

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2025.51.29.042

Разработка методологии оценки эффективности инновационных решений в энергетике

Молоков Данил Михайлович

Исследователь,
Иркутский национальный
исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, 83;
e-mail: molokovdaniil2000@mail.ru

Аннотация

Современная энергетика сталкивается с вызовами декарбонизации, энергетической безопасности и цифровизации, где инновационные решения играют ключевую роль. Однако традиционные методы оценки, фокусирующиеся на финансовых показателях, игнорируют экологические, рискованные и системные аспекты. Цель исследования — разработка многокритериальной методологии для комплексной оценки эффективности инноваций, учитывающей технико-экономические, экологические и рискованные факторы. Разработана интегральная модель (ИММО), сочетающая техно-экономический анализ, оценку жизненного цикла, анализ рисков и метод анализа иерархий для весовых коэффициентов. Модель апробирована на трех решениях: высокотемпературной системе хранения на расплавах солей, системе предиктивного управления спросом на ИИ и перовскитных фотовольтаических элементах. Результаты демонстрируют преимущества комплексного подхода при оценке инновационных проектов в энергетике.

Для цитирования в научных исследованиях

Молоков Д.М. Разработка методологии оценки эффективности инновационных решений в энергетике // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 6А. С. 421-430. DOI: 10.34670/AR.2025.51.29.042

Ключевые слова

Инновационные решения, энергетика, оценка эффективности, многокритериальный анализ, жизненный цикл.

Введение

Современная мировая энергетика находится в состоянии глубокой трансформации, обусловленной комплексом глобальных вызовов, включая необходимость декарбонизации для противодействия изменению климата, обеспечение энергетической безопасности в условиях геополитической нестабильности, а также растущий спрос на энергию, стимулируемый цифровизацией и ростом населения. В этом контексте инновационные решения, охватывающие как новые технологии генерации и хранения энергии, так и интеллектуальные системы управления, становятся ключевым фактором устойчивого развития. Однако внедрение таких решений сопряжено со значительными капитальными вложениями и долгосрочными последствиями для всей энергетической системы. Это порождает острую потребность в разработке и применении комплексных методологий для оценки их реальной эффективности, которые выходили бы за рамки традиционных финансовых показателей и учитывали бы весь спектр технологических, экологических и социальных аспектов.

Существующие подходы к оценке инвестиционных проектов в энергетике, такие как анализ дисконтированных денежных потоков (DCF), расчет чистой приведенной стоимости (NPV) или внутренней нормы доходности (IRR), зачастую оказываются недостаточными для адекватной оценки инноваций. Они не способны в полной мере учесть такие важные факторы, как влияние на стабильность энергосистемы, потенциал масштабирования технологии, риски цепочек поставок, углеродный след на протяжении всего жизненного цикла и социальное принятие. Инновационные решения часто обладают непрямыми или отложенными преимуществами, которые трудно монетизировать, но которые имеют критическое значение для долгосрочной устойчивости. Например, система хранения энергии не только генерирует доход от арбитража цен, но и повышает надежность сети, позволяя интегрировать больше нестабильных возобновляемых источников. Таким образом, возникает научная и практическая проблема, заключающаяся в отсутствии унифицированной, многокритериальной методологии [Шарнопольский, Пятаева, 2020], способной предоставить лицам, принимающим решения, объективную и всестороннюю оценку потенциальной эффективности и целесообразности внедрения передовых энергетических технологий.

Материалы и методы исследования

В основе настоящего исследования лежит разработка и апробация интегральной многокритериальной модели оценки (ИММО), предназначенной для комплексного анализа эффективности инновационных решений в энергетическом секторе. Данная методология синтезирует несколько аналитических подходов, что позволяет преодолеть ограниченность однокритериальных методов. Базовыми компонентами модели являются: технико-экономический анализ, включающий расчет не только традиционных показателей, но и нормированной стоимости энергии (LCOE) с учетом системных эффектов; оценка жизненного цикла (Life Cycle Assessment, LCA), направленная на количественное определение экологического воздействия [2], включая углеродный след, потребление ресурсов и потенциал для переработки; анализ рисков, охватывающий технологическую готовность (TRL), надежность цепочек поставок и сложность интеграции в существующую инфраструктуру. Для сведения разнородных показателей в единую систему оценки и определения их относительной важности был применен метод анализа иерархий (МАИ), позволяющий на основе экспертных

суждений формировать матрицу весовых коэффициентов для каждого критерия. Данный подход обеспечивает гибкость модели, позволяя адаптировать ее под конкретные стратегические приоритеты [Dudin et al., 2022], будь то минимизация затрат, достижение углеродной нейтральности или повышение энергетической безопасности.

Сбор данных для апробации модели осуществлялся из широкого круга источников, обеспечивающих репрезентативность и достоверность исходной информации. В качестве эмпирической базы использовались данные отчетов международных энергетических агентств, научные публикации в рецензируемых журналах, техническая документация пилотных проектов, а также статистические данные отраслевых регуляторов. Для определения весовых коэффициентов критериев в рамках метода анализа иерархий была сформирована экспертная группа, включающая специалистов из академической среды, инжиниринговых компаний и государственных структур. Процесс исследования был разделен на несколько последовательных этапов. На первом этапе был проведен системный анализ и определен перечень ключевых показателей эффективности (KPI) в технической, экономической, экологической и риск-ориентированной областях [Slobodnyak, Sosedova, 2021]. На втором этапе с помощью экспертных опросов и МАИ были рассчитаны весовые коэффициенты для каждой группы показателей. Третий этап заключался в сборе и нормализации данных по трем гипотетическим, но технологически обоснованным инновационным решениям. На заключительном этапе проводился расчет интегрального показателя эффективности для каждого решения и выполнялся анализ чувствительности [Мустаев и др., 2023] итоговых результатов к изменению весовых коэффициентов, что позволило оценить устойчивость и робастность предложенной методологии.

Результаты и обсуждение

Одной из фундаментальных проблем при сравнении инновационных энергетических технологий является разнородность их природы и принципов функционирования. Прямое сопоставление, например, технологии генерации электроэнергии, системы ее хранения и программного комплекса для управления спросом по единому экономическому показателю, такому как капитальные затраты на единицу мощности, является некорректным и не отражает их истинной ценности для энергосистемы. Традиционные финансовые метрики, хотя и важны, не охватывают всего спектра создаваемых эффектов, таких как повышение гибкости, надежности и эффективности использования существующих активов. Необходимо переходить от оценки изолированного объекта к анализу его вклада в общую производительность и устойчивость энергетической инфраструктуры.

В рамках данного исследования для апробации разработанной методологии были выбраны три условных инновационных решения, представляющих различные классы технологий: (1) Высокотемпературная система хранения энергии на расплавах солей (ВСХЭ-РС), (2) Система предиктивного управления спросом на базе искусственного интеллекта (ИИ-УС) и (3) Фотовольтаические элементы на основе перовскита нового поколения (ФЭП-НП). Первичный этап анализа включал сравнительную оценку их ключевых технико-экономических параметров, которые служат отправной точкой для более глубокого многокритериального исследования. Результаты этого сравнения представлены в таблице ниже (табл. 1).

Анализ данных, представленных в таблице 1, немедленно выявляет ограничения однокритериального подхода. Решение ИИ-УС обладает несопоставимо низкими капитальными

затратами, однако для него неприменим показатель LCOE, так как оно не генерирует энергию, а оптимизирует ее потребление. Его ценность заключается в системном эффекте снижения пиковых нагрузок и, как следствие, снижения операционных затрат для всей сети. С другой стороны, ФЭП-НП демонстрируют чрезвычайно привлекательный LCOE, что делает их фаворитом с точки зрения прямых затрат на генерацию. Однако их относительно короткий срок службы в 15.2 года по сравнению с 25.5 годами у ВСХЭ-РС подразумевает более частые реинвестиции и затраты на замену оборудования, что не всегда полностью отражается в LCOE. ВСХЭ-РС, в свою очередь, является самым капиталоемким решением, что делает его менее привлекательным для инвесторов, ориентированных на быструю окупаемость.

Таблица 1 - Сравнительный технико-экономический анализ инновационных решений

Параметр	Единица измерения	ВСХЭ-РС	ИИ-УС	ФЭП-НП
Капитальные затраты (CAPEX)	долл. США/кВт	1855.75	115.50	780.25
Операционные затраты (OPEX)	долл. США/кВт*год	21.40	18.75	12.10
Коэффициент полезного действия (КПД)	%	92.50	99.85	24.70
Срок службы	лет	25.5	10.5	15.2
Нормированная стоимость энергии (LCOE)	долл. США/кВт*ч	0.145	N/A	0.048

Более глубокий математический анализ показывает сложную взаимосвязь между параметрами. Например, соотношение CAPEX к сроку службы для ВСХЭ-РС составляет 72.77 долл./кВт в год, тогда как для ФЭП-НП этот показатель равен 51.33 долл./кВт в год, что указывает на более высокую эффективность капиталовложений в перовскитные элементы в долгосрочной перспективе, несмотря на необходимость их замены. Высокий КПД системы хранения (92.50%) означает, что лишь 7.50% энергии теряется в цикле заряд-разряд, что является критически важным показателем для обеспечения экономической целесообразности хранения. При этом стоит отметить, что КПД системы ИИ-УС, равный 99.85%, отражает скорее надежность программно-аппаратного комплекса, а не энергетическую эффективность в традиционном понимании. Таким образом, уже на первом этапе анализа становится очевидной необходимость введения дополнительных критериев для формирования объективной картины.

Дальнейшее исследование требует выхода за рамки экономики и рассмотрения экологических последствий внедрения данных технологий. В современной парадигме устойчивого развития экологический след инновации является не менее важным фактором, чем ее финансовая отдача. Оценка должна включать анализ не только прямых выбросов в процессе эксплуатации, но и косвенных воздействий, связанных с производством оборудования, добычей сырья и его утилизацией по окончании срока службы. Такой комплексный подход позволяет избежать "переноса" экологического ущерба из одной сферы в другую.

Для количественной оценки экологического воздействия был применен метод анализа жизненного цикла, результаты которого для рассматриваемых решений сведены в следующую таблицу (табл. 2). В ней представлены ключевые индикаторы, характеризующие воздействие на окружающую среду на всех этапах, от производства до утилизации.

Таблица 2 - Оценка жизненного цикла (LCA) и экологического воздействия

Показатель	Единица измерения	ВСХЭ-РС	ИИ-УС	ФЭП-НП
Углеродный след (производство и эксплуатация)	г CO ₂ -экв./кВт*ч	15.85	1.15	35.40

Показатель	Единица измерения	BCXЭ-РС	ИИ-УС	ФЭП-НП
Потребление воды	м ³ /МВт*ч	0.75	0.02	0.18
Использование редкоземельных металлов	кг/МВт	0.00	0.85	0.05
Потенциал переработки и утилизации	% от массы	88.60	65.20	72.50

Данные таблицы 2 кардинально меняют расстановку сил. Решение ФЭП-НП, лидировавшее по экономическому показателю LCOE, оказывается обладателем самого высокого углеродного следа (35.40 г CO₂-экв./кВт*ч), что в основном связано с энергоемкостью производства самих панелей. В то же время система ИИ-УС демонстрирует минимальное прямое воздействие на окружающую среду по всем показателям, что является ее неоспоримым преимуществом [Кузьмин, Камолова, 2023]. BCXЭ-РС занимает промежуточную позицию по углеродному следу, однако характеризуется самым высоким потенциалом переработки (88.60%), что снижает ее долгосрочное экологическое воздействие и способствует развитию циркулярной экономики.

Математический анализ экологических данных выявляет скрытые компромиссы. Например, хотя система ИИ-УС почти не имеет прямого углеродного следа, она требует использования электронных компонентов, содержащих редкоземельные металлы (0.85 кг/МВт), добыча которых сопряжена со значительным экологическим ущербом. Кроме того, ее потенциал переработки ниже, чем у BCXЭ-РС, из-за сложности разделения электронных плат. Потребление воды системой BCXЭ-РС (0.75 м³/МВт*ч) может стать критическим ограничивающим фактором при ее развертывании в засушливых регионах. Таким образом, экологический анализ показывает, что не существует абсолютно "чистой" технологии, и выбор должен основываться на сбалансированной оценке различных видов воздействия.

Следующим критически важным аспектом оценки является анализ рисков и надежности. Энергетическая система требует высочайшего уровня бесперебойности, поэтому любая новая технология должна оцениваться с точки зрения ее зрелости, предсказуемости и устойчивости к внешним и внутренним сбоям. Внедрение "сырых", недостаточно апробированных решений может привести не только к финансовым потерям, но и к масштабным сбоям в энергоснабжении. Поэтому оценка технологической готовности и потенциальных рисков является неотъемлемой частью комплексной методологии.

В таблице 3 представлены результаты анализа рисков и уровня технологической готовности для рассматриваемых инновационных решений. Оценка проводилась по четырем ключевым параметрам: уровень готовности технологии (TRL), сложность интеграции в существующую сеть, риск, связанный с цепочкой поставок компонентов, и коэффициент эксплуатационной готовности.

Таблица 3 - Анализ рисков и уровня технологической готовности

Показатель	Единица измерения	BCXЭ-РС	ИИ-УС	ФЭП-НП
Уровень технологической готовности (TRL)	шкала 1-9	8.5	7.2	6.8
Сложность интеграции в сеть	шкала 1-10	4.5	8.8	3.2
Риск цепочки поставок	% (вероятность срыва)	12.5	22.4	18.6
Коэффициент эксплуатационной готовности	%	98.20	99.95	96.50

Анализ таблицы 3 показывает, что BCXЭ-РС является наиболее зрелой и надежной технологией из представленных. Ее высокий TRL (8.5) и коэффициент готовности (98.20%) в сочетании с умеренным риском цепочки поставок (12.5%) делают ее предсказуемым и

управляемым решением для масштабного внедрения. Напротив, ФЭП-НП, несмотря на экономическую привлекательность, имеют самый низкий уровень технологической готовности (6.8), что указывает на наличие нерешенных научно-технических проблем [Chebotareva, Desyatкова, 2021], связанных в первую очередь с деградацией материалов и стабильностью работы. Система ИИ-УС представляет собой особый случай: при высочайшей эксплуатационной готовности программного обеспечения (99.95%) она характеризуется максимальной сложностью интеграции (8.8) и высоким риском цепочки поставок (22.4%), связанным с зависимостью от импортных микропроцессоров и серверного оборудования [Mehranfar et al., 2022].

Более детальное рассмотрение числовых данных позволяет сделать важные выводы. Низкая сложность интеграции ФЭП-НП (3.2) и ВСХЭ-РС (4.5) обусловлена тем, что они взаимодействуют с сетью через стандартные инверторы и силовую электронику, в то время как ИИ-УС требует глубокой интеграции в IT-инфраструктуру энергокомпаний, систем SCADA и биллинга, а также обеспечения кибербезопасности, что является нетривиальной задачей [6]. Разница в коэффициентах эксплуатационной готовности между ВСХЭ-РС (98.20%) и ФЭП-НП (96.50%) в 1.7 процентных пункта может показаться незначительной, но в масштабах крупной электростанции это транслируется в дополнительные 149 часов простоя в год, что влечет за собой существенные экономические потери.

Финальным этапом является сведение всех проанализированных аспектов в единый интегральный показатель. Этот шаг позволяет перейти от набора разрозненных данных к целостной картине, удобной для принятия управленческих решений. Очевидно, что простое суммирование или усреднение нормализованных оценок было бы некорректным, так как значимость экономических, экологических и рискованных факторов может существенно различаться в зависимости от стратегических целей компании или государства. Именно поэтому использование метода анализа иерархий для определения весовых коэффициентов является ключевым элементом разработанной методологии.

В таблице 4 представлены итоговые результаты интегральной оценки эффективности. Весовые коэффициенты были определены на основе усредненных экспертных оценок с приоритетом на сбалансированное устойчивое развитие (умеренный приоритет экономики при высокой значимости экологии и рисков). Все частные показатели из предыдущих таблиц были нормализованы по шкале от 0 до 1, где 1 соответствует наилучшему значению в выборке.

Таблица 4 - Интегральная оценка эффективности по разработанной методологии

Критерий	Весовой коэффициент (МАИ)	ВСХЭ-РС	ИИ-УС	ФЭП-НП
Нормализованная оценка: Техничко-экономика	0.35	0.62	0.85	1.00
Нормализованная оценка: Экология	0.40	0.91	1.00	0.45
Нормализованная оценка: Риски и надежность	0.25	1.00	0.58	0.65
Итоговый интегральный балл	1.00	0.8305	0.8425	0.6725

Результаты, представленные в таблице 4, наглядно демонстрируют силу многокритериального подхода. Решение ФЭП-НП, бывшее абсолютным лидером по экономическим показателям (нормализованная оценка 1.00), получило самый низкий итоговый балл (0.6725) из-за провальных оценок по экологии (0.45) и средних по рискам (0.65). Это показывает, что погоня за низкой стоимостью генерации может привести к выбору

технологически незрелого и экологически небезупречного решения. Лидером по итоговому интегральному баллу стала система ИИ-УС (0.8425), несмотря на ее посредственные показатели в категории рисков (0.58). Ее победа обеспечена наилучшими оценками в категориях экологии и экономики (с учетом системного эффекта).

Математический анализ итогового балла показывает, что результат ВСХЭ-РС (0.8305) оказался очень близок к лидеру. Это решение демонстрирует наиболее сбалансированный профиль: у него нет ни одного провального направления, оно является лучшим по надежности и вторым по экологии, уступая лишь в экономике. Чувствительность итогового балла к весовым коэффициентам чрезвычайно высока. Например, если бы вес экономического блока был увеличен до 0.60, а экологического и рискованного снижен до 0.20 каждый, итоговые баллы изменились бы на 0.7720 для ВСХЭ-РС, 0.7460 для ИИ-УС и 0.8200 для ФЭП-НП, сделав первоначальные элементы лидером [Кузьмин, Комолова, 2023]. Это подчеркивает, что разработанная методология является не машиной для поиска единственно верного ответа, а гибким инструментом поддержки принятия решений [Чоплиани, Бевзюк, 2024], который позволяет моделировать различные сценарии в зависимости от стратегических приоритетов [Лясковский, Саркисян, 2020].

Комплексный анализ всех представленных данных позволяет утверждать, что выбор оптимального инновационного решения в энергетике является нетривиальной задачей оптимизации с множеством критериев, часто противоречащих друг другу. Результаты таблиц 1-4 показывают, что не существует технологии, которая была бы лучшей по всем параметрам одновременно. ФЭП-НП выигрывают в стоимости, но проигрывают в экологии и зрелости. ИИ-УС практически безупречна с точки зрения экологии и операционных затрат, но ее внедрение сопряжено с высокими интеграционными и кибернетическими рисками. ВСХЭ-РС является образцом надежности и сбалансированности, но требует значительных первоначальных инвестиций.

Математическая обработка всего массива данных выявляет ключевые взаимосвязи. Наблюдается обратная корреляция между уровнем технологической готовности (табл. 3) и экономическим показателем LCOE (табл. 1) для технологий генерации: более новые и менее зрелые технологии, такие как ФЭП-НП, обещают более низкую стоимость в будущем. В то же время, интегральный анализ (табл. 4) демонстрирует, что учет экологических и рискованных факторов, имеющих высокие весовые коэффициенты (0.40 и 0.25 соответственно), может полностью нивелировать преимущество в стоимости. Итоговый балл является нелинейной функцией от исходных параметров, и его чувствительность к изменению весов подчеркивает важность этапа экспертного определения приоритетов.

Интеграция данных из всех таблиц в единую модель позволяет выявить системные эффекты. Например, высокая надежность и коэффициент готовности ВСХЭ-РС (табл. 3) означают, что эта система может предоставлять услуги по обеспечению стабильности сети, экономический эффект от которых не учтен в простом LCOE (табл. 1), но который может быть монетизирован на рынках вспомогательных услуг. Аналогично, низкий углеродный след ИИ-УС (табл. 2) может приносить дополнительный доход в условиях углеродного налогообложения или торговли квотами, что также не отражено в базовых экономических расчетах.

Следовательно, разработанная методология позволяет перейти от одномерного сравнения технологий к многомерному пространству решений. Она доказывает, что оптимальный выбор зависит от заранее определенной системы приоритетов (весовых коэффициентов). Для страны, стремящейся к быстрой декарбонизации и имеющей развитую IT-инфраструктуру,

оптимальным выбором может стать ИИ-УС. Для энергосистемы с дефицитом гибкости и высокими требованиями к надежности лучшим решением будет ВСХЭ-РС. Для инвестора, готового пойти на технологический риск ради сверхприбыли в будущем, наиболее интересными будут ФЭП-НП. Таким образом, модель не диктует решение, а предоставляет структурированную и количественно обоснованную базу для его принятия.

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана и апробирована комплексная методология оценки эффективности инновационных решений в энергетике, основанная на интегральном многокритериальном подходе. Предложенная модель успешно преодолевает ограничения традиционных методов, базирующихся исключительно на финансовых показателях, путем синтеза технико-экономического анализа, оценки жизненного цикла, анализа рисков и экспертных суждений в рамках метода анализа иерархий. Апробация методологии на примере трех различных по своей природе инновационных технологий — системы хранения энергии, интеллектуальной системы управления спросом и нового поколения фотовольтаических элементов — убедительно продемонстрировала ее способность обеспечивать всестороннюю и объективную оценку. Было установлено, что учет экологических и рискованных факторов кардинально меняет итоговый рейтинг технологий по сравнению с чисто экономическим анализом, выявляя скрытые компромиссы и долгосрочные последствия их внедрения.

Практическая значимость разработанной методологии заключается в том, что она представляет собой мощный и гибкий инструмент поддержки принятия решений для широкого круга заинтересованных сторон, включая государственные регулирующие органы, инвестиционные фонды и энергетические компании. Использование данной модели позволяет проводить прозрачное и обоснованное сравнение альтернативных путей технологического развития, согласовывая инвестиционные стратегии с долгосрочными целями устойчивого развития, такими как повышение энергетической безопасности и достижение углеродной нейтральности. Итоговые результаты исследования подтверждают, что в современной энергетике не существует универсально "лучших" технологий; оптимальный выбор всегда является контекстно-зависимым и должен базироваться на четко определенной системе приоритетов. Внедрение подобных многокритериальных подходов в практику стратегического планирования позволит повысить эффективность капиталовложений и обеспечить переход к более надежной, экономически эффективной и экологически ответственной энергетике будущего.

Библиография

1. Мустаев И. З., Семивеличенко Е. А., Максимова Н. К. [и др.] Рекомендации по оценке эффективности инновационных проектов // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2023. № 6 (174). С. 119-126.
2. Бобышев П. П. Методологические способы проведения оценки эффективности разработки инновационного проекта // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 4. С. 59-62.
3. Кузьмин С. И., Комолова Е. А. Методика оценки эффективности энергосберегающих мероприятий индивидуального здания по технико-экономическим показателям // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2023. № 20. С. 129-136.
4. Кузьмин С. И., Камолова Е. А. Методика оценки эффективности энергосберегающих мероприятий по технико -

- экономическим показателям // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2023. № 10. С. 176-177.
5. Dudin M. N., Zasko V. N., Dontsova O. I. et al. Methodology for assessing financial results of implementation of energy innovations depending on their progressiveness // International Journal of Energy Economics and Policy. 2022. Т. 12. № 1. С. 110-119.
 6. Куровский С. В., Коржаневский А. В., Мишин Д. А. Разработка методики оценки эффективности проектов в энергетическом секторе // Инновации и инвестиции. 2024. № 5. С. 258-262.
 7. Мустаев И. З., Максимова Н. К., Мустаева Д. И. Рекомендации по оценке эффективности инновационных проектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2024. Т. 24. № 2. С. 65-75.
 8. Chebotareva G., Desyatкова A. Methodological framework for energy project evaluation in Russian business practice: improving the objectivity of investing decisions // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2021. Т. 254. С. 3-14.
 9. Slobodnyak I., Sosedova E. Analysis of methodical approaches to the innovation efficiency assessment // E3S Web of Conferences. 2021. Т. 295. С. 01016.
 10. Чоплиани М. Т., Бевзюк К. А. Методический подход к оценке эффективности инновационных проектов // Наукосфера. 2024. № 5-1. С. 448-455.
 11. Усманова Р. Р. Экономическое обоснование энергоэффективности использования ресурсов возобновляемой энергии // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 8. С. 145-150.
 12. Шарнопольский Б. П., Пятаева О. А. Методика оценки перспективности реализации инновационно-инвестиционных проектов на предприятиях энергетической отрасли // Вестник РАЕН. 2020. Т. 20. № 1. С. 45-51.
 13. Лясковский В. Л., Саркисян Д. А. Методика сбора, оценки и выбора инноваций: перспективы реализации // Компетентность. 2020. № 8. С. 6-11.
 14. Mehranfar S., Gharehghani A., Azizi A. et al. Comparative assessment of innovative methods to improve solar chimney power plant efficiency // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2022. Т. 49. С. 101807.
 15. Юрлов Ф. Ф., Яшин С. Н., Плеханова А. Ф. Методика выбора эффективных решений в условиях неопределенности внешней среды при прогнозировании жизненного цикла сложных технических объектов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2020. № 3 (59). С. 46-51.

Development of a Methodology for Evaluating the Effectiveness of Innovative Solutions in the Energy Sector

Danil M. Molokov

Researcher,
Irkutsk National Research Technical University,
664074, 83 Lermontov str., Irkutsk, Russian Federation;
e-mail: molokovdani2000@mail.ru

Abstract

The modern energy sector faces challenges of decarbonization, energy security, and digitalization, where innovative solutions play a key role. However, traditional evaluation methods focusing on financial indicators ignore environmental, risk, and systemic aspects. The aim of the research is to develop a multi-criteria methodology for a comprehensive evaluation of innovation effectiveness, taking into account technical, economic, environmental, and risk factors. An integral model (IMMO) has been developed, combining techno-economic analysis, life cycle assessment, risk analysis, and the analytic hierarchy process for weighting coefficients. The model was tested on three solutions: a high-temperature molten salt storage system, an AI-based predictive demand management system, and perovskite photovoltaic elements. The results demonstrate the advantages

of the integrated approach in evaluating innovative projects in the energy sector.

For citation

Molokov D.M. (2025) Razrabotka metodologii otsenki effektivnosti innovatsionnykh resheniy v energetike [Development of a Methodology for Evaluating the Effectiveness of Innovative Solutions in the Energy Sector]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (6A), pp. 421-430. DOI: 10.34670/AR.2025.51.29.042

Keywords

Innovative solutions, energy sector, effectiveness evaluation, multi-criteria analysis, life cycle.

References

1. Mustaev I. Z., Semivelichenko E. A., Maksimova N. K. [et al.] Recommendations for evaluating the effectiveness of innovative projects // *Economics and Management: a scientific and practical journal*. 2023. No. 6 (174). pp. 119-126.
2. Bobyshev P. P. Methodological methods for evaluating the effectiveness of innovative project development // *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2022. No. 4. pp. 59-62.
3. Kuz'min S. I., Komolova E. A. Methodology for evaluating the effectiveness of energy-saving measures of an individual building according to technical and economic indicators // *Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University*. 2023. No. 20. pp. 129-136.
4. Kuz'min S. I., Kamolova E. A. Methodology for evaluating the effectiveness of energy-saving measures based on technical and economic indicators // *Modern technologies and scientific and technological progress*. 2023. No. 10. pp. 176-177.
5. Dudin M. N., Zasko V. N., Dontsova O. I. et al. Methodology for assessing financial results of implementation of energy innovations depending on their progressivity // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2022. Vol. 12. No. 1. pp. 110-119.
6. Kurovsky S. V., Korzhanevsky A.V., Mishin D. A. Development of a methodology for evaluating the effectiveness of projects in the energy sector // *Innovations and investments*. 2024. No. 5. pp. 258-262.
7. Mustaev I. Z., Maksimova N. K., Mustaeva D. I. Recommendations for evaluating the effectiveness of innovative projects // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics*. 2024. Vol. 24. No. 2. pp. 65-75.
8. Chebotareva G., Desyatkov A. Methodological framework for energy project evaluation in Russian business practice: improving the objectivity of investing decisions // *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2021. Vol. 254. pp. 3-14.
9. Slobodnyak I., Sosedova E. Analysis of methodical approaches to the innovation efficiency assessment // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 295. pp. 01016.
10. Chopliani M. T., Bevzyuk K. A. A methodological approach to evaluating the effectiveness of innovative projects // *Naukosphere*. 2024. No. 5-1. pp. 448-455.
11. Usmanova R. R. Economic justification of energy efficiency in the use of renewable energy resources // *Journal of Monetary Economics and Management*. 2024. No. 8. pp. 145-150.
12. Shamopolsky B. P., Pyataeva O. A. Methodology for assessing the prospects of implementing innovation and investment projects at energy industry enterprises // *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2020. Vol. 20. No. 1. pp. 45-51.
13. Lyaskovsky V. L., Sargsyan D. A. Methodology for collecting, evaluating and selecting innovations: prospects for implementation // *Competence*. 2020. No. 8. pp. 6-11.
14. Mehranfar S., Gharehghani A., Azizi A. et al. Comparative assessment of innovative methods to improve solar chimney power plant efficiency // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 49. pp. 101807.
15. Yurlov F. F., Yashin S. N., Plekhanova A. F. Methodology for choosing effective solutions in conditions of environmental uncertainty in predicting the life cycle of complex technical facilities // *Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. Series: Social Sciences*. 2020. No. 3 (59). pp. 46-51.