
2-ая синхронная зона*, млн кВт*ч

9575 млн кВт*ч средний дефицит на ДВ, эквивалентно
~1200 МВт установленной мощности

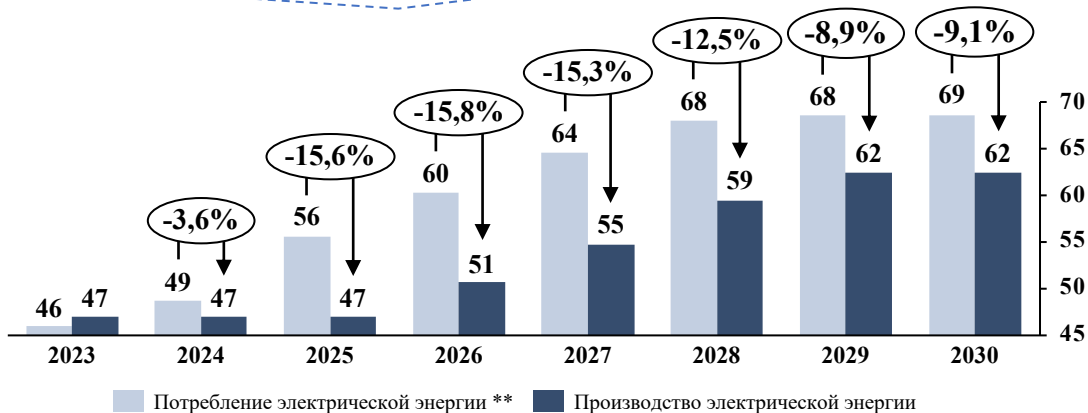


Рисунок 16 – Прогноз потребления электрической энергии и мощности до 2030 г. 2-я синхронная зона⁸³, млн кВт*ч

Источник: составлено автором по данным Министерства энергетики России, СиПР ЭЭС России на 2025–2030 гг.

URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/public-discussion-sipr/public-discussion-sipr-2025-2030/> (дата обращений: 15.11.2025)

Учитывая тот факт, что дополнительные мощности региону необходимы в самое ближайшее время, для подготовки структуры строительства новых объектов следует в первую очередь оценить срок их строительства (таблица 12).

Таблица 12 – Срок строительства объектов энергетики

Показатель	Единица измерения	АЭС	ТЭС				ГЭС		ВИЭ		ГАЭС
			ПГУ	ГТУ	ПСУ (газ)	ПСУ (уголь)	Сибирь	Восток	ВЭС	СЭС	
Срок строительства	Год	10	4	2	4	4	8	9	1	1	7

Источник: Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2024 г. № 4153-р.

URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/genshema/public_discussion/2024/genshema_justification_2024.pdf (дата обращения: 05.07.2025).

⁸³ Амурская область, Приморский край, Хабаровский край, Еврейская автономная область, территории республики Саха, в том числе ежегодный экспорт 4,5 млн кВт*ч

Для расчётов взята гибридная структура генерирующих мощностей, учитывающая особенности сроков строительства и колебания выработки электроэнергии, более подробно см. таблицу 13.

Таблица 13 – Структура установленной мощности электростанций ОЭС Восток к 2042 г.⁸⁴

Вид генерации	2023 г., факт,	2042 г., прогноз,	Прирост мощности,
	МВт	МВт	МВт
АЭС	0	3 200	3 200
ГЭС	4 618	6 482	1 864
ГАЭС	0	600	600
ТЭС, в том числе:	6 594	8 770	2 176
газ	2 382	3 906	1 524
уголь	4 124	4 776	652
прочее	89	89	0
ВЭС, СЭС	0	2 200	2 200
ИТОГО	11 212	21 252	10 040

Источник: составлено автором.

Сценарий Б. Расчёт покрытия дефицита за счёт традиционных источников генерации (АЭС и ВИЭ не вводятся). В данном сценарии приоритет для покрытия дефицита электроэнергии и мощности отдаётся традиционным источникам энергии. Так как уже утверждена краткосрочная программа строительства объектов энергетики, до 2030 г. прогноз ввода новых мощностей будет построен на её основе, а оставшийся дефицит до 2042 г. будет покрыт угольными и газовыми блоками.

До 2030 г. учтены уже утвержденные вводы и выводы новых мощностей согласно разработанной Минэнерго России схеме и программе развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 гг.⁸⁵.

- 1) Угольная генерация.

⁸⁴ Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

⁸⁵ СиПР ЭЭС России на 2025-2030 годы URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/public-discussion-sipr/public-discussion-sipr-2025-2030/> (дата обращения: 07.05.2025)

а. Вывод старых мощностей: Артемовская ТЭЦ (400 МВт), Комсомольская ТЭЦ-2 (87,5 МВт), Хабаровская ТЭЦ-1 (435 МВт), Чульманская ТЭЦ (12 МВт).

б. Ввод новых мощностей: Партизанская ГРЭС (280 МВт), Нерюнгринская ГРЭС (450 МВт), Приморская ГРЭС (465 МВт).

2) Газовая генерация.

а. Вывод старых мощностей: Якутская ГРЭС (170 МВт), Якутская ГРЭС Новая (40,4 МВт).

б. Ввод новых мощностей: Артемовская ТЭЦ-2 (Шкотовская ТЭЦ) (440 МВт), Шепаловская ТЭС (30 МВт), Хабаровская ТЭЦ-4 (Южная ТЭЦ) (410 МВт), Новоленская ТЭС (550 МВт), Якутская ГРЭС-2 (2-я очередь) (Туймаада ТЭЦ) (160 МВт), Южно-Якутская ТЭС (330 МВт), Якутская ГРЭС Новая (50 МВт), ГПЭС Вилюйск (33 МВт), Свободненская ТЭС (450 МВт).

с. Модернизация мощностей: Владивостокская ТЭЦ-2 (37 МВт).

3) Генерация ГЭС.

а. Ввод новых мощностей: Светлинская ГЭС (104 МВт).

В этом же сценарии нельзя исключить ввод трёх новых противопаводковых ГЭС в Амурской области. В связи с сильнейшими паводками за последние 5 лет Президент Российской Федерации поручил разработать проекты новых противопаводковых ГЭС⁸⁶. В результате между компанией «РусГидро» и Правительством Амурской области зафиксировано соглашение⁸⁷ о строительстве трёх новых ГЭС; эти станции уже учтены в генеральной схеме до 2042 г.: Нижне-Зейская ГЭС — 400 МВт, Селемджинская ГЭС — 100 МВт, Нижне-Ниманская ГЭС — 600 МВт.

Сценарий В. Расчет покрытия дефицита за счёт возобновляемых источников энергии (ВЭС и СЭС).

⁸⁶ Путин поручил проработать строительство гидроэлектростанций на реке Амур. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/611c40999a7947699b23d013> (дата обращения: 07.05.2025)

⁸⁷ Русгидро и правительство Амурской области подписали соглашение по строительству противопаводковых ГЭС. URL: https://rushydro.ru/press/news/1109202383661/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com. (дата обращения: 07.05.2025)

Для формирования данного сценария стоит учитывать ряд особенностей по оценке капитальных вложений в объекты генерации.

Строительство ГЭС наиболее капиталоемкое. Также стоит учесть, что потенциальные локации строительства ГЭС на Дальнем Востоке расположены удаленно от потребителей и сетевой инфраструктуры, что потребует дополнительных капитальных вложений на строительство сетей. В результате наиболее целесообразно отказаться от планирования новых ГЭС ввиду их высокой стоимости и неконкурентоспособности, но оставить строительство трёх станций ГЭС общей мощностью 1100 МВт (Нижне-Зейская, Селемджинская, Нижне-Ниманская ГЭС), так как они являются частью экологической программы и уже утверждены.

Стоит отметить долгосрочность реализации проектов строительства атомных энергоблоков — около 10 лет. Поэтому если в будущем прогноз нового спроса будет пересмотрен, отменить строительство будет невозможно. А значит, новые генерирующие объекты с более коротким сроком строительства, которые будут покрывать дефицит в течение времени строительства атомной станции, могут стать невостребованными. Поэтому целесообразно часть новой мощности, заложенной в генеральной схеме, от АЭС перераспределить на другие типы генерации. В сценарии на АЭС приходится 2400 МВт установленной мощности (уже запланировано строительство Приморской и Хабаровской АЭС мощностью 1200 МВт каждая).

Что касается генераций ВЭС и СЭС, их особенностью являются суточные колебания выработки электроэнергии в зависимости от климатических условий. Для ВЭС вероятны безветренные периоды на протяжении нескольких дней или даже недель, а для СЭС стоит учесть зависимость от облачности и осадков.

Для балансирования колеблющейся выработки ВЭС или СЭС необходима синергия с ГЭС и ГАЭС. Такие источники могут стать естественными аккумуляторами для данного типа генерации, способные компенсировать суточные потери в выработке. С другой стороны, в маловодные периоды генерация ВИЭ способна компенсировать потребность электроэнергии от ГЭС и ГАЭС.

Соответственно в модели для баланса выработки в сценарий включено строительство ГАЭС мощностью 1000 МВт. Прочий дефицит удовлетворен при помощи ВЭС и СЭС мощностью 10 500 МВт. Дополнительное допущение в расчёте при большом объёме ВЭС и СЭС в некоторые часы выработанная электроэнергия будет не востребована, поэтому для данного сценария КИУМ для ГАЭС, ВЭС и СЭС будет ниже.

Ниже представлена сводная таблица 14 сценариев расчёта удельной стоимости производства электричества.

Результаты расчёта в каждом сценарии будут приведены в разделе 3.2.

Таблица 14 – Сценарные условия расчета LCOE

Тип генерации	Сценарий А, МВт	Сценарий Б, МВт	Сценарий В, МВт
АЭС	3 200	0	2 400
ГЭС	1 864	1 404	1 404
ГАЭС	600	0	1 000
ТЭС	2 176	6 500	2 230
ВЭС, СЭС	2 200	0	10 500
ИТОГО	10 040	7 904	17 534

Источник: составлено автором.

Далее автором работы предлагается оценить потенциальный объём выбросов углекислого газа (CO₂) в каждом сценарии. Чтобы рассчитать выбросы CO₂ от угольной электростанции, нужно учитывать несколько факторов:

1) *коэффициент загрузки электростанции (КИУМ)* — для каждого сценария уже был рассчитан ранее при расчёте LCOE;

2) *время работы станции за год* — обычно используется стандартное количество часов в году (8760 часов) для расчёта выработанной энергии;

3) *выбросы CO₂ на единицу выработанной энергии* — угольные станции имеют специфический показатель количества выбросов в зависимости от типа сжигаемого угля (например, бурый или каменный уголь) и технологического уровня станции.

Удельные выбросы CO₂ — масса CO₂, выбрасываемая при выработке 1 кВт·ч энергии (обычно выражается в граммах CO₂/кВт·ч). Для угольных станций

величина варьируется в среднем от 820 до 1000 г CO₂/кВт·ч в зависимости от эффективности станции и состава используемого угля. Если используется бурый уголь, удельные выбросы будут выше (до 1200 г CO₂/кВт·ч), а для антрацита или современных технологий — ниже. Новые угольные ТЭС имеют более низкие удельные выбросы (600–800 г CO₂/кВт·ч) благодаря современному оборудованию и системам очистки.

Общая формула: выбросы CO₂ (т) = мощность (МВт) × КИУМ × время работы (ч) × удельные выбросы CO₂ : 1000.

Для расчёта выбросов CO₂ от газовой электростанции принцип аналогичен расчету для угольной станции, но учитываются удельные выбросы газа. Газовые станции благодаря большей эффективности и экологичности сжигания природного газа, выбрасывают значительно меньше CO₂ на единицу вырабатываемой энергии, чем угольные станции.

Удельные выбросы CO₂ — масса CO₂ на производство 1 кВт·ч энергии, для газовых станций она составляет от 400 до 475 г CO₂/кВт·ч в зависимости от типа станции и её эффективности (например, парогазовые электростанции имеют более низкие выбросы, чем чисто газотурбинные). При оценке выбросов атомных электростанций в расчёт включаются косвенные выбросы, образующиеся на различных этапах жизненного цикла объекта, включая добычу уранового сырья, строительство энергоблоков и другие сопутствующие процессы. Эти выбросы значительно ниже, чем у станций, использующих ископаемое топливо. Для оценки выбросов CO₂ от атомной станции удельные выбросы CO₂ на каждый кВт·ч энергии составляют примерно: от 5 до 15 г CO₂/кВт·ч (в среднем 10 г CO₂/кВт·ч), в зависимости от технологии и условий работы станции.

Выбросы CO₂ от ветровых и солнечных электростанций тоже придется учитывать через жизненный цикл — те этапы, которые включают, например, производство оборудования (ветрогенераторов, солнечных панелей), транспортировку, строительство станций, обслуживание и утилизацию. Как и у атомных электростанций, эти выбросы считаются непрямыми (lifecycle emissions), поскольку сами процессы генерации электроэнергии CO₂ практически не выделяют.

Основным показателем здесь также будет удельная эмиссия (граммы CO₂ на каждый киловатт-час произведенной энергии).

Удельные выбросы CO₂ для ВИЭ (ветровая и солнечная), средние значения (по данным научных исследований и отчетов МЭА): *ветряные электростанции*: 4–12 г CO₂/кВт·ч (в среднем 8 г CO₂/кВт·ч); *солнечные электростанции*: 20–50 г CO₂/кВт·ч (в среднем около 30 г CO₂/кВт·ч). Это выше, чем у ветра, из-за больших выбросов при производстве солнечных панелей. *Выбросы CO₂ от гидроэлектростанций (ГЭС)* являются минимальными, поэтому в исследовании принимается допущение и выбросы от ГЭС приравнены к нулю.

В исследовании экологические эффекты оценивались на базе учёта денежной оценки выбросов CO₂, как наиболее востребованном и признанном в современных условиях методе оценке эффектов развития альтернативной энергетики. В каждом из сценариев были определены потенциальные объемы выбросов CO₂ (таблица 14) и результаты оценки были переведены в денежный эквивалент. Основные подходы оценки эмиссии CO₂ включают использование углеродного налога (carbon tax) или системы торговли выбросами (emissions trading system, ETS).

1. *Углеродный налог (Carbon tax)⁸⁸: Углеродные расходы = Выбросы CO₂ (в тоннах) × Ставка налога (за тонну).*

2. *Торговля квотами на выбросы (Emissions trading system, ETS)⁸⁹: Для регулирования воздействия на климат многие страны прибегли к использованию рыночного механизма, такого как система торговли квотами на выбросы парниковых газов (ETS). В рамках ETS предприятия, выбрасывающие CO₂, обязаны приобретать или продавать квоты на выбросы через углеродные рынки. Цена 1 т CO₂ определяется рынком. Суть рынка заключается в том, чтобы закрепить ограничение (потолок) на общий объём выбросов CO₂ для определённой экономики или сектора и позволить участникам торговать между собой квотами на эти выбросы.*

⁸⁸ IMF – Carbon Taxation for Climate Mitigation (2019)

⁸⁹ Ralf M., Muûls M., Preux L., and Wagner U.J. 2014. "Industry Compensation under Relocation Risk: A Firm-Level Analysis of the EU Emissions Trading Scheme." *American Economic Review* 104 (8): 2482–2508.

3. Учёт в контексте социальной стоимости углерода (*Social Cost of Carbon, SCC*)⁹⁰: социальная стоимость углерода оценивает долгосрочный ущерб от выбросов CO₂, включая экономические последствия изменения климата. В зависимости от модели и страны, SCC может варьироваться от 40 до 100 долл. за тонну.

Далее в разделе 3.2 будут представлены и проанализированы результаты расчетов эколого-экономической эффективности.

3.2. Анализ проекта развития альтернативной энергетики на Дальнем Востоке⁹¹

Расчёты показали, что гибридный сценарий, объединяющий преимущества традиционных и возобновляемых источников энергии, оказался наиболее перспективным и демонстрирующим лучшие экономические показатели.

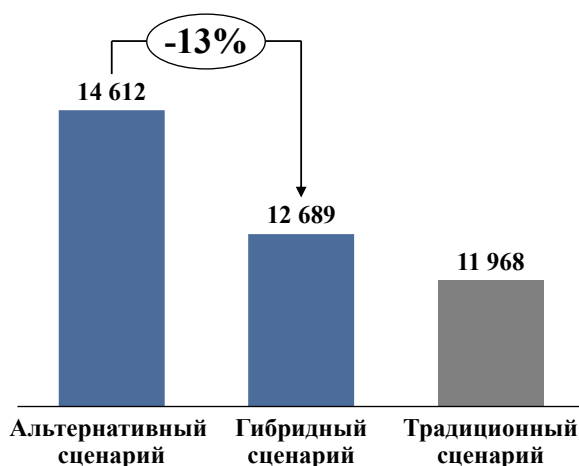


Рисунок 17 – LCOE, руб./МВт·ч

Источник: составлено автором.

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

⁹⁰ Interagency Working Group (IWG) on Social Cost of Carbon (2016). Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf (дата обращения: 07.05.2025)

⁹¹ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: Сергеева С.А., Крылов Е.В. Оценка эффективности строительства возобновляемых источников энергии на Дальнем Востоке // Экономика устойчивого развития. 2025. Т.61, № 1. С. 354

сценарии составила 12 689 руб./МВт·ч, а в альтернативном 14 612 руб./МВт·ч (см. рисунок 17). Вместе с тем стоимость инвестиций в гибридном сценарии на 21% ниже, чем в альтернативном, а прогнозируемый объём выработки новой электроэнергии одинаковый.

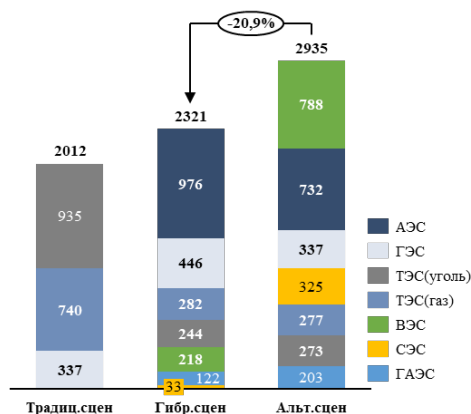


Рисунок 18 – Капитальные затраты на строительство дополнительного энергетического оборудования для ОЭС Восток в трёх сценариях, млрд руб.

Источник: составлено автором.

Производство за счёт традиционных источников энергии всё ещё остаётся 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.

Альтернативный сценарий, предполагающий ввод в эксплуатацию объектов исключительно на базе возобновляемых источников энергии, оказался значительным финансовым бременем для экономики, особенно в краткосрочной перспективе. Стоимость каждого нового киловатт-часа электроэнергии составила 14 612 руб./МВт·ч. Несмотря на быстрое удешевление производства оборудования для строительства ВИЭ, переход к низкоуглеродной экономике требует больших инвестиций в инфраструктуру, в том числе решения для хранения энергии и строительства новой инфраструктуры (см. рисунок 18).

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.

1. *Интервалы низкой генерации.* Например, ночью или при продолжительных безветренных периодах (в зимние месяцы в некоторых регионах спрос на энергию максимальный, а солнечная активность минимальна). В таких случаях резервная энергия становится необходимой для поддержания энергетической устойчивости.

2. *Перегрузки в моменты перепроизводства.* Когда выработка энергии превышает спрос (в солнечные или ветреные дни), избыточная энергия либо теряется, либо требует системы аккумуляирования, что опять же связано с большими затратами.

Замещение за счёт альтернативных источников энергии является самым дорогим из всех типов генерации, это обусловлено дополнительными расходами для потребителя на строительство инфраструктуры и балансирующих мощностей, чтобы компенсировать колебания производства электроэнергии за счёт ВИЭ, таблица 15.

Таблица 15 – Результаты расчёта LCOE в трёх сценариях (А, Б, В)

Тип генерации	Сценарий А	Сценарий Б	Сценарий В	Сценарий А	Сценарий Б	Сценарий В	Сценарий А	Сценарий Б	Сценарий В
	Выработка ээ в 2042 г, млн кВт·ч			Инвестиции, млрд руб.			LCOE руб/МВт·ч		
АЭС	22 426	0	14 717	976	0	732	12 501	0	14 287
ГЭС	7 169	5 658	4 920	446	337	337	14 526	13 895	15 979
ТЭС (уголь)	2 456	13 140	3 517	244	935	273	24 336	18 477	19 816
ТЭС (газ)	8 945	25 930	7 227	282	740	277	8 877	8 249	10 325
ВЭС	4 730	0	11 388	218	0	788	9 474	0	14 210
СЭС	526	0	4 555	33	0	325	12 106	0	13 969
ГАЭС	1 051	0	1 489	122	0	203	24 137	0	28 397
ИТОГО	47 303	44 727	47 813	2 320	2 012	2 935	12 689	11 968	14 612

Источник: составлено автором.

Гибридный сценарий (сценарий А) энергетического баланса, объединяющий преимущества традиционных и возобновляемых источников энергии, показал наилучшую эффективность, таблица 15. Удельная стоимость всего лишь на 6% выше, чем в сценарии Б (традиционная генерация). Этот подход обеспечивает одновременно надёжное и устойчивое энергоснабжение, снижение высоких затрат на топливо и транспортировку, гибкость в условиях нестабильных цен на энергоресурсы, а также способствует развитию инновационного сектора и продвижению страны к низкоуглеродному будущему. Внедрение гибридного подхода – это не только экономическая необходимость, но и стратегический выбор в глобальной энергетической трансформации.

Гибридный сценарий энергетического баланса, который основывается на комбинации традиционных источников энергии, таких как углеводороды (уголь, нефть, газ), и ВИЭ, представляет собой перспективный и экономически выгодный подход к развитию энергетики и экономики страны.

При анализе годовых выбросов CO₂ в трёх возможных сценариях генерации электроэнергии (традиционный угольный, возобновляемый и гибридный) гибридный подход демонстрирует наилучшие результаты, таблица 16. Гибридные

энергосистемы, сочетающие возобновляемые источники энергии (например, солнечные и ветровые станции) с минимальной долей углеводородной генерации, обеспечивают значительное снижение годовых выбросов CO₂ за счёт оптимизации использования топлива и более высокой энергоэффективности.

Таблица 16 – Ежегодный объём выбросов CO₂ в трёх сценариях (А, Б, В)

Тип генерации	А, т CO ₂ /год	Б, т CO ₂ /год	В, т CO ₂ /год
АЭС	252 288	0	189 216
ГЭС	0	0	0
ГАЭС	0	0	0
ТЭС	11 151 130	33 309 900	11 427 858
ВЭС, СЭС	144 540	0	689 850
ИТОГО	11 547 958	33 309 900	12 306 924

Источник: составлено автором.

Автором работы оценён фискальный эффект для национальной экономики от выбросов новой генерации в трёх сценариях. С одной стороны, рассчитан потенциальный налог на выбросы CO₂ в федеральный бюджет, рисунок 19. С другой стороны, дополнительная стоимость квот для их рынка, рисунок 19. Проведена оценка экономического ущерба, связанного с выпуском одной дополнительной тонны CO₂ в атмосферу по методу оценки социальной стоимости углерода (далее SCC). Эта оценка экономического ущерба, связанного с выпуском одной дополнительной тонны CO₂ в атмосферу. SCC учитывает влияние CO₂ на изменение климата, экономику, здоровье, сельское хозяйство и экосистемы.

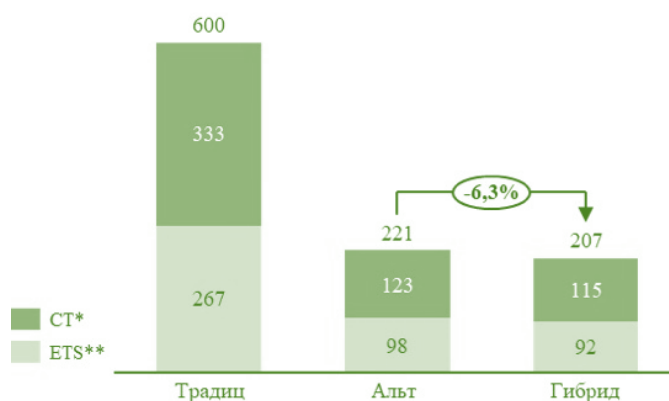


Рисунок 19 – Эколого-экономическая оценка выбросов CO₂ с помощью механизмов применения углеродного налога и торговли квотами на выбросы

Источник: составлено автором.

Также была проведена оценка экономического ущерба, связанного с выпуском одной дополнительной тонны CO₂ в атмосферу по методу оценки социальной стоимости углерода (далее SCC), рисунок 20. SCC учитывает влияние CO₂ на изменение климата, экономику, здоровье, сельское хозяйство и экосистемы.

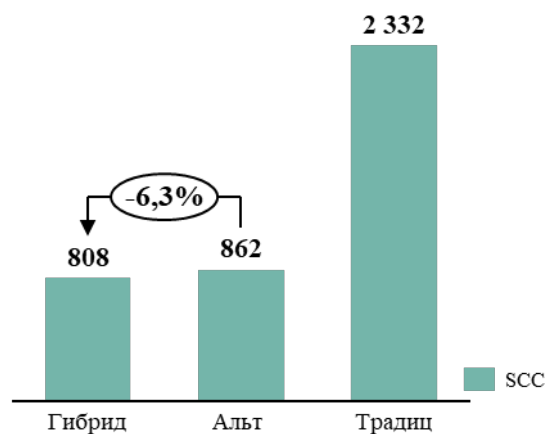


Рисунок 20 – Оценка долгосрочных экологических и экономических последствий изменения климата — социальная стоимость углерода (Social Cost of Carbon, SCC)

Источник: составлено автором.

Расчёты 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 счёт возобновляемых источников энергии — ВЭС и СЭС (сценарий В) не демонстрирует кардинальных преимуществ одного над другим в экологическом аспекте, что позволяет предположить большую значимость экономических факторов, в частности объёма инвестиций, при принятии стратегических решений о векторе развития энергетики региона, не опасаясь существенного непропорционального увеличения экологической нагрузки по данному показателю. Сценарий покрытия дефицита за счёт традиционных источников генерации (сценарий Б) при отсутствии внедрения новых технологий, в частности использования высококачественных угольных фильтров, по экологическим параметрам оказывается наименее предпочтительным.

Вместе с тем результаты расчётов могут измениться, если более полно учитывать экологическую составляющую. Ввод в энергобаланс оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии, как минимум предполагает снижение риска уплаты углеродного налога. А при полном расчёте всех экологических и социальных эффектов должны учитываться: снижение заболеваемости населения за счёт 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.

Преимущества гибридного сценария в энергетической системе

Далее более подробно рассмотрим каждое из преимуществ гибридного сценария. Главное достоинство комбинирования традиционных и альтернативных источников энергии, это *уменьшение стоимости производства электроэнергии в периоды высокой доступности ВИЭ*. Оптимизация затрат на выработку электроэнергии напрямую повлияет на стоимость для потребителя. Это происходит за счёт снижения затрат на транспортировку угля и газа, особенно это актуально для регионов с высокими транспортными издержками при доставке углеводородов, каким является Дальний Восток. Известно, что выработка от возобновляемых источники энергии сильно зависит от климатических колебаний. Поэтому балансирующие угольные и газовые станции могут работать в режиме минимальной нагрузки, при высокой выработке солнечных и ветровых станций, чтобы сохранить готовность для оперативного включения. При этом они будут готовы покрыть пиковые нагрузки, чтобы компенсировать дисбаланс в энергосистеме.

Ключевым драйвером, влияющим на цену электроэнергии, является цена углеводородного топлива (пример рисунок 21, цена "Coal, Australian" т.е. цена в порту австралийского Ньюкасла). Гибридные модели позволяют сглаживать рыночные риски и ценовую волатильность топлива. Также стоит учитывать

международные санкции, которые также негативно влияют на резкие колебания цен на мировом рынке угля и газа. Например, европейские страны утвердили запрет на импорт российского газа, что привело к дополнительной индексации цен для промышленных потребителей (в том числе генерирующие компании) на газ в размере 20% в 2025 году⁹², для возмещение выпадающих доходов компании «Газпром». Безусловно это напрямую отразится на оптовых ценах на электроэнергию, с учетом роста себестоимости производства. Поэтому возобновляемые источники энергии помогают компенсировать скачки цен углеводородов, дополнительно стоит учесть, что с каждым годом себестоимость электроэнергии от ВИЭ снижается за счет технологического прогресса.

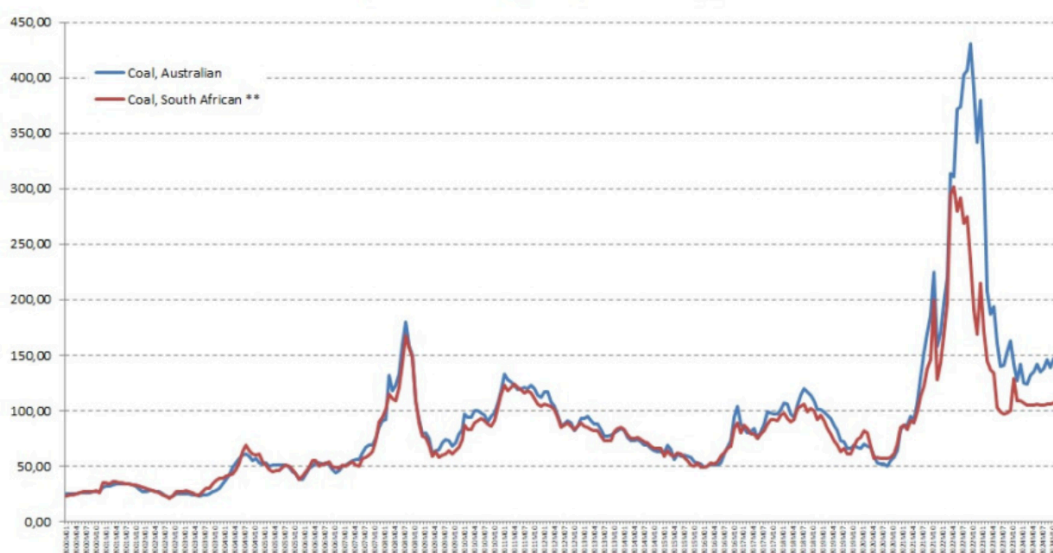


Рисунок 21 – Динамика цен на каменный уголь (энергетический) с января 2020 по декабрь 2024, долл/т.

Источник: составлено автором по данным World Bank Group

URL: <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> (дата обращений: 15.11.2025)

Ещё одним преимуществом гибридных моделей может стать потенциальная экономия на капитальных затратах от строительства ВИЭ оборудования вместо традиционной генерации. Удельная стоимость строительства СЭС составляет 65

⁹² Промышленность предупредила о риске роста нагрузки из-за индексации цен на газ. URL; <https://www.forbes.ru/biznes/540808-promyslennost-predupredila-o-riske-rosta-nagruzki-iz-za-indeksacii-cen-na-gaz> (дата обращения: 20.07.2025)

тыс.руб./кВт·ч, ВЭС- 97 тыс.руб./кВт·ч, в то время как стоимость ТЭС варьируется от 134 тыс.руб./кВт·ч, до 260 тыс.руб./кВт·ч. (см. рисунок 11). Например на территориях, где строительство традиционной генерации экономически нецелесообразно, можно реализовывать гибридные комплексы, содержащие ВИЭ. Это даёт возможность распределять нагрузку между несколькими источниками генерации, снижая эксплуатационные напряжения на традиционных электростанциях и тем самым замедляя их износ и продлевая ресурс оборудования. Дополнительно, за счёт уменьшения потребности в капиталоемком наращивании традиционных мощностей высвобождаемые инвестиции целесообразно направлять на развитие интеллектуальных сетей и внедрение систем накопления энергии.

Гибридный сценарий в этом контексте обеспечивает практический и поэтапный переход к «зелёной» экономике. Он позволяет привлекать иностранные инвестиции, направленные на развитие экологически чистых технологий. Многие государства и компании готовы финансировать проекты, связанные с внедрением ВИЭ, что снижает общую нагрузку на бюджет. Стимулировать развитие новых технологий в сфере ВИЭ, например, систем накопления электроэнергии. Их использование в гибридных системах позволяет компенсировать нестабильный характер выработки электроэнергии из ВИЭ, что делает энергосистему более надёжной. Поддерживать экспортный потенциал страны. Многие государства уже вводят углеродные налоги или иные ограничения на импорт энергетических продуктов с высоким углеродным следом. Гибридный баланс позволяет минимизировать такие риски.

Помимо преимуществ, также необходимо рассмотреть риски гибридной системы энергетического баланса для энергетической системы Дальнего Востока, в частности риски интеграции возобновляемых источников энергии, таблица 17.

Таблица 17 – Эколого-экономический анализ рисков развития ВИЭ на территории Дальнего Востока России

	Экономический анализ	Экологический анализ
Риски	Высокий порог входа в отрасль (инвестиции)	Проблема утилизации оборудования
	Кадровый голод (низкая плотность населения)	Локальное воздействие на экосистемы
	Высокие затраты на обслуживание инфраструктуры	

Источник: составлено автором.

Колоссальный риск для Дальнего Востока в вопросе развития альтернативной энергетики это нехватка кадров - средний персонал, мастера, ремонтный персонал.⁹³ В настоящее время при модернизации угольных и газовых станций генерирующие компании отмечают кадровую проблемы, как самую острую в их работе. Например, при модернизации Приморской ГРЭС, одной из главных проблем является кадровый дефицит.⁹⁴ При этом стоит учитывать, что на российском рынке труда ещё меньше экспертов в строительстве возобновляемой энергетики. Вахтовый метод работы сразу повышает стоимость услуг и оплату ФОТ до 30% процентов и выше на изолированных территориях.

Наличие таких проблем акцентирует внимание на необходимости формирования замкнутого цикла производства и создания инфраструктуры для утилизации оборудования, что способствовало бы переходу к концепции циркулярной экономики в энергетике.

3.3. Направления совершенствования механизма регулирования развития энергетического комплекса с учётом обеспечения решения задачи устойчивого развития энергетического комплекса⁹⁵

⁹³ ТОП-4 ключевых рисков для энергетики. URL: <https://eprussia.ru/epr/503-504/9861338.htm> (дата обращения: 20.07.2025)

⁹⁴ СГК увеличила оценку модернизации Приморской ГРЭС на 17%, до 79 млрд руб. URL: <https://peretok.ru/news/generation/29402/> (дата обращения: 20.07.2025)

⁹⁵ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: 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

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. В исследовании были проведены прогнозные расчеты в рамках трёх возможных сценариев развития энергетического рынка: Гибридный сценарий, предполагающий покрытие дефицита с помощью традиционных и альтернативных источников энергии (сценарий А); сценарий покрытия дефицита за счёт традиционных источников генерации. В этом случае новые АЭС и ВИЭ не вводятся (сценарий Б) и Альтернативный сценарий покрытия дефицита за счёт возобновляемых источников энергии — ВЭС и СЭС (сценарий В).

Перспективы повышения эффективности использования альтернативных источников энергии представляют собой значительную область исследования и практического применения. Важно рассмотреть несколько ключевых направлений и рекомендаций, которые могут способствовать развитию этого сектора.

В России строительство ВИЭ не может обходиться без субсидирования. Генерирующие объекты ОЭС Востока требуют значительных инвестиций, поэтому Правительство приняло решение о переходе ОЭС Восток в ценовую зону, начиная с 1 января 2025 г. За счёт механизма ДПМ ВИЭ и принятия нового закона-проекта отрасль сможет привлечь больше инвестиций в строительство альтернативных источников энергии в регионе. Генерация из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) уже сегодня может служить эффективным решением для устранения нехватки электроэнергии в регионах с достаточным диапазоном регулирования, который обеспечивают крупные гидроэлектростанции. Ярким примером является Восточная энергетическая система (ОЭС Востока).

Необходимость развития генерации в определённых регионах России, вызванная резким увеличением потребления электроэнергии, стала основанием для внедрения механизмов конкурентного ценообразования на электроэнергию и

мощность в зонах, не относящихся к ценовым зонам оптового рынка. Более того, существующее тарифное регулирование имеет ограниченные возможности для стимулирования эффективного производства, обновления и модернизации оборудования, а также внедрения новых технологий. В условиях государственного регулирования отсутствуют стимулы для развития генерации из ВИЭ.

Для оценки наиболее эффективных мер поддержки, в рамках исследования были рассмотрены страны-лидеры в области развития и интеграции ВИЭ в энергетический баланс в Азиатско-Тихоокеанском регионе⁹⁶ и Латинской Америки. Страны и регионы, достигшие заметного прогресса в продвижении возобновляемых источников энергии, включают: Китай, Индию, Бразилию.

Китай продолжает лидировать по приросту мощностей возобновляемой электроэнергии, добавив 160 ГВт в 2022 г., что составляет почти половину от всего мирового развертывания. 14-й пятилетний план по возобновляемой энергетике, опубликованный в 2022 г., устанавливает амбициозные цели по использованию возобновляемой энергии, что должно стимулировать инвестиции в ближайшие годы.

Индия по-прежнему привержена своей амбициозной цели — достичь 500 ГВт неископаемой мощности энергетики к 2030 г. В апреле 2023 г. она объявила о плане ежегодно выставлять на аукцион 50 ГВт новых мощностей для достижения этой цели.

Бразилия действительно является мировым лидером в использовании ВИЭ. По состоянию на 2023 г. около 85–87% всей производимой электроэнергии в Бразилии приходится на источники энергии, относящиеся к категории возобновляемых. Основной вклад обеспечивает гидроэнергетика с долей около 55–60% в общем энергобалансе страны, что ставит Бразилию на одну из первых позиций в мире по этому показателю. После гидроэнергетики активно развиваются солнечная энергетика (порядка 7%) и ветровая энергия, которая в последние годы быстро растёт и составляет около 12%.

⁹⁶ Renewables 2023. Analysis and forecasts to 2028 URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (дата обращения: 30.01.2025).

Ниже приведены примеры национальных программ налоговых льгот и финансовых субсидий (таблица 18).

Таблица 18 – Национальные программы налогового субсидирования

1	2	3
Страна	Программа поддержки развития ВИЭ	Условия программы
1. Бразилия	1. Освобождение от налога на импорт оборудования для солнечных и ветровых проектов	<p>Преференции для ключевых компонентов: освобождение от уплаты налога на импорт (Imposto de Importação - II) и налога на промышленные товары (Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI) распространяется на оборудование, которое не производится в достаточных объемах внутри страны, например солнечные панели, инверторы, турбины для ветровых электростанций и другие технологические компоненты.</p> <p>Упрощение процедур: импортеры такого оборудования подают заявку на освобождение от налогов, представляя доказательства отсутствия локального аналога или его высокую стоимость.</p> <p>Цель освобождения: данный механизм направлен на уменьшение себестоимости строительства объектов ВИЭ в стадиях проектирования и ввода в эксплуатацию, что делает инвестиции в Бразилию более привлекательными, особенно для зарубежных компаний.</p>
	2. Программа REG (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura)	<p>Льготы программы: участники программы получают частичные или полные освобождения от некоторых видов налогов, включая налог на добавленную стоимость (ICMS), который взимается на уровне штатов.</p> <p>Снижение налогового бремени распространяется на импортные и внутренние закупки оборудования,</p>

Продолжение таблицы 18, Национальные программы налогового субсидирования

1	2	3
		<p>стройматериалов, вспомогательных установок для проектов ВИЭ.</p> <p>Сроки действия льгот: льготы предоставляются на весь цикл реализации проекта (например, на закупку, транспортировку, установку технологий).</p> <p>Привлечение внешнего капитала: программа REG особенно популярна среди международных компаний и фондов, заинтересованных в развитии инфраструктуры страны в сфере возобновляемых источников энергии. Льготы повышают привлекательность государства для крупных игроков рынка.</p>
	<p>3. Налоговые вычеты для участников программы</p>	<p>Компании, работающие в сфере ВИЭ, обязаны соблюдать сроки проектирования, установки и ввода оборудования в эксплуатацию. Если данные условия выполняются, инвесторы получают значительные налоговые льготы.</p> <p>Сокращение налога на доход: для компаний, занимающихся производством электроэнергии из ВИЭ, возможно частичное освобождение от налога на доход (Imposto de Renda Pessoa Jurídica - IRPJ) на определённый период.</p> <p>Вычет по налогу на финансовые операции (IOF): компании, привлекающие капитал или инвестиции через международные финансовые инструменты, могут избежать или минимизировать уплату IOF.</p> <p>Снижение ставки PIS/COFINS: это федеральные налоги, взимаемые с выручки компании. Для проектов ВИЭ применяются специальные режимы, позволяющие сократить эти сборы</p>

Продолжение таблицы 18, Национальные программы налогового субсидирования

1	2	3
2. Индия	1. Освобождение от налога на доход для компаний, участвующих в проектах ВИЭ	<p>Одна из ключевых привилегий для компаний, реализующих проекты в сфере ВИЭ в Индии, — освобождение от налога на корпоративный доход (Corporate Tax) на срок до 10 лет.</p> <p>Особенности льготы: полное или частичное освобождение от уплаты налога применяется к доходам, которые напрямую связаны с реализацией проектов в области солнечной, ветровой энергетики, биомассы, гидроэнергетики и других возобновляемых источников.</p>
	2. Инвестиционные налоговые вычеты (Investment Tax Credits)	<p>Индия предлагает стратегическое снижение налогового бремени за счёт инвестиционных налоговых вычетов, связанных с затратами на покупку оборудования и строительство объектов ВИЭ.</p> <p>Суть механизма: инвесторы получают налоговые вычеты, которые составляют процент от стоимости приобретённого оборудования или капитальных затрат на строительство ВИЭ-объектов. Такие налоговые стимулы существенно повышают финансовую рентабельность проектов, сокращая период их окупаемости.</p> <p>Специфика вычетов: величина вычета может достигать 40% стоимости оборудования или затрат на строительство. Расходы, связанные с закупкой солнечных панелей, ветровых турбин, силовых инверторов, аккумуляторов и другого специального оборудования, могут быть вычтены из налогооблагаемого дохода компании.</p>
	3. Освобождение от налога на импорт оборудования для ВИЭ	Для развития сектора ВИЭ и снижения начальных издержек на строительство

Продолжение таблицы 18, Национальные программы налогового субсидирования

1	2	3
		<p>объектов значительную роль играет политика освобождения от налога на импорт оборудования и технологий для возобновляемой энергетики.</p> <p>Суть льготы: компании, импортирующие солнечные панели, ветровые турбины, биомассовые установки, системы хранения энергии, трансформаторы, высоковольтное оборудование и другое оборудование для ВИЭ, освобождаются от уплаты таможенных пошлин и соответствующих сборов.</p>
3. Китай	1. Программа развития ветроэнергетики (Three Gorges Project of Wind Power)	<p>Китай развивает ветер как одну из ключевых областей ВИЭ. Программа Three Gorges Project of Wind Power названа в честь легендарного гидроэнергетического проекта на реке Янцзы и предполагает создание масштабных ветровых ферм на суше и море.</p> <p>Механизмы: разрешение на строительство крупных оффшорных и наземных ветровых ферм для государственных и частных компаний. Субсидии на строительство таких установок. Снижение нагрузки на распределительные компании благодаря квотам на закупку электроэнергии, выработанной из ВИЭ пустынных регионах и сельских районах.</p>
	2. Программа поддержки солнечной энергетики	<p>Субсидии производителям солнечных панелей для увеличения объёмов локального производства.</p> <p>Поддержка строительства крупных солнечных электростанций в регионах с высоким уровнем солнечной радиации.</p>

Окончание таблицы 18, Национальные программы налогового субсидирования

1	2	3
		Внедрение программ интеграции солнечных панелей в городской инфраструктуре (например, солнечные крыши на жилых и коммерческих зданиях).
	3. Механизм зелёных квот и сертификатов	<p>С 2017 г. в Китае была введена политика, требующая от энергетических компаний соответствовать целевым квотам, устанавливающим долю ВИЭ в структуре энергоснабжения. Компании, не достигающие этих квот, обязаны приобретать зелёные сертификаты (Green Energy Certificates, GECs) — аналоги «зелёных облигаций».</p> <p>Условия: установленные квоты ежегодно растут и поднимают спрос на развитие объектов ВИЭ. Создан рынок торговли GECs, который позволяет предприятиям покупать сертификаты у производителей ВИЭ, компенсируя недостигнутые квоты</p>

Рекомендации стимулирования развития альтернативных источников энергии на Дальнем Востоке

Для стимулирования развития АИЭ на Дальнем Востоке России необходим комплексный подход, учитывающий специфику региона: его удалённость, суровые климатические условия, неравномерную плотность населения и значительную зависимость от углеводородного топлива. Это требует применения институциональных, экономических, социальных и управленческих мер. Рекомендации для реализации этих мер могут быть следующими.

Главным образом усилия должны быть направлены на формирование *финансово-экономических стимулов в регионе*, обеспечивающих благоприятный инвестиционный климат. Традиционно наиболее эффективными мерами являются

введение льготного налогового режима и предоставление субсидий компаниям, инвестирующим в развитие альтернативной энергетики в регионе. В России существуют механизмы СПИК 1.0, СПИК 2.0⁹⁷, которые направлены на стимулирование инвестиций в промышленное производство. В таком же ключе могут быть созданы и программы, способствующие строительству альтернативных источников энергии.

Важнейшим показателем для инвесторов безусловно является стоимость кредитования на рынке. Поэтому целесообразна такая мера, как предоставление льготного финансирования (например, в настоящее время льготные кредиты энергетической отрасли активно предоставляют: Фонд Развития Промышленности и Фонд развития территорий). Необходимо расширить программы льготного финансирования, включив в них критерии территориальной локализации (территории Дальнего Востока) источника энергии и его характеристики. Следует сделать обязательным критерием строительство именно альтернативных источников энергии.

Ещё один механизм предоставления льготного финансирования – «зеленые» облигации. В Российской Федерации в сегменте инструментов устойчивого развития наибольший объем приходится на «зеленые» облигации, в объеме 459,99 млрд руб.⁹⁸ Мировая динамика выпуска «зелёных» облигаций демонстрирует устойчивый положительный тренд: в 2014 объем выпуска составил 37 млрд. долл, а в 2021 году - 578,4 млрд. долл. Энергетика является лидирующей отраслью по объему спроса на «зеленых» инвестиций.⁹⁹

Необходимо продолжать предоставлять тарифные механизмы возврата инвестиций для энергетических компаний через договоры поставки мощности

⁹⁷ СПИК. Фонд Развития Промышленности. URL: <https://frprf.ru/navigator-gospodderzhky/spik-1-0/#::~:~:text=Каковы%20основные%20отличия%20СПИК%202.0,современной%20технологии%20из%20утвержденног о%20перечня>. (дата обращения: 20.01.2025)

⁹⁸ Онуфриева, А. С. Субфедеральные зеленые облигации в государственном стимулировании финансирования устойчивого развития: институциональный аспект / А. С. Онуфриева, Г. А. Плотникова, О. А. Горанова // Экономика устойчивого развития. – 2024. – № 1(57). – С. 101-106.

⁹⁹ Бондаренко, В. А. «Зеленые» облигации в региональном развитии: зарубежный опыт и российские реалии // Финансовые исследования. – 2023. – Т. 24, № 2(79). – С. 72-81.

(ДПМ ВИЭ¹⁰⁰). Программа успешно показала себя в строительстве кластера ВИЭ в южных и северных регионах России. Ориентация программы на Дальний Восток, безусловно, принесет значимые результаты.

Обеспечение устойчивого и надежного энергоснабжения подталкивает к *развитию инфраструктурной поддержки*. В первую очередь речь идет о создании систем хранения электроэнергии. Это обеспечит региону долгосрочную безопасность энергетического сектора, при активном наращивании доли альтернативных источников энергии в энергобалансе. Системы накопления позволят нивелировать колебания выработки электроэнергии за счет альтернативных источников энергии, обеспечивая устойчивое и бесперебойное энергоснабжение. Балансирование выработки с помощью накопителей обеспечит системную эффективность электроэнергетики Дальнего Востока. По мимо этого сочетание альтернативных источников энергии с накопителями будет способствовать сдерживанию роста цен на электроэнергию.¹⁰¹ Системный Оператор отмечает¹⁰² незаменимость крупномасштабных систем хранения и накопления электроэнергии в рамках интеграции возобновляемых источников энергии. По данным Министерства Энергетики, объем российского рынка систем хранения электроэнергии с 2025 года может составить порядка 8 млрд долл. США, в год¹⁰³.

Также можно отметить необходимость создания инфраструктуры для малых электросетей, с учетом низкой плотности населения на Дальнем Востоке и высоким объемом технологически изолированных от центральной системы энергоснабжения.

¹⁰⁰ Конкурсные отборы инвестиционных проектов ВИЭ. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. URL: <https://rreda.ru/industry/competitive-selection/> (дата обращения: 20.01.2025)

¹⁰¹ Трегубова Е.А., Городилов М.А., Люшин Л.С. Экономическая эффективность накопителей электроэнергии при интеграции электростанций на возобновляемых источниках энергии в энергосистеме // Вестник ГУУ. 2024. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-nakopiteley-elektroenergii-pri-integratsii-elektrostantsiy-na-vozobnovlyaemyh-istochnikah-energii-v> (дата обращения: 21.03.2025).

¹⁰² Системный Оператор ЕЭС. Системы хранения электроэнергии. URL: <https://www.sops.ru/functioning/markets/dr/worlds-experience/usa/dr-usa-caiso/dr-usa-caiso-6/> (дата обращения: 21.03.2025).

¹⁰³ Министерство энергетики. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации. URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/6d8/2egrww4cf5k2sbr07cko523tjb18efw1/Koncepciya_po_nakopitelyam.pdf (дата обращения 21.01.2025 г.)

Необходимо государственное финансовое и административное содействие исследованиям, связанным с адаптацией ВИЭ к суровым условиям Дальнего Востока, включая разработку морозоустойчивых солнечных панелей, гибридных установок и технологий ветроэнергетики в сложных климатических условиях. Кроме этого, можно рассмотреть сотрудничество с международными партнерами, а именно привлечение иностранных компаний и университетов для создания совместных технологий ВИЭ на основе международного опыта. В тоже время рекомендуется создание региональных центров компетенций с интеграцией образовательных и учебных программ для подготовки специалистов по внедрению, эксплуатации и техобслуживанию ВИЭ в тесном взаимодействии с местными университетами (например, в Дальневосточном Федеральном Университетом – ДВФУ) и технопарками.

Как мера стимулирование также может быть использована *социальная и информационная политика в регионе*. Проведение информационных кампаний для популяризации ВИЭ как экологически чистого и экономически выгодного источника энергии. Важно объяснять населению долгосрочные экономические и экологические выгоды ВИЭ. Участие населения в планировании и реализации проектов может усилить социальное принятие ВИЭ, особенно в удалённых районах.

Территориальное расположение Дальнего Востока в Азиатско-тихоокеанском регионе, определено, подталкивает к развитию экспорта в страны АТС (Китай, Южная Корея, Япония и др.) Возможность реализации крупных объема экспорта электроэнергии должна создать экономический стимул развития альтернативной энергетики и привлечение инвесторов на Дальний Восток. Одновременно, регион может стать инвестиционной привлекательным не только для российских энергетических компаний, но и для иностранных инвесторов особенно в условиях ухода с рынка крупных европейских и западных энергетических компаний, работающих с ветровой и солнечной энергией (например, Siemens Gamesa, Vestas и Lagerway).

Одна из особенностей дальневосточного региона – суровые климатические условия почти на всей территории региона (самое теплое место это поселок Хасан

в Приморском крае, средняя температура до +7 °С¹⁰⁴). 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.

С учётом результатов расчётов на основе системного анализа проблем развития энергетического комплекса Дальнего Востока были разработаны рекомендации по совершенствованию системы управления развитием региональных энергетических систем.

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.

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

¹⁰⁴ Климат Хасан (Российская Федерация). URL: <https://ru.climate-data.org/азия/российская-федерация/приморский-край/хасан-33877/> (дата обращения 20.05.2025)

в области совершенствования организационно-экономического механизма управления.

Все вышеперечисленные факторы создают барьеры для адаптации отрасли к нарастающим глобальным климатическим требованиям и эффективному внедрению альтернативной генерации.

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

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

- планомерное развитие машиностроительной отрасли и энерго-строительных организаций;

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

- отбор только конкурентоспособных имеющихся на рынке энергетики генерирующих объектов;

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

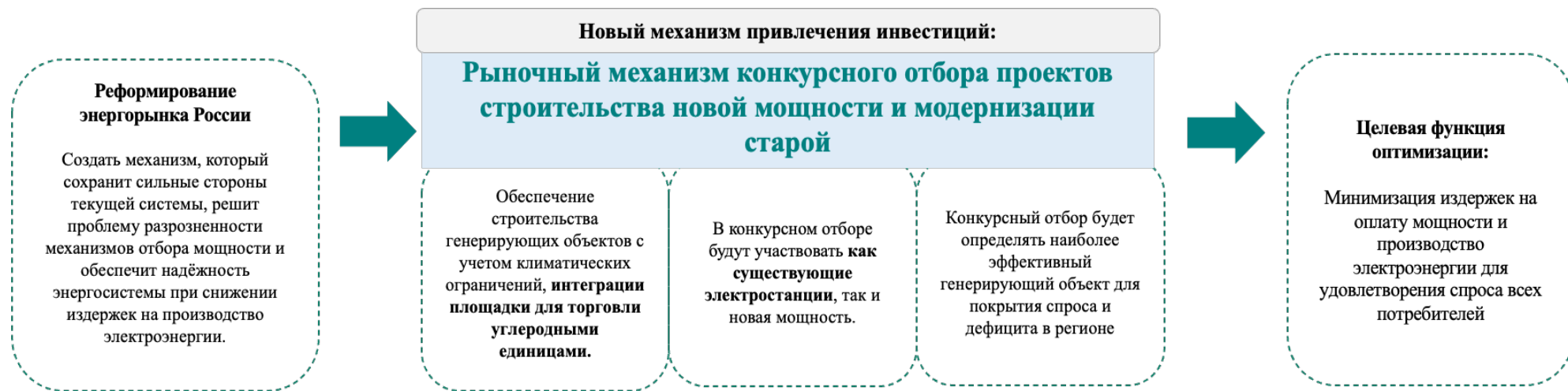
- учёт наличия мощности, обеспечивающей регулирование, проекты ВИЭ при этом условии будут реализовываться в регионах с достаточным объёмом регуляции;

- обеспечение конкуренции проектов ВИЭ с другими технологиями

Устранить недостатки также может позволить 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. Учёт экологической составляющей с учётом возможного будущего введения углеродных налогов представляется исключительно важным для обеспечения конкурентоспособности промышленной продукции.

В данном исследовании предложен усовершенствованный дизайн энергорынка, который объединяет наиболее эффективные элементы

действующей системы, одновременно позволяя решить проблему множественности существующих методов отбора мощности. Эти методы в своей совокупности не полностью удовлетворяют требованиям долгосрочного планирования функционирования энергосистемы, обеспечивая необходимую надёжность и снижая затраты на производство электроэнергии и поддержание готовности генерирующего оборудования.



Параметры оптимизации и связь с целевой функцией



Рисунок 22 – Схема нового механизма привлечения инвестиций

Источник: составлено автором

Новый механизм конкурсного отбора мощности предполагает объединение уже действующих механизмов: 1) конкурентный отбор мощности, 2) отбор мощности на модернизацию для тепловых электростанций и прочие виды договоров на поставку мощности, рисунок 21. В отборе будут участвовать как уже существующие электростанции, так и новые проекты по строительству энергетических объектов. **В ходе отбора должен быть определён наиболее эколого-экономически эффективный способ покрытия спроса.** Целевая функция отбора — минимизация издержек на энергоснабжение потребителей при условии обеспечения спроса, исполнения ограничений на производство и передачу электроэнергии. Главное отличие от существующих механизмов — климатические ограничения и интеграция с площадкой по торговле углеродными единицами.

Рекомендации для участников реализации нового механизма привлечения инвестиций.

Для Министерства энергетики

1. Подготовка нормативно-правовой базы: разработка критериев конкурсного отбора (эффективность, CO₂, технологии).
 - a. Установление технических требований (устойчивость к климату, снижение углеродного следа).
 - b. Регламентация интеграции с рынком углеродных единиц.
 - c. Определение правил и процедур прозрачного конкурсного отбора.
2. Планирование и координация: долгосрочное планирование с учётом климатических целей.
 - a. Определение дефицитных регионов и узких мест.
 - b. Координация с системным оператором.
 - c. 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 национальных парниковых балансов (НПБ для углеродного рынка (эмиссия, верификация, обращение)).
 - a. Формирование инфраструктуры рынка (платформа, реестр, MRV).
 - b. Стимулирование спроса и предложения (возможный углеродный налог/квоты).
2. Формирование благоприятного инвестиционного климата: снижение административных барьеров.
3. Привлечение инвестиций и «зелёных» технологий.

Для энергетических компаний (инвесторов).

1. Разработка конкурентоспособных проектов:
 - a. ТЭО с учётом новых требований (экономика, климат, выбросы).
 - b. Инвестиции в низкоуглеродные и высокоэффективные технологии.
2. Адаптация к рынку углеродных единиц.
 - a. Разработка корпоративных углеродных стратегий.
 - b. Внедрение систем мониторинга выбросов (MRV).
 - c. Участие в торгах углеродными единицами.

Ключевую роль в реализации комплекса мер по совершенствованию механизма управления и привлечение инвестиций в развитие энергетического комплекса должно играть Министерство энергетики. Именно оно создаёт нормативно-правовую базу 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. В свою очередь, бизнесу, в лице энергетических компаний, рекомендуется при

разработке стратегий развития активов и формировании ESG-стратегий ориентироваться на наиболее конкурентоспособные инвестиционные проекты с точки зрения их высокой эколого-экономической эффективности. Одновременно следует уделять все более пристальное внимание низкоуглеродным проектам, с потенциалом внедрения систем мониторинга, отчетности и верификации выбросов (MRV) для их последующей интеграции с углеродным рынком. Это упростит задачу обеспечения гармоничного и эффективного низко углеродного экономического перехода, стимулируя развитие «зеленых» технологий в энергетической отрасли: не только при строительстве новых альтернативных источников энергии, но при модернизации традиционных угольных станций.

...

Выводы к главе 3

Для России, рискующей столкнуться в ближайшие годы с дефицитом электроэнергии, особенно в регионах Дальнего Востока, вопрос о вариантах и направлениях привлечения инвестиций в расширение энергосистемы становится остроактуальным. Результаты проведенного исследования показали целесообразность в кратко- и среднесрочной перспективе развития энергетической системы Дальнего Востока на базе использования различных альтернативных источников энергии, включающих как возобновляемые источники энергии, строительство новых атомных электростанций, так и традиционную, но модернизированную угольную электрогенерацию. В рамках исследования учитывались экологические параметры, в частности выбросы CO₂, способные в ближайшие годы за счёт введения углеродных налогов значительно менять экономику проектов.

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 учёных. Результаты расчётов ещё раз подчеркнули важность и перспективность дальнейших исследований эколого-экономических аспектов развития энергетических систем. Внедрение многими странами углеродных налогов, в частности СВАН ЕС, углеродные налоги в Китае и др., заметно изменяют траекторию развития отрасли. Выбросы парниковых газов, в частности CO_2 , — далеко не единственный отрицательный экологический эффект развития энергетических систем. По мере расширения масштабов возобновляемой энергетики всё большее значение будут приобретать проблемы переноса загрязнения в третьи страны, отрицательные экологические эффекты, связанные с отчуждением больших территорий и изменением их экосистем, ресурсное обеспечение энергетической отрасли и энергетического машиностроения. Трансформация структурной организации и формирование новой внутриотраслевой экосистемы электроэнергетики, инициированные технологическими инновациями и усилением экологической повестки, составят центральный объект исследовательского внимания.

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 CO₂ 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 литературы

Нормативно-правовые акты и стратегические документы

1. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
2. Приказ Минэнерго России от 28.11.2025 № 1553 «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2026 – 2031 годы» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
3. Приказ Минэнерго России от 29.11.2024 № 2328 от «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025 – 2030 годы». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
4. Приказ Минэнерго России от 30.11.2023 № 1095 «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2024 — 2029 годы» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
5. Приказ Министерства энергетики России от 01.03.2017 № 143 «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2017–2023 годы». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
6. Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2024 N 4153-р «О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года». // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
7. Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2025 № 908-р. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года. // КонсультантПлюс: электронная справочная система.
8. Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2019 г. № 1228 «О принятии Парижского соглашения» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

9. Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

10. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

11. Постановление Правительства РФ от 27.12.2010 № 1172 (ред. от 01.11.2024) «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» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

12. Распоряжение Правительства РФ от 19.06.2023 № 1604-р «Об утверждении перечня генерирующих объектов тепловых электростанций, подлежащих модернизации (реконструкции) или строительству в неценовых зонах оптового рынка электрической энергии и мощности от 4 июля 2023» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

13. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 года» (ред. от 24.03.2022) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

14. Постановление Правительства РФ от 25.01.2019 N 43 «О проведении отборов проектов модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

15. Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 г. № 449 (ред. от 3 мая 2024 г.) «О механизме стимулирования использования возобновляемых

источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

16. Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 328 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

17. Постановление Правительства РФ от 02.04.2021 № 535 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

18. Распоряжение Правительства РФ от 01.06.2021 № 1446-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

19. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р (ред. от 29.05.2025) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

20. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

21. Распоряжение Правительства РФ от 24.10.2020 N 2749-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р» // КонсультантПлюс: электронная справочная система. // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

22. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

23. Федеральный закон "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с укреплением платежной дисциплины потребителей энергетических ресурсов" от 03.11.2015 N 307-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

24. Федеральный закон «О внесении изменений в статью 23.2 Федерального закона «Об электроэнергетике» от 30.12.2015 N 450-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

25. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р (ред. от 15.02.2025) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // КонсультантПлюс: электронная справочная система.

26. Декларация Стокгольма о человеческой среде. Документ Конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, 5–16 июня 1972 г.). URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N72/307/42/PDF/N7230742.pdf?OpenElement> (дата обращения: 25.11.2024).

Книги и монографии

27. Адамов Е.О. и др. Зеленая книга ядерной энергетики / под ред. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2024. – 232 с.

28. Бобылев С.Н. Экономика устойчивого развития : учебник. М.: КНОРУС, 2021. — 672 с. ISBN 978-5-406-01850-7.

29. Бобылев С.Н., Соловьева С.В., Ховавко И.Ю. и др. Основы экономики устойчивого развития / под ред. С.Н.Бобылева). Экономический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2025. – 312 с. ISBN 978-5-907690-73-8.

30. Бобылев С.Н., Вереникин А.О., Вереникина А.Ю., Гречухина И.А. и др. Устойчивое развитие территорий (под науч. ред. О.В. Кудрявцевой). М.: Экономический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова. 492 с. ISBN 978-5-906932-73-0.

31. Бобылев С.Н.,Зубаревич Н.В., Соловьева С.В., Власов Ю.С. Устойчивое развитие: Методология и методики измерения – М.: Экономика, 2011. – 310 с.
32. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Энергия и прогнозы мирового развития: тенденции и закономерности. М.: ИД МЭИ, 2020. 220 с. ISBN 978-5-383-01436-3.
33. Шевчук, А.В. «Зеленая» экономика. Новая парадигма развития страны– Москва : Совет по изучению производительных сил, 2015. – 248 с.
34. Шевчук А.В. "Зеленая" экономика: перезагрузка: монография. - Москва: Зимородок, 2018. - 448 с.
35. Шевчук А.В. Экономические вопросы природопользования и охраны окружающей среды. М.: СОПС, 2013.
36. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Беренс, В.Б. Пределы роста. М.: Изд-во Московского университета, 1991.
37. Boyle, G. (2004) Renewable Energy Power for a Sustainable Future. 2nd Edition, Oxford University Press, Oxford.
38. Robertson, M. (2021). Sustainability Principles and Practice (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429346668>.
39. Small is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered/ Ernst Friedrich Schumacher. URL: https://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5110/small_is_beautiful.pdf (дата обращения: 05.03.2023)
40. Elkington, J. (2004). The Sustainability Advantage: Seven Business Case Benefits of a Triple Bottom Line. London: Earthscan.
41. Daly, H.E. Steady-State Economics. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.
42. Ward, B., Dubos, R. Only One Earth: The Care and Maintenance of a Small Planet. Report for the United Nations Conference on the Human Environment. W.W. Norton & Company, 1972.

43. Holling, C.S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems* 4, 1 – 24, 1973.

44. Odum, H.T. *Environment, power, and society*. Wiley-Interscience, New York., 1971.

45. Martinez-Alier, J. *Haciendas, plantations, and collective farms: agrarian class societies, Cuba and Peru*. F. Cass, London. 1977

46. Гудстайн, Д. (David Goodstein). "На пороге энергетического кризиса" (*Out of Gas: The End of the Age of Oil*). 2004.

Научные статьи

47. Алхасов А.Б., Аликеримова Т.Д., Ниналалов С.А. Программа договоров предоставления мощности как средство стимулирования и поддержки возобновляемых источников энергии в России // РППЭ. 2021. № 7.

48. Антохина В.А. Государственная политика устойчивого развития регионов: повестка 2030. // *Среднерусский вестник общественных наук*. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennaya-politika-ustoychivogo-razvitiya-regionov-povestka-2030> (дата обращения: 20.01.2025).

49. Башмаков И.А., Мышак А.Д. Затраты и выгоды реализации стратегий низкоуглеродного развития России: перспективы до 2050 года. *Вопросы экономики*. 2014;(8):70-91. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2014-8-70-91>

50. Башмаков И.А. Основная развилка на траекториях достижения углеродной нейтральности URL: https://cenef-xxi.ru/uploads/Osnovnaya_razvilka_na_traektoriyah_dostizheniya_uglerodnoj_nejtralnosti_045e5eb44f.pdf (дата обращения: 12.06.2025).

51. Башмаков И.А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики. *Вопросы экономики*. 2020;(7):51-74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>

52. Башмакова И.А. и др. Углеродная нейтральность в России: ухабистые траектории до 2060 года. URL: <https://cenef->

xxi.ru/uploads/Glava_1_Osnovnye_vyvody_546b9118d5.pdf (дата обращения: 12.06.2025).

53. Бобыль А.В., Забродский А.Г., Малышкин В.Г., Теруков Е.И., Эрк А.Ф. Источники развития альтернативной энергетики // АгроЭкоИнженерия. 2017. № 92.

54. Бобылев С.Н., Барабошкина А.В., Курдин А.А., Яковлева Е.Ю., Бубнов А.С. Национальные цели развития России и ключевые индикаторы устойчивости в журнале Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), том 60, № 1, с. 40-59 DOI 2025

55. Башмаков И.А. Интегрированное планирование энергетических ресурсов в электроэнергетике. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4437.

56. Башмаков И.А., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Лебедев О.В., Лунин А.А. Низкоуглеродные решения для изолированных российских регионов. // Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). URL: http://www.cenef.ru/file/Low-Carbon_rus.pdf.

57. Башмаков И.А., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Лебедев О.В., Лунин А.А. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России. Долгосрочные перспективы // Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). URL: https://cenef-xxi.ru/uploads/RUS_Vneshnyaya_torgovlya_ekonomicheskij_rost_Perspektivy_463a2412c5.pdf.

58. Бобылев С.Н., Горячева А.А. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2019. № 1.

59. Бобылев, С. Н. Новые модели экономики и индикаторы устойчивого развития // Экономическое возрождение России. — 2019. — № 3 (61).

60. Бондаренко, В. А. «Зеленые» облигации в региональном развитии:

зарубежный опыт и российские реалии // Финансовые исследования. – 2023. – Т. 24, № 2(79). – С. 72-81.

61. Бубенчиков А.А., Гаибов И.А., Горюнов А.Н., Дорогов Б.Б., Киселев Г.Ю. Экономика возобновляемой энергетики в европейской части РФ. // Вестник ЮГУ. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-vozobnovlyaemoy-energii-v-evropeyskoj-chasti-rf> (дата обращения: 23.03.2025).

62. Бушуев В., Соловьев Д., Сокотущенко Н. Роль возобновляемых источников энергии в снижении выбросов парниковых газов: перспективы и вызовы для Дальнего Востока России // ЭП. 2023. №9 (188). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-v-snizhenii-vybrosov-parnikovyh-gazov-perspektivy-i-vyzovy-dlya-dalnego-vostoka-rossii> (дата обращения: 12.10.2025).

63. Бушуев В.В., Соловьев Д.А. Нейронное прогнозирование динамики социально-экономического положения геоторий ДФО // Информационные ресурсы России, № 3(192), с. 4-23. DOI: 10.52815/0204-3653_2023_3192_4

64. Бушуев В.В., Новиков Н.Л. Инфраструктурные накопители в энергетике // Энергетическая политика. 2020. № 10(152).

65. Волкова И.О., Бурда Е.Д., Гаврикова Е.В., Конев А.В. Оценка условий для развития перспективных энергетических технологий в субъектах Российской Федерации // Управленческие науки. 2019. № 9 (1). С. 47-67

66. Григорьев Л.М., Курдин А.А. Энергетическая эффективность: ключевой элемент новой экономики. В сб. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации 2013. М., 2015. С. 102-116

67. Газман В.Д. Экономическая оценка выбросов CO₂ в экологическом разделе ESG // Экономический журнал ВШЭ. 2022. № 26(4).

68. Дегтярев К.С. ВИЭ и побочные экологические эффекты // С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2015. № 5. С. 90–94.

69. Двинин Д.Ю. Оценка эколого-экономической эффективности альтернативной энергетики в регионах Российской Федерации // Вестник евразийской науки. 2020. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologo-ekonomicheskoy-effektivnosti-alternativnoy-energetiki-v-regionah-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 12.10.2025).

70. Ляпина А.А. Некоторые вопросы отражения процессов глобализации в макроэкономических расчетах // Вопросы статистики. 2018. № 7(25).

71. Кирюшин П.А. Эколого-экономическая оценка энергоэффективности в России: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2012.

72. Киселев В. ВИЭ в России: субсидировать или развивать // ЭП. 2022. № 6.

73. Краснов А.В., Шакирзянов И.В. Региональный аспект развития генерирующих мощностей на основе ДПМ // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 12.

74. Кудрявцева О.В., Васильев С.В., Зорина Т.Г. Эффективность реализации программы поддержки возобновляемой энергетики (на примере солнечной энергетики) // Russian Journal of Economics and Law. 2023.– № 4.

75. Кудрявцева О. В., Митенкова Е. Н., Маликова О.И., Головин М.С. Развитие альтернативной энергетики в России в контексте формирования модели низкоуглеродной экономики // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2019. № 4.

76. Маликова О.И., Кирюшин П.А., Николаева А.В. Технологические детерминанты трансформации возобновляемой энергетики и государственной поддержки развития энергетической отрасли // Управленческие науки. 2021. №11(1).

77. Маликова О.И. Сергеева С.А. Управление развитием альтернативной энергетики в регионах дальнего Востока // Управленческие науки. 2025. Т.15, № 4. С. 6-19.

78. Макаров А.А., Митрова Т.А. Стратегические перспективы развития энергетического комплекса России // Проблемы прогнозирования. 2018. №5 (170). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskie-perspektivy-razvitiya-energeticheskogo-kompleksa-rossii> (дата обращения: 20.11.2023).

79. Онуфриева, А. С. Субфедеральные зеленые облигации в государственном стимулировании финансирования устойчивого развития: институциональный аспект // Экономика устойчивого развития. – 2024. – № 1(57). – С. 101-106.

80. Потравный И.М., Колотырин К.П., Генгут И.Б. Применение экологического страхования при управлении проектами по ликвидации накопленного экологического ущерба // Экономическая наука современной России. 2017. № 2 (77).

81. Потравный И.М., Новоселов А.Л., Новоселова И.Ю. Развитие методов экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды и их практическое применение // Экономическая наука современной России. 2018. № 3 (82).

82. Плакиткин Ю.А. Глобальный энергетический переход и современные мировые трансформации в прогнозах развития энергетики // Энергетическая политика. 2023. № 8(187).

83. Плакиткин, Ю.А. Глобальный энергопереход в трансформациях мирового развития, задачи по адаптации отраслей ТЭК России. В сб. Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России. М.: Институт энергетических исследований РАН, 2023.

84. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А. Парижское соглашение по климату, Covid-19 и водородная энергетика — новые реалии добычи и потребления угля в странах ЕС и Азии в период до 2040 года // Горная промышленность. 2021. № 1.

85. Порфирьев Б.Н. Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2 (173).
86. Порфирьев Б., Широков А., Колпаков А. Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. 2020; № 9(64).
87. Порфирьев, Б.Н. «Зелёная» экономика: общемировые тенденции развития и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2012. № 4 (82).
88. Порфирьев, Б. Н. Природа и экономика: риски взаимодействия. — Москва : Анкил, 2011.
89. Порфирьев, Б. Н. Экономика климатических изменений. — Москва : Анкил, 2008.
90. Порфирьев Б.Н., Рогинко С.А. Альтернативная энергетика и социально ориентированная экономика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2016. № 3.
91. Сергеева С.А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. 2024. Т.60, № 4. С. 148–153.
92. Сергеева С.А. Эколого-экономическая эффективность использования технологии «Термококс» // Инновации и инвестиции. 2025. № 1. С. 393–396.
93. 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.
94. Сергеева С.А. Влияние «зеленой» цифровизации на экономическую эффективность проектов ВИЭ // Инновации и инвестиции. 2025. № 2. С. 386–390.
95. Соколов М. Энергоемкость экономики России и основные направления по ее сокращению // Энергетическая политика. 2023. № 7. URL:

<https://energypolicy.ru/energoemkost-ekonomiki-rossii-i-osnovnye-napravleniya-po-ee-sokrashheniyu/energetika/2023/20/31/> (дата обращения 05.07.2025).

96. Стенников В.А., Жарков С.В. Методы оценки эффективности энергоснабжения потребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. 2014. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-effektivnosti-energосnabzheniya-potrebiteley> (дата обращения: 19.01.2025).

97. Стиглиц Д., Сен А., Фитусси Ж.-П. Неверно оценивая нашу жизнь: почему ВВП не имеет смысла? Доклад Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса. М.: Изд-во Института Гайдара, 2016.

98. Трегубова Е.А., Городилов М.А., Люшнин Л.С. Экономическая эффективность накопителей электроэнергии при интеграции электростанций на возобновляемых источниках энергии в энергосистеме // Вестник ГУУ. 2024. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-nakopiteley-elektroenergii-pri-integratsii-elektrostantsiy-na-vozobnovlyaemyh-istochnikah-energii-v> (дата обращения: 21.03.2025).

99. Тонышева Л.Л., Мизинков Г.С. Устойчивое развитие отечественной возобновляемой энергетики: стратегические цели и механизмы поддержки // Общество: политика, экономика, право. 2023. № 5.

100. Ховавко И.Ю. Концепция устойчивого развития в контексте глобализации // Век глобализации. 2016. №3 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-ustoychivogo-razvitiya-v-kontekste-globalizatsii> (дата обращения: 02.06.2025).

101. Ховавко И. Ю. Интернализация внешних эффектов от загрязнения окружающей среды в РФ: вопросы теории и практики. М.: Тезис, 2012.

102. Ховавко И.Ю. Экологическое регулирование в Российской Федерации. М.: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломономова, 2017.

103. Шигина А., Хоршев А., Веселов Ф. Оценка экологического воздействия жизненного цикла электростанций при разработке сценариев

низкоуглеродной трансформации электроэнергетики России // Энергетическая политика. 2024. №12(203).

104. Яшалова Н.Н., Потравный И.М. Инструменты обеспечения углеродной нейтральности в российском угольном бизнесе // Уголь. 2023. №10 (1172). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-obespecheniya-uglerodnoy-neutralnosti-v-rossiyskom-ugolnom-biznese> (дата обращения: 05.07.2024).

105. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2018 год: Человек и инновации / под ред. С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева. – Москва : Аналитический центр при Правительстве РФ, 2019. – 176 с.

106. Доклад НИУ ВШЭ К XXIV Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Устойчивое развитие в неустойчивом мире: объединяя усилия регионов, городов и компании. 2023. URL: https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082508790/Устойчивое_развитие-доклад.pdf (дата обращения: 20.01.2025).

107. Добровольный национальный обзор хода осуществления Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. АНЦ при Правительстве Российской Федерации, 2020. URL: <https://economy.gov.ru/material/file/download/dcbc39abeafb0418d9d48c06c958e454/obzor.pdf> (дата обращения: 23.04.2025)

108. Научный доклад ИПП РАН. Потенциальные возможности роста российской экономики: анализ и прогноз. М.: Арттик Принт, 2022. 296 с. ISBN 9 78-5-6047208-5-1. ISSN 2712-9209. DOI 10.47711/sr2-2022.

109. Bogdanov D., Ram M., Aghahosseini A., Gulagi A., Solomon A.O., Child M., Caldera U., Sadovskaia, K. Farfan J., Barbosa L. S., Fasihi M., Khalili S., Traber T., Breyer C. Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability, Energy, Volume 227, 2021, 120467, ISSN 0360-5442, URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120467>

110. Brundtland, G.H. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations, 1987.

111. Coase R.H. The problem of social cost. // The journal of Law and Economics. 1960. №3

112. Chebotareva G. Researching the risks of Russian energy companies in the context of renewable energy sources development // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2017. Vol. 224.

113. Daniilidis A., Herber R. Impact of technical and economic uncertainties on the economic performance of a deep geo-TM thermal heat system // Renewable Energy. 2017. Vol. 114.

114. Daszkiewicz, K. (2020). Policy and Regulation of Energy Transition. In: Hafner, M., Tagliapietra, S. (eds) The Geopolitics of the Global Energy Transition. Lecture Notes in Energy, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2_9.

115. Douglas H., Wilhelm N.. Assessing Offshore Wind System Integration: Comparative Analysis of Floating Photovoltaics, Oscillating Surge Wave Converters, and Battery Energy Storage Systems. Lund University. 2023. – 120 с.

116. Elkington, J. (1997). Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. Oxford: Capstone Publishing. // Экономическое возрождение России. 2019. № 3 (61).

117. Filimonova I.V., Kozhevin V.D., Provornaya I.V., Komarova A.V., Nemov V.Y. Green energy through the LCOE indicator // Energy Reports. 2022. – Vol. 8, Supplement 15.

118. Gamage D., Chathura Wanigasekara, Abhisek Ukil, Akshya Swain, Multi-level consensus based load frequency controller with multi-battery energy storage systems, Electric Power Systems Research, Volume 239, 2025, 111208, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.111208>.

119. Ma B., Wang A. Exploring the role of renewable energy in green job creation and sustainable economic development: An empirical approach. Energy Strategy Reviews. 2025; (58).

120. Mälkki E., Alanne K., An overview of life cycle assessment (LCA) and research-based teaching in renewable and sustainable energy education & Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017; № 69.

121. Md Tasbirul Islam, Sikandar Abdul Qadir, Amjad Ali, Muhammad Waseem Khan. Economic and environmental impact assessment of renewable energy integration: A review and future research directions. Cleaner Energy Systems. 2024; (9).

122. Meadows D., Meadows D., Randers J., Behrens III, W. The Limits to Growth. MIT Report for the Club of Rome. Potomac Associates, 1972.

123. Ralf M., Muûls M., Preux L., and Wagner U.J.. 2014. "Industry Compensation under Relocation Risk: A Firm-Level Analysis of the EU Emissions Trading Scheme." American Economic Review 104 (8): 2482–2508.

124. Tan J. and Zhang Y. Coordinated Control Strategy of a Battery Energy Storage System to Support a Wind Power Plant Providing Multi-Timescale Frequency Ancillary Services, in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 8, no. 3, pp. 1140-1153, July 2017.

125. Tan Y. and Muttaqi K. M. Multilevel energy storage based frequency regulation in remote area power supply systems, 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), Wollongong, NSW, Australia, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERCON.2016.7754028.

126. Schumacher E.F. Small is Beautiful: Economics as if People Mattered. London: Blond & Briggs, 1973.

127. Vo D.H., Ho C.M., Lang N.D., Greener for greater security? The role of green finance in energy security amid rising geopolitical risks, Energy Economics, Volume 151, 2025, 108902, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108902>.

128. Ward B., Dubos, R. Only One Earth: The Care and Maintenance of a Small Planet. Report for the United Nations Conference on the Human Environment. W.W. Norton & Company, 1972.

129. Wu Z., Wenzhong Gao, Huaguang Zhang, Shijie Yan, Xiao Wang. Coordinated Control Strategy of Battery Energy Storage System and PMSG-WTG to Enhance System Frequency Regulation Capability. IEEE Transactions on Sustainable Energy. Year: 2017, Volume: PP, Issue: 99. P. 1, DOI: 10.1109/TSTE.2017.2679716.

130. Zhang X., Patelli E., Zhou Y., Chen D., Lian J., Xu B.. Enhancing the economic efficiency of cross-regional renewable energy trading via optimizing pumped hydro storage capacity. Renewable Energy. 2025.

Электронные ресурсы

131. База данных Ассоциации развития возобновляемой энергетики. Конкурсные отборы инвестиционных проектов ВИЭ. URL: <https://rreda.ru/industry/competitive-selection/> (дата обращения: 25.11.2024).

132. За два года эксперимента выбросы парниковых газов на Сахалине сократились в два раза. Министерство экономического развития. URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/za_dva_goda_eksperimenta_vybrosy_parnikovyh_gazov_na_sahaline_sokratilis_v_dva_raza.html (дата обращения: 30.01.2025).

133. Возобновляемые перспективы. 2023. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6042045>. (дата обращения: 20.09.2024)

134. ВИЭ в России: первый шаг сделан, что дальше?» URL: <https://www.forbes.ru/partnerskie-materialy/410301-vie-v-rossii-pervyy-shag-sdelan-chno-dalshe>. (дата обращения: 20.09.2024).

135. В «Интер РАО» заявили о снижении поставок электроэнергии в Китай на 80%. – 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7061333>. (дата обращения: 22.12.2024).

136. Через тернии к ветру и солнцу: нужны ли все еще России ВИЭ? URL: <https://mustread.kept.ru/articles/energetika/cherez-ternii-k-vetru-i-solntsunuzhny-li-vse-eshche-rossii-vie> (дата обращения: 25.11.2024).

137. Vestas Wind Systems A/S официально входит на российский ветроэнергетический рынок. URL: <https://rawi.ru/2017/11/vestas-wind-systems-a-s-ofitsialno-vhodit-na-rossiyskiy-vetroenergeticheskiy-ryinok>. (дата обращения: 19.06.2024).

138. Промышленность предупредила о риске роста нагрузки из-за индексации цен на газ. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/540808-promyslennost-predupredila-o-riske-rosta-nagruzki-iz-za-indeksacii-cen-na-gaz> (дата обращения: 20.07.2025)

139. ТОП-4 ключевых рисков для энергетики. URL: <https://eprussia.ru/epr/503-504/9861338.htm> (дата обращения: 20.07.2025)

140. ГК увеличила оценку модернизации Приморской ГРЭС на 17%, до 79 млрд руб. URL: <https://peretok.ru/news/generation/29402/> (дата обращения: 20.07.2025)

141. СПИК. Фонд Развития Промышленности. URL: <https://frprf.ru/navigator-gospodderzhky/spik-1-0/#:~:text=Каковы%20основные%20отличия%20СПИК%202.0,современной%20технологии%20из%20утвержденного%20перечня>. (дата обращения: 20.01.2025)

142. Конкурсные отборы инвестиционных проектов ВИЭ. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. URL: <https://rreda.ru/industry/competitive-selection/> (дата обращения: 20.01.2025)

143. Системный Оператор ЕЭС. Системы хранения электроэнергии. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/markets/dr/worlds-experience/usa/dr-usa-caiso/dr-usa-caiso-6/> (дата обращения: 21.03.2025).

144. Министерство энергетики. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации. URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/6d8/2egrww4cf5k2sbr07cko523tjb18efw1/Концепция_по_накопительям.pdf (дата обращения 21.01.2025 г.)

145. Климат Хасан (Российская Федерация). URL: <https://ru.climate-data.org/азия/россииская-федерация/приморский-край/хасан-33877/> (дата обращения 20.05.2025)

146. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития 2024. URL: <https://rreda.ru/products/yearly-reviews/review-2632>. (дата обращения: 27.05.2025).

147. Информационный обзор рынка ВИЭ в России (октябрь – декабрь 2023г.) URL: <https://rreda.ru/products/quarterly-reviews/review-1552> (дата обращения: 07.07.2024)

148. Росимущество разъяснило передачу ему под управление активов Fortum и Uniper. URL: https://www.vedomosti.ru/ecology/science_and_technology/articles/2022/06/16/926846-rossiiskii-rinok-vozobnovlyaemoi-energetiki-zhdet-novih-igrokov (дата обращения: 20.09.2024)

149. Электроэнергетические системы России. URL: <https://www.soups.ru/functioning/ups/ups2024/#:~:text=На%201%20января%202024%20года,н эффективного%20и%20устаревшего%20генерирующего%20оборудования>.

150. Будущее возобновляемой энергетики в России. XI ежегодная конференция. URL: <https://events.vedomosti.ru/events/vie22..> (дата обращения: 14.07.2025)

151. Россия выбирает устойчивое будущее. URL: https://www.vedomosti.ru/ecology/science_and_technology/articles/2022/06/16/926846-rossiiskii-rinok-vozobnovlyaemoi-energetiki-zhdet-novih-igrokov. (дата обращения: 15.02.2025).

152. Россия подвела итоги председательства в БРИКС в 2024 году. Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://economy.gov.ru/material/news/rossiya_podvela_itogi_predsdatelstva_v_briks_v_2024_godu.html (дата обращения: 15.02.2025).

153. Экология, энергетика, энергосбережение : бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. 2023. URL: https://www.eriras.ru/files/informatsionno_analiticheskiy_byulleten_pao_mosenergo.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

154. Reform of the electricity market should be accelerated to establish the energy mix through market competition based on the comprehensive costs of power generation. Peking University. URL: <https://english.pku.edu.cn/PKUmedia/11678.html>. (дата обращения: 09.07.2025).

155. Путин поручил проработать строительство гидроэлектростанций на реке Амур. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/611c40999a7947699b23d013>. (дата обращения: 07.05.2025)

156. Русгидро и правительство Амурской области подписали соглашение по строительству противопаводковых ГЭС. URL: https://rushydro.ru/press/news/1109202383661/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com. (дата обращения: 07.05.2025)

157. Экспорт электроэнергии из России в Китай снизился более чем в три раза. 2024. URL: <https://neftegaz.ru/news/energy/854666-eksport-elektroenergii-iz-rossii-v-kitay-snizilsya-bolee-chem-v-tri-raza>. (дата обращения: 22.12.2024).

158. 733 миллиона человек все еще не имеют доступа к электричеству. URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/06/1424922> (дата обращения: 12.10.2025).

159. Interagency Working Group (IWG) on Social Cost of Carbon (2016). Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf (дата обращения: 07.05.2025)

160. European Commission (2021). EU ETS Handbook. URL: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-03/ets_handbook_en.pdf.

161. LCOE and value-adjusted LCOE for solar PV plus battery storage, coal and natural gas in selected regions in the Stated Policies Scenario, 2022-2030. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/lcoe-and-value-adjusted-lcoe-for->

solar-pv-plus-battery-storage-coal-and-natural-gas-in-selected-regions-in-the-stated-policies-scenario-2022-2030 (дата обращения: 15.02.2025).

162. Total power. 2020. URL: <https://english.pku.edu.cn/PKUmedia/11678.html> (дата обращения: 25.11.2024).

163. IPCC. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, 2011. URL: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation>. (дата обращения: 09.07.2025).

164. Harvard T.H. Chan School of Public Health. Health and Climate Change: Mitigation Co-benefits of Clean Energy. 2020. (дата обращения: 09.07.2025).

165. Организация Объединённых Наций. Цели устойчивого развития: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года : резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН 25 сентября 2015 года. A/RES/70/1. Нью-Йорк: ООН, 2015. Доступ: <https://undocs.org/A/RES/70/1> (дата обращения: 03.11.2024).

166. Цели в области устойчивого развития // ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 30.01.2025).

167. Цель 7: Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех // ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/> (дата обращения: 30.01.2025).

168. Цель 13: Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями// ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change/> (дата обращения: 30.01.2025).

169. United Nations (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <http://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения: 05.07.2025).

170. Renewables 2023. Analysis and forecasts to 2028 URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (дата обращения: 30.01.2025).

171. Clean Energy Market Monitor. March 2024. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023/emissions-grew-in-2023-but-clean-energy-is-limiting-the-growth> (дата обращения: 30.01.2025).

172. Emissions grew in 2023, but clean energy is limiting the growth // IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023/emissions-grew-in-2023-but-clean-energy-is-limiting-the-growth> (дата обращения: 30.01.2025).

173. Energy Efficiency 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>. (дата обращения: 20.06.2025).

174. United Nations Conference on the Human Environment (Конференция Организации Объединённых Наций по окружающей среде человека). Швеция. 1972. URL: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972> (дата обращения: 12.02.2025).

175. United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. United Nations. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. (дата обращения: 12.02.2025).

176. Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development. United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. United Nations (1992). URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf> (дата обращения: 12.02.2025).

177. REN21. Renewables Global Status Report 2023. – REN21 Secretariat, 2023. – URL: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report>. (дата обращения: 12.02.2025).

178. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. IRENA. URL: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Macroeconomic-benefits/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf. (дата обращения: 20.06.2025)

179. Emissions Gap Report 2019. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2019. UNEP. URL: <https://www.unep.org> (дата обращения: 14.02.2025).

180. World Bank. World Development Report 2020: Trading for Development in the Age of Global Value Chains. Washington, DC, 2020. URL: <https://www.worldbank.org>. (дата обращения: 14.02.2025).

181. Measuring the Socio-Economics of Transition: Focus on Jobs. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020. IRENA. URL: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Technical-papers/IRENA_Measuring_Socio-economic_Jobs_2020.pdf (дата обращения: 03.08.2025).

182. World Health Organization (WHO). Air pollution and child health: Prescribing clean air. 2018. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health> (дата обращения: 12.10.2025).

183. Clean Energy Transition Indicators. IEA – International Energy Agency. 2021. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/clean-energy-transition-indicators> (дата обращения: 27.03.2024).

184. Report «REthinking Energy: Renewable Energy and Climate Change» (2015). IRENA - International Renewable energy agency. URL: <https://www.irena.org/Publications/2015/Nov/REthinking-Energy-Renewable-Energy-and-Climate-Change> (дата обращения 25.05.2025)

185. Air quality in Europe. European Environment Agency (EEA). — 2021 report. 2021. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2021> (дата обращения: 02.06.2025).

186. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. IEA – International Energy Agency. 2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf> (дата обращения: 30.08.2025 г.)

187. Mineral Resource Governance in the 21st Century: Gearing Extractive Industries Towards Sustainable Development. UNEP – United Nations Environment

Programme. 2020. URL:
[https://www.greenpolicyplatform.org/sites/default/files/downloads/resource/irp-mineral_resource_governance-full_report-feb2020_compressed_compressed%20\(1\).pdf](https://www.greenpolicyplatform.org/sites/default/files/downloads/resource/irp-mineral_resource_governance-full_report-feb2020_compressed_compressed%20(1).pdf) (дата обращения: 30.08.2025 г.)

188. Прогнозы и аналитика о состоянии и перспективах мирового энергоснабжения, в том числе для обеспечения доступа к энергии в развивающихся странах. Международное энергетического агентство, 2021. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_Summary_2021_RU.pdf (дата обращения: 12.10.2025).

189. World Energy Outlook. 2022. IEA – International Energy Agency. URL:<https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf> (дата обращения: 12.10.2024)

190. World Energy Outlook. 2023. IEA – International Energy Agency. URL:<https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf> (дата обращения: 12.10.2024)

191. World Energy Outlook. 2024. IEA – International Energy Agency. URL:<https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf> (дата обращения: 07.05.2025)

192. World Energy Outlook. 2025. IEA – International Energy Agency. URL:<https://iea.blob.core.windows.net/assets/dfe5daf4-dbc1-4533-abeb-fafb1faee0f9/WorldEnergyOutlook2025.pdf> (дата обращения: 17.12.2025)

193. Scaling Up to Phase Down: Renewable Energy Transition in Emerging Markets. 2023. World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/04/20/scaling-up-to-phase-down-financing-energy-transition-in-developing-countries> (дата обращения: 05.01.2025)

194. Projected Costs of Generating Electricity 2020. IEA – International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020> (дата обращения: 17.09.2024)

195. Fostering Effective Energy Transition Report 2025. World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2025/> (дата обращения: 04.11.2025)

196. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html>. (дата обращения: 16.08.2024).

197. European Commission — ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment. Institute for Environment and Sustainability. 2010.

198. IMF – Carbon Taxation for Climate Mitigation (2019) URL:<https://www.imf.org/en/Topics/climate-change/climate-mitigation>. (дата обращения: 07.05.2025).

199. World Bank Group – State and Trends of Carbon Pricing (2024) URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/05/21/global-carbon-pricing-revenues-top-a-record-100-billion>. (дата обращения: 17.11.2025).

200. World Bank Group — State and Trends of Carbon Pricing (2023) URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/05/23/record-high-revenues-from-global-carbon-pricing-near-100-billion>. (дата обращения: 17.11.2025).

201. World Bank Group — State and Trends of Carbon Pricing (2022) URL: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a1abead2-de91-5992-bb7a-73d8aaaf767f>. (дата обращения: 17.11.2025).

202. Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050" (IRENA, 2020). URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>. (дата обращения: 02.07.2024).

203. Eliminating CO2 Emissions from Industry and Transport in Line with 1.5°C Climate Goal (IRENA, 2020). URL: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2020/Sep/Eliminating-CO2-Emissions-from-Industry>. (дата обращения: 02.07.2024).

204. Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2016. URL:

<https://www.irena.org/Publications/2016/Jan/Renewable-Energy-Benefits-Measuring-the-Economics> (дата обращения: 12.10.2025).

205. Renewable Power Generation Costs in 2021 (IRENA, 2022) . URL: <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/irena-power-generation-costs-2021-pags1-7.pdf>. (дата обращения: 12.10.2025).

206. International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001: Environmental management systems — Requirements with guidance for use. ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/60857.html> (дата обращения: 10.03.2025)

207. Доклад агентства IRENA. Прогноз преобразования мировой энергетической системы. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_WETO_2023_Summary_RU.pdf (дата обращения: 12.10.2025).

208. Реестр итогов конкурентного отбора мощности новых генерирующих объектов, подлежащих строительству в юго-восточной части ОЭС Сибири. URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/markets/kom_results/kom_ngo_reestr_sib_29082024.pdf. (дата обращения: 25.07.2025)

209. Результаты отборов проектов (приложение № 27 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка). АТС – Администратор Торговой Системы. URL: <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults>. (дата обращения: 11.10.2025).