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

На правах рукописи

Свадковский Владислав Андреевич

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЦЕЛЯХ ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика: экономика промышленности

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель — Трачук Аркадий Владимирович,
доктор экономических наук, профессор

Москва – 2026

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

Публичное рассмотрение и защита диссертации состоятся 19 января 2027 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Финансового университета Д 505.001.102 по адресу: 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 51, корпус 1, аудитория 1001.

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

Персональный состав диссертационного совета:

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

члены диссертационного совета:
Гончаренко Л.П., д.э.н., профессор;
Гумерова Г.И., д.э.н., профессор;
Кожевников М.В., д.э.н., доцент;
Кравченко С.И., д.э.н., профессор;
Кузнецов Н.В., д.э.н., доцент;
Лосева О.В., д.э.н., профессор;
Матковская Я.С., д.э.н., доцент;
Паштова Л.Г., д.э.н., профессор;
Погодина Т.В., д.э.н., профессор;
Ряховская А.Н., д.э.н., профессор;
Смирнов В.М., д.э.н., доцент;
Солнцев И.В., д.э.н., доцент;
Шаркова А.В., д.э.н., профессор;
Юданов А.Ю., д.э.н., профессор.

Автореферат диссертации разослан 10 ноября 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Финансового университета Д 505.001.102 Т.А. Гилева

I Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Низкоуглеродная трансформация мировой экономики изменяет условия функционирования ресурсоемких отраслей, прежде всего угледобывающей и металлургической промышленности. Ужесточение требований к углеродной отчетности, рост внимания инвесторов к устойчивости производственных цепочек и необходимость обновления капиталоемких активов делают традиционную связку «добыча коксующегося угля – коксование – доменный процесс» менее устойчивой в долгосрочной перспективе. По оценке Международного энергетического агентства, на черную металлургию приходится около 8% мирового конечного энергопотребления и 7% выбросов CO_2 мировой энергетической системы. Углеродоемкость доменно-конвертерного маршрута составляет около 2,2 т CO_2 на 1 т сырой стали с учетом прямых и косвенных выбросов, а сырье и энергия в совокупности формируют 60-80% себестоимости производства стали. При этом для российской промышленности задача трансформации не может сводиться к одномоментному отказу от угольной ресурсной базы, поскольку предприятия этих отраслей часто выполняют системообразующую функцию для территорий присутствия.

В этих условиях особое значение приобретает поиск траекторий, позволяющих не разрушать сложившиеся производственные и социальные связи, а переводить их в новую технологико-экономическую конфигурацию. Одним из таких направлений является глубокая переработка бурых углей методом газификации. Бурые угли обладают значительной ресурсной базой, но ограниченно применимы в классическом коксовании, поэтому их вовлечение в производство термококса или водорода может стать основой для формирования новых производственных цепочек между угледобывающими и металлургическими предприятиями.

Научная проблема состоит в том, что в существующих исследованиях технологические альтернативы, инвестиционная оценка и организационно-экономический механизм взаимодействия участников чаще анализируются раздельно. Водородные сценарии рассматриваются преимущественно как долгосрочная траектория декарбонизации металлургии, тогда как технологии переработки бурых углей описываются в основном через инженерные параметры. В литературе недостаточно раскрыт и вопрос о том, при каких технологических, логистических и инвестиционных условиях глубокая переработка бурых углей может стать экономически жизнеспособной формой межфирменного взаимодействия.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью разработки модели, связывающей выбор технологического сценария, операционную сопоставимость

продуктов переработки, инвестиционную состоятельность проекта и распределение экономического эффекта между участниками производственной цепочки. Такая постановка позволяет рассматривать трансформацию угольно-металлургического взаимодействия не как замену одного сырьевого продукта другим, а как изменение производственно-экономической логики связи между сырьевой базой, переработкой, металлургическим потреблением и целями устойчивого развития.

Количественный масштаб проблемы подтверждается тем, что в 2024 г. мировой выпуск стали составил 1884,6 млн т, а сталелитейный сектор формирует около 7% энергетических выбросов CO_2; уголь обеспечивает около 75% спроса отрасли на энергию. Эти отраслевые показатели характеризуют глобальный масштаб проблемы и не смешиваются с упрощенной проектной границей углеродного расчета.

Степень разработанности темы исследования. Проблематика трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий находится на пересечении экономики промышленности, энергетических и сырьевых рынков, технологий глубокой переработки угля, инвестиционного анализа капиталоемких проектов и исследований устойчивого развития. Отдельные технологические, экономические и организационные аспекты данной проблематики получили существенное развитие в научной литературе. Угольно-металлургическое взаимодействие преимущественно исследуется фрагментарно – с позиции отдельных предприятий, технологий или стадий производственной цепочки.

Технологические основы глубокой переработки угля представлены в работах Ю.А. Плакиткина, С.Р. Исламова, И.В. Петрова, С.Г. Степанова, А.Е. Череповицына, Д.А. Логинова и других авторов. В этих исследованиях рассмотрены свойства угольного сырья, технологические режимы газификации, получение синтез-газа, водорода и углеродсодержащих продуктов, включая термококс, а также возможные направления их промышленного использования, достаточно подробно раскрыты технологическая осуществимость переработки бурых углей и состав потенциально получаемых продуктов. Однако экономические последствия их использования в металлургическом производстве, условия формирования межотраслевой производственной цепочки и распределение создаваемого эффекта между ее участниками исследованы в меньшей степени.

В зарубежной литературе значительное внимание уделяется декарбонизации тяжелой промышленности, снижению углеродоемкости металлургического производства и применению водорода в качестве энергоносителя и восстановителя. Эти вопросы представлены в работах К. Батайля, В. Вогля, Ж. Фана, С. Фридмана, Дж. Риссмана, М. Байлеры и в аналитических материалах Международного энергетического агентства.

В них раскрыты основные технологические направления низкоуглеродной трансформации металлургии и оценены их потенциальные энергетические и экологические последствия. Большинство таких исследований ориентированы на нормативно-целевые сценарии глубокой декарбонизации и в меньшей степени учитывают условия стран и регионов, сохраняющих высокую зависимость от собственной угольной ресурсной базы.

В технологических исследованиях установлено, что возможность применения продуктов переработки угля в металлургии определяется не только их энергетической ценностью и стоимостью, но и восстановительной функцией, реакционной способностью, механической прочностью и поведением материала в составе шихты. Следовательно, термококс и водород не являются полностью взаимозаменяемыми продуктами и требуют самостоятельной инженерно-технологической проверки. В то же время в существующей литературе недостаточно разработан экономический инструмент предварительного сопоставления сценариев их получения и использования, который позволял бы отбирать перспективные варианты до проведения детальной инженерной проработки.

Методологическую основу экономического анализа промышленной трансформации образуют исследования инновационно-инвестиционных процессов и эффективности инновационного развития предприятий А.В. Трачука и Н.В. Линдер. Вопросы технологической модернизации и стратегического управления промышленными предприятиями раскрыты в работах Н.М. Абдикеева, Т.А. Гилевой, Г.И. Гумеровой и других авторов. Смежные организационно-экономические аспекты представлены исследованиями финансового обеспечения развития компаний энергетического сектора Н.В. Кузнецова, государственного стимулирования модернизации производственной базы А.В. Шарковой.

Результаты указанных исследований создают основу для оценки инновационной активности, технологической модернизации, конкурентоспособности и инвестиционной эффективности промышленных предприятий. Однако применительно к глубокой переработке бурых углей недостаточно разработана процедура, связывающая предварительное сравнение технологических сценариев с последующей инвестиционной оценкой. В частности, требует обоснования двухэтапная логика принятия решения, при которой сначала выполняется операционное энерго-стоимостное сопоставление альтернатив, а детальный инвестиционный анализ проводится для сценария, отобранного по результатам данного сопоставления.

Теоретические основания межфирменного взаимодействия, координации производственных цепочек и выбора организационных форм сотрудничества раскрыты в

работах О.И. Уильямсона, Дж. Барни, Д. Тиса, Р. Гулати, Дж. Дайера, Х. Сингха и других авторов. В них исследованы специфичность активов, трансакционные издержки, вертикальная интеграция, отношенческие контракты и распределение рисков. Эти положения применимы для объяснения необходимости координации участников угольно-металлургической цепочки. Но они не получили достаточной отраслевой адаптации к взаимодействию угледобывающего предприятия, комплекса газификации и металлургического предприятия, включая выбор продукта переработки, определение его расчетной цены и распределение экономического эффекта.

Исследования устойчивого развития, справедливого перехода и трансформации угольных регионов представлены работами Н. Хили, Дж. Барри, С. Пая, Дж. Сакса, Ф. Бирманна, Б. Совакула и других авторов. В них рассмотрено влияние структурных изменений на занятость, региональные бюджеты и устойчивость территорий присутствия. Однако региональные последствия трансформации обычно анализируются отдельно от экономики конкретных межотраслевых проектов и не связываются непосредственно с условиями их коммерческой реализуемости.

К достаточно разработанным аспектам угольно-металлургического взаимодействия относятся технологические основы газификации и глубокой переработки бурых углей; способы получения водорода, термококса и других продуктов; технологические направления декарбонизации металлургии; общие методы оценки инвестиционной эффективности промышленных проектов; теоретические положения межфирменной координации; а также социально-экономические последствия трансформации угольных регионов.

Именно применительно к угольно-металлургической производственной цепочке требуют дальнейшего исследования: экономическое сопоставление технологических продуктов различной физической природы по единому измерителю; разграничение предварительной энерго-стоимостной оценки и последующей инженерно-технологической проверки; определение условий сравнительной эффективности частичной и полной газификации; учет неопределенности исходных параметров; последовательность перехода от сопоставления сценариев к инвестиционной оценке выбранного варианта; формирование расчетной цены промежуточного продукта; распределение экономического эффекта между угольным, газификационным и металлургическим контурами.

Научный пробел состоит в том, что в рассмотренном корпусе работ не обнаружен комплексный организационно-экономический подход, адаптированный ко взаимодействию угледобывающих и металлургических предприятий и объединяющий

энерго-стоимостное сопоставление технологических сценариев, проверку границ их применимости, анализ неопределенности, инвестиционную оценку выбранного базового сценария и согласование экономических интересов участников. Для устранения данного пробела в диссертации выполняется операционное сопоставление полной газификации бурых углей с получением водорода и частичной газификации с производством термококса, после чего проводится углубленная инвестиционная оценка выбранного сценария и разрабатывается механизм распределения создаваемого экономического эффекта. Этим определяются цель и задачи настоящего исследования.

Объект исследования – система хозяйственно-экономических отношений между угледобывающими и металлургическими предприятиями.

Предметом исследования выступают организационно-экономические механизмы, методы оценки и условия трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий при переходе к применению топлива, обеспечивающего снижение углеродных выбросов.

Целью исследования является разработка и обоснование организационно-экономической модели трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий и методического инструментария выбора и оценки сценариев глубокой переработки бурых углей для использования продуктов их переработки как субститута коксующихся углей с учетом условий низкоуглеродного перехода и ограничений устойчивого развития.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

– теоретически обосновать модель трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий на основе глубокой переработки бурых углей и определить ее отличия от традиционных форм межфирменной координации в условиях низкоуглеродного перехода и ограничений, необходимых для достижения устойчивого развития;

– разработать методику сопоставления использования коксующегося угля, термококса и водорода в металлургическом переделе с учетом их энергетической ценности, восстановительной способности и условий применения, а также экологического, социального и экономического эффектов;

– определить и эмпирически верифицировать пороговые условия операционной жизнеспособности низкоуглеродных сценариев полной и частичной газификации бурых углей, при которых достижимо снижение углеродных выбросов в логике целей устойчивого развития;

– разработать подход к обоснованию инвестиционного решения, предусматривающий операционное сопоставление термококсового и водородного сценариев с нормированием показателей на единицу энергетической ценности и последующую инвестиционную апробацию только выбранного сценария по показателям финансовой эффективности и сценарную проверку его чувствительности к условной цене углерода;

– обосновать инструментарий согласования интересов участников угольного, газификационного и металлургического контуров на основе экономически обоснованной цены термококса, а также разграничить рассчитанные корпоративные и социально-региональные эффекты и потенциальные отраслевые и национально-экономические эффекты трансформации.

Область исследования диссертации соответствует п. 2.11. «Формирование механизмов устойчивого развития промышленных отраслей, комплексов, предприятий» и п. 2.14. «Проблемы повышения энергетической эффективности и использования альтернативных источников энергии» Паспорта научной специальности 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика: экономика промышленности (экономические науки).

Гипотеза исследования состоит в том, что трансформация взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий на основе частичной газификации бурых углей экономически обоснована при одновременном выполнении трех проверяемых условий: достижении операционного паритета между угледобывающими и металлургическими предприятиями по стоимости сопоставимой энергетической ценности, выраженной в условных единицах сопоставимой энергетической ценности (УЕСЭ $\leq 100\%$) с вероятностью не ниже 90%; превышении внутренней нормы доходности проекта над средневзвешенной стоимостью капитала при заданном диапазоне предпосылок; существовании непустого ценового коридора термококса, приемлемого одновременно для угольного, газификационного и металлургического контуров. Все три условия относятся к сценарию частичной газификации и термококсовому проекту; гипотеза считается опровергнутой при невыполнении любого из них, а результаты проверки сценария полной газификации служат базой сравнения и на ее статус не влияют.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составляют системный подход к анализу промышленных трансформаций, теория трансакционных издержек, ресурсная теория фирмы, теория заинтересованных сторон и подходы к оценке инвестиционной эффективности капиталоемких проектов.

Их использование обусловлено тем, что трансформация охватывает технологические, организационно-экономические, инвестиционные и социально-региональные аспекты.

Для решения задач применялась совокупность общенаучных и специальных методов: системный и сравнительный анализ – для выявления ограничений традиционной коксо-доменной модели и сопоставления альтернативных траекторий глубокой переработки бурых углей; теоретический синтез – при разработке концептуальной модели трансформации угольно-металлургического взаимодействия.

Формализация и моделирование использовались при разработке метрики УЕСЭ – условной единицы сопоставимой энергетической ценности, приводящей стоимость технологических продуктов различной физической природы к единому измерителю. Финансово-экономическая модель проекта, анализ чувствительности и имитационное моделирование методом Монте-Карло реализованы в MS Excel; оценивалась вероятность достижения операционного паритета по критерию $К_{УЕСЭ} \leq 100\%$.

Для технологической верификации использовались расчеты термодинамических параметров различных марок угля – один из источников обоснования диапазонов входных параметров финансово-экономической модели.

Эмпирическая часть включает структурированный экспертный опрос представителей металлургических предприятий, угледобывающих компаний и инвестиционно-институционального блока. Экспертные оценки использовались для проверки достижимости пороговых значений УЕСЭ и уточнения параметров модели. Инвестиционная состоятельность выбранного сценария проверялась по показателям чистой приведенной стоимости, внутренней нормы доходности, свободного денежного потока фирмы, прибыли до вычета процентов, налогов и амортизации, а также по сроку окупаемости. Расчет показателей выполнен по стандартной методике оценки эффективности инвестиционных проектов; отдельно описаны процедура экспертного опроса и статистическая обработка взвешенных оценок.

Научная новизна исследования заключается в выявлении условий и механизма экономически обоснованного вовлечения бурых углей в металлургический передел при ограничениях, необходимых для достижения устойчивого развития, а также в разработке методического инструментария для оценки жизнеспособности модели трансформации угольно-металлургического взаимодействия, основанной на использовании бурых углей. В рамках предлагаемой модели трансформация обеспечивается переходом угледобывающих и металлургических предприятий к глубокой переработке бурых углей методом газификации и последующим использованием продуктов переработки в металлургическом переделе. В отличие от

существующих подходов, рассматривающих преимущественно отдельные технологические либо организационные аспекты низкоуглеродной трансформации, предложенная модель объединяет технологический переход, оценку экономической жизнеспособности и распределение эффекта между участниками производственной цепочки с учетом социально-региональных ограничений.

Положения, выносимые на защиту:

1) Разработана теоретическая модель трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий, рассматривающая это взаимодействие не как совокупность договорных поставок сырья, а как согласованную систему технологического, организационно-экономического и инвестиционно-ценового контуров, которая формируется в условиях перехода к низкоуглеродным решениям и достижения целей устойчивого развития. В отличие от ранее известных подходов, анализировавших либо организационные формы координации, либо технологические изменения изолированно, предложенная модель объединяет вопросы межфирменного взаимодействия, специфичности активов, распределения рисков и устойчивости производственной цепочки в единую исследовательскую конструкцию (С. 63; 67-73).

2) Предложена методика сравнительной оценки технологических продуктов, используемых в металлургическом переделе, на основе метрики условной единицы сопоставимой энергетической ценности (УЕСЭ), позволяющая сопоставлять коксующийся уголь, термококс и водород с учетом их энергетических, логистических, углеродных и иных операционных характеристик. Научная новизна методики состоит не в самом переводе стоимости в энергетическую единицу, а в совокупности четырех элементов: отраслевом составе компонентов, компонентной нормировке относительно традиционного коксо-доменного сценария (100 условных единиц), применении к разнородным продуктам угольно-металлургического взаимодействия и использовании УЕСЭ как первого этапа решения, предшествующего инженерной и инвестиционной верификации. Поэтому УЕСЭ не является вариантом общепринятых удельных стоимостных показателей энергетики или простого показателя стоимости единицы тепловой энергии, хотя использует общий принцип удельного сопоставления (С. 87-93; 98).

3) Определены и эмпирически верифицированы пороговые условия операционной жизнеспособности сценариев полной и частичной газификации бурых углей, при выполнении которых эти сценарии обеспечивают снижение углеродоемкости и углеродных рисков взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий. В отличие от ранее известных исследований, в которых реализуемость подобных решений оценивалась преимущественно качественно или в рамках отдельных

технологических параметров, в диссертации предложен подход, сочетающий задание и расчет диапазонов пяти ключевых параметров: ценового, логистического, сырьевого, трансакционного и технологического риска, – экспертную проверку их достижимости и формализованную оценку вероятности операционного паритета в логике целей устойчивого развития (С. 111-112; 131-134; 157-158).

4) Разработан двухэтапный методический подход к обоснованию сценария глубокой переработки бурых углей: на первом этапе термококсовый и водородный сценарии сопоставляются по операционному критерию УЕСЭ, на втором – выбранный термококсовый сценарий проверяется на инвестиционную состоятельность традиционными инструментами инвестиционного анализа. Предложенный подход позволяет оценивать, при каких объемах, ценах, капитальных (Capital Expenditure, CAPEX) и операционных (Operating Expenditure, OPEX) затратах, уровне загрузки, логистических условиях и механизме внутреннего ценообразования реализация выбранного проекта формирует положительный денежный поток и приемлемые показатели эффективности. В отличие от существующих подходов, ориентированных либо на локальную технологическую эффективность, либо на стандартную финансовую оценку без учета операционной сопоставимости альтернатив, предложенное решение объединяет операционную, инвестиционную и риск-аналитическую логику в единой модели принятия решений (С. 144-147; 180-183).

5) Предложен инструментарий согласования интересов участников угольного, газификационного и металлургического контуров, основанный на формировании экономически обоснованного диапазона цены термококса как промежуточного продукта глубокой переработки бурых углей. В отличие от ранее известных подходов, не дающих комплексного решения для распределения создаваемого экономического эффекта и инвестиционных рисков в низкоуглеродных промышленных цепочках, предложенный инструментарий учитывает вклад сторон в создание специфических активов, распределение выгод и рисков и тем самым обеспечивает институциональные условия для практической реализации устойчивой трансформации взаимодействия предприятий. Инструментарий разграничивает рассчитанный корпоративный распределительный эффект и потенциальные отраслевые и национальные эффекты (С. 185; 188-192; 224-225).

Теоретическая значимость работы состоит в развитии представлений о трансформации угольно-металлургического взаимодействия как об изменении системы хозяйственно-экономических отношений под воздействием специфичности активов, технологической неопределенности и необходимости более глубокой межфирменной координации. В диссертации предложена логика совместного анализа технологий

глубокой переработки бурых углей, низкоуглеродной трансформации металлургии и организационно-экономических форм взаимодействия предприятий.

На основе теории трансакционных издержек, ресурсной теории фирмы и теории заинтересованных сторон обосновано, что рост специфичности активов, капиталоемкости и технологической неопределенности требует более глубокой координации участников производственной цепочки, чем традиционный долгосрочный контракт поставки. Теоретический вклад состоит в установлении причинной связи между ростом специфичности активов, капиталоемкости и технологической неопределенности, с одной стороны, и требуемой глубиной координации участников производственной цепочки – с другой.

Практическая значимость работы состоит в разработке взаимосвязанного набора методик: метрики условной единицы сопоставимой энергетической ценности (УЕСЭ), сопоставляющей коксующийся уголь, термококс и водород не по натуральным или рыночным показателям, а по стоимости сопоставимой энергетической ценности с учетом логистических, технологических и регуляторных факторов; методики проверки пороговых условий жизнеспособности сценариев полной и частичной газификации бурых углей; двухэтапного подхода к обоснованию инвестиционного решения; методики формирования экономически обоснованной цены термококса как промежуточного продукта.

Особенности применения этих методик и выводы для практики сводятся к следующему: они применимы для предварительного отбора низкоуглеродных сценариев и проверки операционного паритета до начала капиталоемких расчетов и позволяют увязать результаты операционного сопоставления с финансовыми показателями при подготовке инвестиционных решений и бизнес-планов.

Степень достоверности, апробация и внедрение результатов исследования. Достоверность исследования обеспечивается применением общенаучных и специальных методов анализа, использованием трудов отечественных и зарубежных ученых, отраслевых отчетов и экспертных оценок, а также имитационного и сценарного моделирования. Сопоставление расчетов с экспертными оценками подтверждает обоснованность и воспроизводимость основных выводов; дополнительная прикладная проверка выполнена на параметрах российско-китайского проекта глубокой переработки бурых углей. Результаты внедрены в деятельность Российско-Китайского Инвестиционного Фонда Регионального Развития: метрика УЕСЭ применена при сравнительной оценке ресурсной базы, включая месторождение бурых углей в Забайкальском крае, и при обосновании решения о реализации проекта. Материалы диссертации также используются кафедрой стратегического и инновационного развития

факультета «Высшая школа управления» при преподавании учебной дисциплины «Инновационная стратегия фирмы: процессы, продукты, бизнес-модели» по направлению подготовки 27.04.05 «Инноватика» (магистерская программа «Разработка и внедрение цифровых решений»).

Теоретические и практические результаты исследования обсуждались и получили положительную оценку на конференциях, круглых столах и семинарах. Основные положения и результаты представлены и одобрены на следующих научных конференциях: на III Всероссийской научно-практической конференции «Финансовый менеджмент и трансформация бизнес-процессов» (Москва, Финансовый университет, 21 мая 2025 г.); на II Международной научно-практической конференции «Технологическое предпринимательство в цифровом обществе» (TEDS-2025) (Москва, Финансовый университет, 3-4 декабря 2025 г.).

Материалы диссертации использовались при выполнении научно-исследовательских работ (далее – НИР) по следующим темам:

1. «Цифровизация промышленности как инструмент повышения эффективности производства» (Государственное задание, приказ Финуниверситета от 13.12.2023 № 3057/о) в части подготовки раздела «Анализ темпов цифровой трансформации в период введения санкционных ограничений и проектов поддержки цифровой трансформации в различных отраслях промышленности». Степень участия в НИР составляет 4,9% (1,0 п.л.).

2. «Стимулирование экспортного предпринимательства в условиях санкционных ограничений России» (Государственное задание, приказ Финуниверситета от 13.12.2023 № 3058/о) в части подготовки раздела «Разработка методических рекомендаций по использованию моделей выхода на внешние рынки в целях их развития и повышения показателей основной и инновационной деятельности средних и малых производственных предприятий в условиях санкционных ограничений». Степень участия в НИР составляет 3,6% (0,62 п.л.).

Материалы диссертации используются в практической деятельности Российско-Китайского Инвестиционного Фонда Регионального Развития. Разработанная метрика УЕСЭ применена при сравнительной оценке ресурсной базы, включая буроугольное месторождение в Забайкальском крае, и при обосновании решения о реализации проекта глубокой переработки бурых углей. Практический эффект внедрения УЕСЭ состоит в повышении обоснованности выбора технологической траектории, снижении риска некорректного сопоставления разнородных продуктов и своевременном выявлении ограничений проекта. Методика формирует единый воспроизводимый подход

к подготовке проектов глубокой переработки бурых углей для устойчивого развития угледобывающих и металлургических предприятий.

Материалы диссертации используются Кафедрой стратегического и инновационного развития Факультета «Высшая школа управления» Финансового университета в преподавании учебной дисциплины «Инновационная стратегия фирмы: процессы, продукты, бизнес-модели» по направлению подготовки 27.04.05 «Инноватика», магистерская программа «Разработка и внедрение цифровых решений».

Апробация и внедрение результатов исследования подтверждены соответствующими документами.

Публикации. Ключевые положения и результаты диссертации отражены в 8 работах общим объемом 10,04 п.л. (авторский объем 9,94 п.л.), опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит введение, три главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы, состоящий из 232 наименований, список иллюстративного материала, 10 приложений. Текст диссертации изложен на 294 страницах, включает 90 таблиц и 15 рисунков.

II Основное содержание работы

В соответствии с целью и задачами исследования обоснованы следующие научные результаты, выносимые на защиту.

Разработана теоретическая модель трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий, рассматривающая его не как совокупность договорных поставок сырья, а как согласованную систему технологического, организационно-экономического и инвестиционно-ценового контуров, формируемую в условиях перехода к низкоуглеродным решениям и достижения целей устойчивого развития.

Модели предшествовал анализ организационных форм взаимодействия – от контрактных форм до вертикальной интеграции и кластеров. Установлено, что для традиционных поставок достаточно контрактной логики, тогда как промышленная эксплуатация глубокой переработки бурых углей требует устойчивого инструментария согласования инвестиций, рисков, качества продукта и распределения эффекта. Анализ ресурсов по критериям VRIN (Valuable, Rare, Inimitable, Non-Substitutable – ценность, редкость, неимитируемость, незаменимость) показал, что сочетание буроугольной базы, логистического доступа и металлургического потребления образует специфический производственный актив, ценность которого реализуется только в единой проектной конфигурации. Сопоставление отечественных и зарубежных кейсов показало, что

ни один из них не соединяет угольный, газификационный и металлургический контуры с распределением эффекта между участниками.

Технологический контур модели задает два представленных в таблице 1 сопоставляемых сценария, выделенных из совокупности технологических решений по компонентам устойчивого развития и группам технологических ограничений – сырьевым, процессным, продуктовым, инфраструктурным, инвестиционным, экологическим и организационным.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика сценариев глубокой переработки бурых углей

Характеристика	Сценарий 1 – полная газификация с получением водорода	Сценарий 2 – частичная газификация с производством термококса
Технологический принцип и продукт	Максимальное преобразование сырья в газообразный продукт; водород как технологический продукт	Сохранение части продукта в твердой форме; термококс как углеродистый энергоресурс и частично восстановительный компонент передела
Связь с существующей моделью взаимодействия	Глубокая перестройка связи контуров; существенная адаптация инфраструктуры использования водорода	Сохранение связи с промышленной инфраструктурой при изменении продуктовой и экономической логики
Ключевые риски	Инфраструктурная неопределенность, капиталоемкость, долгосрочные условия углеродного регулирования	Качество сырья, логистика, предсказуемость внутренней цены, согласование интересов участников

Источник: разработано автором.

Трансформация отношений раскрыта через параметры, изменяющиеся при переходе от традиционной модели к модели трансформации; они отражены в таблице 2. Обосновано, что юридическое слияние предприятий не является обязательным условием трансформации, тогда как согласование технологических и инвестиционных параметров по всей цепочке обязательно: чем выше специфичность активов и неопределенность проекта, тем глубже требуемая координация участников.

Таблица 2 – Параметры трансформации хозяйственно-экономических отношений угледобывающих и металлургических предприятий

Параметр отношений	Традиционная модель	Модель трансформации
1	2	3
Характер взаимодействия и глубина координации	Рыночно-контрактные отношения между относительно автономными производственными переделами	Глубокая координация участников угольного, газификационного и металлургического контуров с согласованием технологических, инвестиционных и экономических параметров
Экономический механизм и ценообразование	Рыночная цена на сырье и отдельные договорные условия поставки	Инструментарий согласования интересов участников: правило расчета внутренней цены промежуточного продукта, распределение экономического эффекта и последующая инвестиционная оценка
Управление рисками	Риски локализованы в отдельных звеньях цепочки и распределяются договором	Риски сырья, технологии, логистики, капитальных затрат и спроса требуют согласованного управления участниками трех контуров

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Специфичность активов и инвестиционные обязательства	Инвестиции локализованы внутри отдельных предприятий и переделов	Проектно-специализированный актив; капиталоемкость возрастает за счет газификационного комплекса и сопряженной инфраструктуры, инвестиционные обязательства согласуются участниками

Источник: разработано автором.

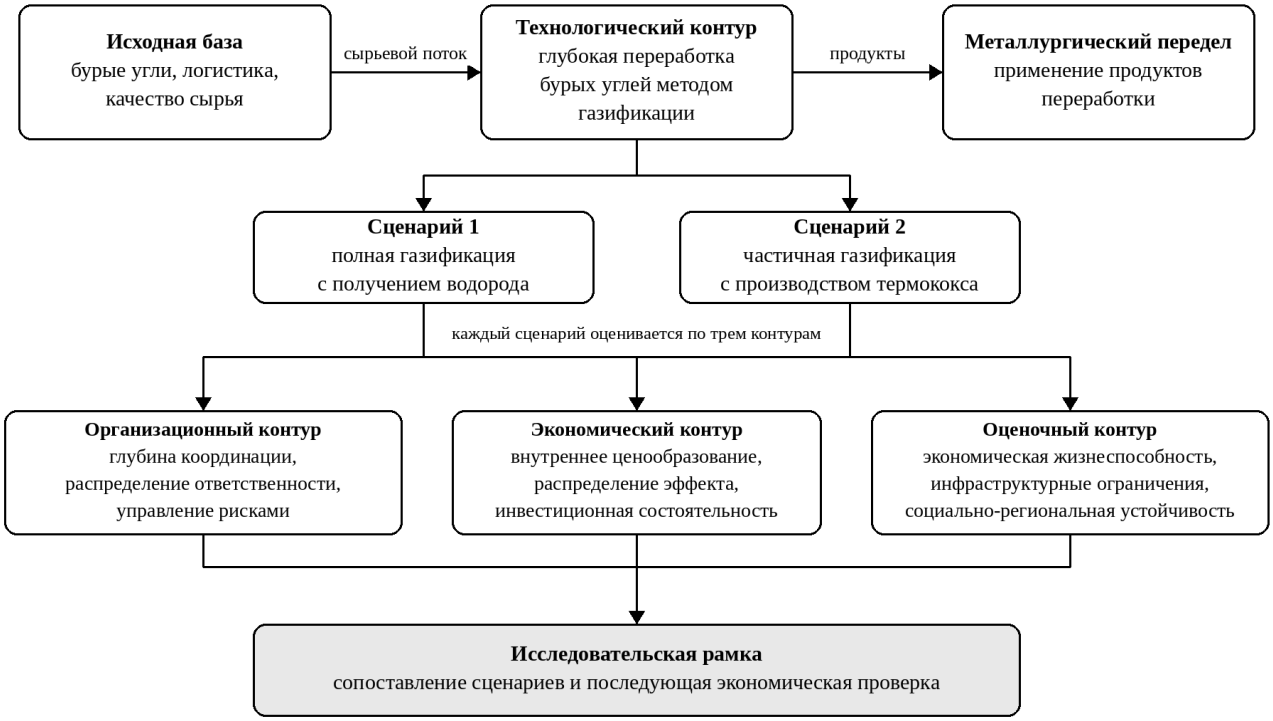
Модель основана на согласовании шести контуров двух уровней: контуров участников (угольного, газификационного, металлургического – последовательности «исходная база → технологический контур → металлургический передел») и структурных контуров – технологического, в котором сопоставляются два сценария газификации, организационно-экономического (глубина координации, распределение ответственности, управление рисками) и инвестиционно-ценового (внутреннее ценообразование, распределение эффекта, инвестиционная состоятельность), замыкаемых исследовательской рамкой сопоставления сценариев и последующей экономической проверки. Модель иллюстрирует рисунок 1. Инфраструктурные условия и социально-региональные эффекты рассматриваются как внешние блоки модели.

Содержание устойчивого развития конкретизировано применительно к угольно-металлургической цепочке как система критериев, которые трансформация должна удовлетворять одновременно, и этапов их проверки в модели, что отражено в таблице 3.

Таблица 3 – Система критериев устойчивого развития угольно-металлургической цепочки и этапы их проверки в модели

Компонента устойчивого развития	Критерий	Условие выполнения	Этап проверки
Экологическая	Снижение углеродной уязвимости цепочки: удельные выбросы CO_2 на единицу продукции в проектной границе «передел – логистика – применение»	Удельные выбросы сценария ниже традиционного маршрута	Углеродная нагрузка по стадиям; углеродная компонента УЕСЭ
Экономическая: операционная	Операционный паритет продукта переработки с традиционным сценарием	Паритет по УЕСЭ достигается с высокой вероятностью; параметры в пороговых диапазонах	Методика УЕСЭ; имитационное моделирование
Экономическая: инвестиционная и распределительная	Инвестиционная реализуемость проекта и согласование интересов трех контуров	IRR выше барьерной ставки, NPV положителен; ценовой коридор термококса не пуст	Оценка методом DCF; инструментарий согласования интересов
Социально-региональная	Занятость, налоговая база и переподготовка кадров монопрофильных территорий	Социальные издержки в пределах порога реализуемости; занятость и налоговая база раскрываются на параметрах региона	Ограничение реализуемости; эффекты по уровням

Источник: разработано автором.



Источник: разработано автором.
Рисунок 1 – Структура модели трансформации угольно-металлургического взаимодействия в условиях низкоуглеродного перехода

Предложена методика сравнительной оценки технологических продуктов, используемых в металлургическом переделе, на основе метрики условной единицы сопоставимой энергетической ценности (УЕСЭ), позволяющая сопоставлять коксующийся уголь, термококс и водород с учетом их энергетических, логистических, углеродных и иных операционных характеристик.

Распространенные стоимостные метрики – LCOE, LCOS, стоимость 1 ГДж, TCO и DCF – технологической сопоставимости угля, термококса и водорода не обеспечивают. Сопоставление по УЕСЭ не является энергетическим: операционные затраты по каждому продукту приводятся к 1 ГДж сопоставимой энергетической ценности, используемой в металлургическом переделе, и декомпозируются на четыре компоненты из формулы (1), а относительный коэффициент условной единицы сопоставимой энергетической ценности ($К_{УЕСЭ}$) рассчитывается по формуле (2)

$$\text{УЕСЭ}_i = C_{\text{энерг},i} + C_{\text{угл},i} + C_{\text{лог},i} + C_{\text{проч},i}, \quad (1)$$

$$К_{\text{УЕСЭ},i} = \frac{\text{УЕСЭ}_i}{\text{УЕСЭ}_{\text{трад}}} \times 100\ \%, \quad (2)$$

где УЕСЭ_i – сопоставимая энергетическая ценность i-го технологического продукта;

$C_{энерг,i}$ – энергетическая компонента: стоимость продукта как энергоносителя, восстановителя и структурного материала шихты с учетом надбавки на технологический риск;

$C_{угл,i}$ – углеродная компонента: удельная углеродная нагрузка, умноженная на условную цену углерода;

$C_{лог,i}$ – логистическая компонента с учетом коэффициента трансакционных издержек;

$C_{проч,i}$ – прочая операционная компонента (подготовка продукта, контроль качества, потери);

$УЕСЭ_{трад}$ – нормированное базовое значение традиционного коксо-доменного сценария.

Энергетическая эквивалентность не означает технологической взаимозаменяемости: восстановительная функция, реакционная способность и прочность продукта не включаются в метрику, поскольку единый коэффициент, связывающий их со стоимостью 1 ГДж, пришлось бы строить под конкретный агрегат, а часть параметров учитывалась бы дважды. Поэтому они выступают условием допуска сценария к расчету, а инженерная проверка поведения шихты обязательна и выполняется между операционным отбором и инвестиционной оценкой. База традиционного сценария сформирована методом компонентной нормировки с консервативными допущениями, ухудшающими оценку альтернативных сценариев. Факторы трансформации выражены параметрами модели: логистическим плечом L, индексом углеродного регулирования $I_{рег}$, коэффициентом трансакционных издержек $К_{т.и.}$, индексом технологической эффективности сырья Q, надбавкой на технологический риск $R_{тех}$ и социальными издержками $C_{соц}$, учитываемыми вне метрики как ограничение реализуемости.

Предварительная оценка показала, что паритет с традиционным сценарием достижим в обоих сценариях, но источники преимущества различны: у водорода снижение углеродной и логистической компонент компенсирует рост энергетической, у термококса преимущество дают более низкая энергетическая компонента и совместимость с действующей инфраструктурой. Условие $К_{УЕСЭ} \leq 100\%$ служит операционным фильтром перехода к инвестиционной оценке.

Определены и эмпирически верифицированы пороговые условия операционной жизнеспособности сценариев полной и частичной газификации бурых углей, при выполнении которых эти сценарии обеспечивают снижение углеродоемкости и углеродных рисков взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий.

Операционная жизнеспособность сценария – достижение паритета при значениях параметров $I_{рег}$, L, Q, $К_{т.и.}$, $R_{тех}$ и ограничения $C_{соц}$ в допустимых диапазонах. Предварительные пороги рассчитаны аналитически из условия $К_{УЕСЭ,i} \leq 100\%$ по научным, отраслевым и проектным данным и термодинамическим расчетам. Однако ключевые параметры модели, например приемлемое логистическое плечо для термококса, не публикуются ни в отраслевой статистике, ни в отчетности компаний: их знают только специалисты, рассчитывавшие такие маршруты и проекты. Поэтому пороги проверены структурированным экспертным опросом, который выступает не заменой расчетов, а процедурой валидации: он отвечает на вопрос, находятся ли принятые диапазоны в пределах того, что участники отрасли считают реализуемым, и позволяет сузить или сдвинуть эти диапазоны.

Экспертную базу исследования составили 73 специалиста из трех целевых групп, представляющих все звенья цепочки: 24 представителя металлургических предприятий, 31 – угледобывающих компаний и 18 – инвестиционно-институционального блока. Сочетание целевого отбора и квотного группирования исключило доминирование одной корпоративной стратегии или одного холдинга и обеспечило представленность ключевых профессиональных позиций; ответы обезличены, а индивидуальные оценки взвешены по институциональной принадлежности и компетентности эксперта (стаж, опыт межфирменной координации и капиталоемких проектов). Анкета включала пять модулей: идентификацию эксперта, валидацию условий водородного сценария, валидацию условий термококсового сценария, технологические риски, организационную конфигурацию и принцип цены промежуточного продукта – и три формата вопросов: семибалльные шкалы, множественный выбор и открытые комментарии.

Ответы агрегированы с учетом весов экспертов, сопоставлены между тремя группами участников и дополнены содержательной интерпретацией открытых комментариев. Различие оценок двух сценариев статистически значимо по критерию Уилкоксона: 72 из 73 экспертов оценили сценарий частичной газификации выше. По результатам опроса пороговые параметры сценарно уточнены, они приведены в таблице 4.

Опрос дал содержательные выводы, выходящие за рамки проверки порогов. Все три группы оценили сценарий частичной газификации выше водородного по стратегической трансформации, долгосрочному преимуществу и соответствию устойчивому развитию; металлурги проявили выраженный скепсис в отношении водородной инфраструктуры при более оптимистичной позиции инвестиционного блока. Эксперты подтвердили запрос на глубокую координацию участников, но не сформировали единого принципа цены промежуточного продукта: металлурги заинтересованы в предсказуемости цены и ее

увязке с экономией, угледобывающие компании – в покрытии затрат и участии в эффекте, инвесторы – в прозрачной формуле и внешнем контроле. Это эмпирически обосновало необходимость инструментария согласования интересов. Контрольный пересчет в точках уточненных порогов подтвердил достижимость паритета обоими сценариями при различных профилях ограничений.

Таблица 4 – Сценарно уточненные пороговые параметры операционной жизнеспособности сценариев и роль экспертной проверки

Параметр	Водород	Термококс	Результат экспертной проверки
$I_{рег}$ – индекс углеродного регулирования	≥ 0,65	≥ 0,61	Углеродное регулирование названо главным условием преимущества сценария
L – логистическое плечо	≤ 800 км	≤ 2 500 км	Диапазоны согласованы с позициями металлургов, угледобывающих компаний и инвесторов
Q – индекс технологической эффективности сырья	≥ 0,91	≥ 0,96	Качество угольной базы признано ключевым условием термококсового сценария
$К_{т.и.}$ – коэффициент трансакционных издержек	≤ 1,08	≤ 1,15	Большинство экспертов выбрали имущественно-интегрированную форму координации
$R_{тех}$ – надбавка на технологический риск	≤ 0,12	≤ 0,08	Уточнено по оценкам технологических рисков

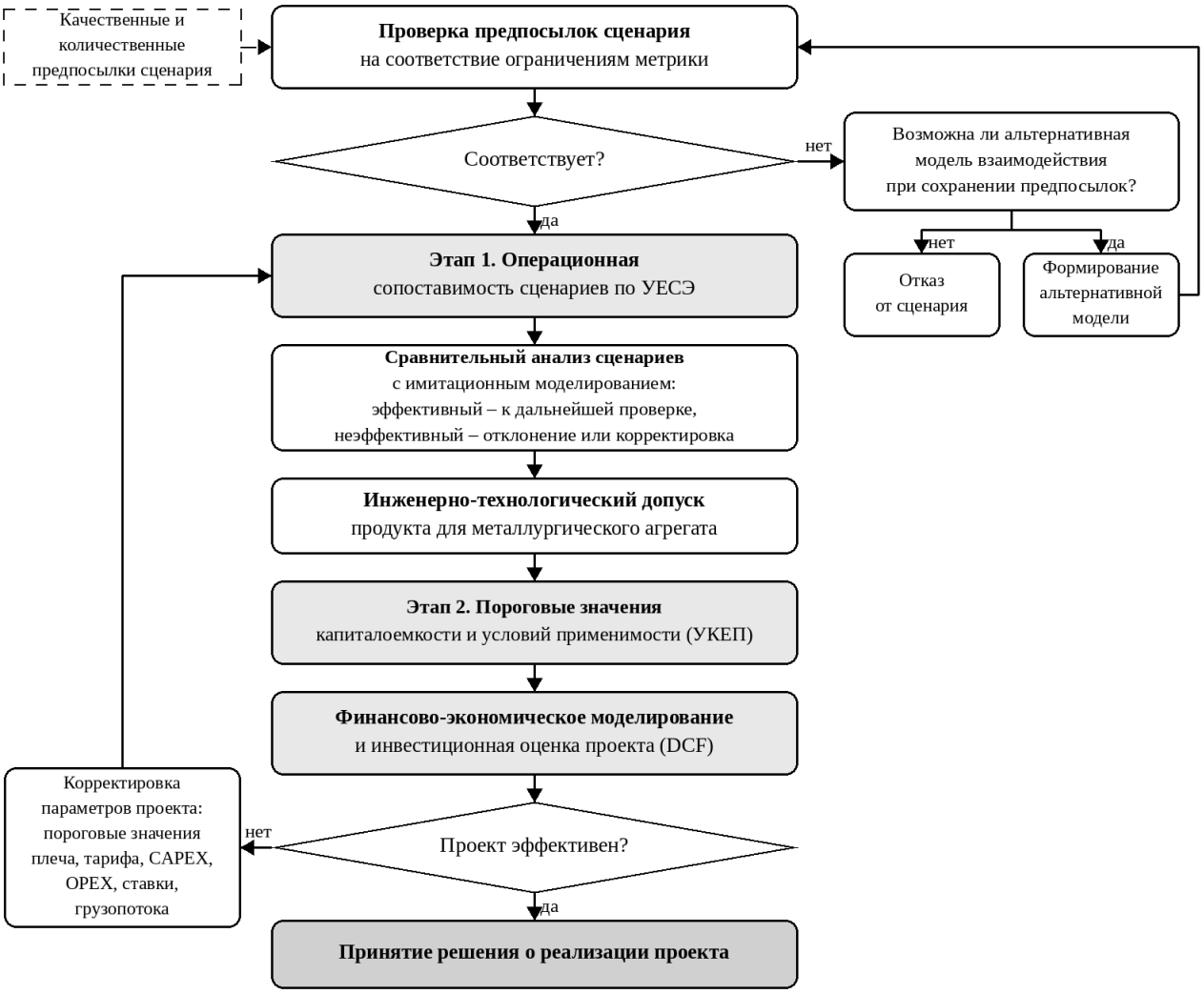
Источник: составлено автором по результатам опроса 73 экспертов.

Разработан двухэтапный методический подход к обоснованию сценария глубокой переработки бурых углей: на первом этапе термококсовый и водородный сценарии сопоставляются по операционному критерию УЕСЭ, на втором – выбранный термококсовый сценарий проверяется на инвестиционную состоятельность традиционными инструментами инвестиционного анализа.

Алгоритм подхода, представленный на рисунке 2, фиксирует двухэтапную логику проверки.

На первом этапе предпосылки сценария сравниваются с ограничениями метрики; при несоответствии проверяется возможность альтернативной модели взаимодействия при сохранении исследовательских предпосылок, а при ее невозможности сценарий исключается. Соответствующие сценарии сопоставляются по УЕСЭ, операционный паритет выполняет функцию допуска к инвестиционной проверке, а между этапами выполняется инженерно-технологическая верификация продукта. На втором этапе определяются пороговые значения капиталоемкости и условий применимости проекта (УКЕП – уточняющий коэффициент экономической применимости проекта), выполняются финансово-экономическое моделирование и инвестиционная оценка; при неприемлемом результате параметры проекта корректируются с определением их пороговых значений.

На первом этапе выполнено имитационное моделирование методом Монте-Карло: 100 000 итераций для каждого сценария при едином критерии успеха $К_{УЕСЭ} \leq 100\%$, входные распределения в диапазонах уточненных экспертами порогов и корреляционная структура, отражающая связь логистического плеча с издержками координации и качества сырья с технологическим риском. Устойчивость результата проверена в шести дополнительных спецификациях – при независимых параметрах, стрессе корреляций, альтернативных распределениях и сдвиге диапазонов. Во всех спецификациях частичная газификация сохраняет преимущество: вероятность операционного паритета составила 97,4% против 21,7% у полной газификации, что обосновало выбор термококсового сценария для инвестиционной оценки при сохранении водородного направления как долгосрочного контура.



Источник: разработано автором.

Рисунок 2 – Алгоритм сравнительной оценки операционной жизнеспособности и инвестиционной состоятельности сценариев трансформации угольно-металлургического взаимодействия

На втором этапе подход апробирован на реальном российско-китайском проекте глубокой переработки бурых углей, который сопровождает Российско-Китайский Инвестиционный Фонд Регионального Развития и который был представлен на Восточном экономическом форуме в 2025 г. Ресурсной базой проекта является Даурское буроугольное месторождение в Забайкальском крае (бурый уголь марки 2Б), потребителем – металлургический завод в Китайской Народной Республике в составе вертикально интегрированной производственной цепочки. Информационную базу апробации составили инвестиционная презентация, технологические материалы и финансовая модель проекта. Апробация охватила всю логику модели – операционное сопоставление термококса с альтернативным углеродистым энергоносителем, инвестиционную оценку и расчет ценового коридора.

Для проекта структура УЕСЭ конкретизирована по формуле (3)

$$К_{УЕСЭ}^{проект} = \frac{\left(C_{тк}^{FCA} + C_{лог}^{проект} + C_{CO_2}^{проект}\right) / E_{тк}}{\left(P_{ан}^{FCA} + k_{лог} \times C_{лог}^{проект} + C_{CO_2}^{ан}\right) / E_{тк}} \times 100\ \% \qquad (3)$$

где $C_{тк}^{FCA}$ – операционная себестоимость термококса на условиях франко-перевозчик (FCA) без амортизации;

$C_{лог}^{проект}$ – транспортные расходы до металлургического завода;

$C_{CO_2}^{проект}$, $C_{CO_2}^{ан}$ – платежи за выбросы по проекту и альтернативе;

$P_{ан}^{FCA}$ – FCA-цена альтернативного энергоносителя;

$k_{лог}$ – коэффициент превышения транспортных расходов альтернативной поставки;

$E_{тк}$ – энергетическая ценность термококса.

Операционный паритет на параметрах проекта подтвержден со значительным запасом ($К_{УЕСЭ}^{проект}$ = 60,4%) и сохраняется при сценарном введении условной цены углерода; удельные выбросы в проектной границе ниже традиционного маршрута. Инвестиционная оценка по двадцатилетнему ряду свободного денежного потока финансово-экономической модели проекта подтвердила его состоятельность: NPV составляет 6 748,2 млн руб., IRR – 22,59% при барьерной ставке 20%, а положительный NPV сохраняется в границах анализа чувствительности к капитальным и операционным затратам, цене чугуна, загрузке мощностей и ставке дисконтирования. Результаты апробации внедрены в деятельность Российско-Китайского Инвестиционного Фонда Регионального Развития: метрика УЕСЭ применена при сравнительной оценке ресурсной базы и при обосновании решения о реализации проекта.

Таким образом, итоговым критерием принятия инвестиционного решения является одновременное выполнение условий операционного паритета, инженерно-технологического допуска продукта и инвестиционной состоятельности проекта, а условием устойчивости

взаимодействия участников – непустой ценовой коридор термококса; для термококсового проекта условия операционного паритета и инвестиционной состоятельности выполнены.

Предложен инструментарий согласования интересов участников угольного, газификационного и металлургического контуров, основанный на формировании экономически обоснованного диапазона цены термококса как промежуточного продукта глубокой переработки бурых углей.

Установлено, что положительный интегральный результат проекта сам по себе не обеспечивает устойчивость взаимодействия, если созданный эффект распределяется односторонне, а экспертный опрос показал отсутствие у участников единого принципа цены промежуточного продукта. Инструментарий образуют коридор экономически обоснованной цены термококса, матрица управления рисками и система показателей мониторинга соглашения.

Интересы сторон выражены количественно через границы коридора: нижняя граница определяется угольным и газификационным контурами по формуле (4), верхняя – металлургическим контуром по формуле (5), расчетная внутренняя цена выведена по формуле (6), полный и распределяемый эффекты – по формулам (7) и (8)

$$P_{\text{тк}}^{min} = (C_{\text{тк}}^{FCA} + A_{\text{тк}}^{DA}) \times (1 + r_{min}), \quad (4)$$

$$P_{\text{тк}}^{max} = P_{\text{ан}}^{delivered} - C_{\text{лог}}^{\text{проект}}, \; P_{\text{ан}}^{delivered} = P_{\text{ан}}^{FCA} + k_{\text{лог}} \times C_{\text{лог}}^{\text{проект}}, \quad (5)$$

$$P_{\text{тк}}^{fair} = P_{\text{тк}}^{min} + \alpha \times (P_{\text{тк}}^{max} - P_{\text{тк}}^{min}), \quad (6)$$

$$S_{full} = \left(P_{\text{ан}}^{delivered} - (C_{\text{тк}}^{FCA} + C_{\text{лог}}^{\text{проект}})\right) \times Q_{\text{тк}}, \quad (7)$$

$$S_{dist} = (P_{\text{тк}}^{max} - P_{\text{тк}}^{min}) \times Q_{\text{тк}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{тк}}^{min}, P_{\text{тк}}^{max}, P_{\text{тк}}^{fair}$ – нижняя и верхняя границы и расчетная внутренняя цена термококса;

$A_{\text{тк}}^{DA}$ – амортизационная составляющая угольного и газификационного контуров;

$P_{\text{ан}}^{delivered}$ – стоимость альтернативного энергоносителя с доставкой;

r_{min} – минимально приемлемая доходность угольного и газификационного контуров;

α – коэффициент распределения синергии;

S_{full}, S_{dist} – полный технологико-логистический эффект и распределяемая синергия;

$Q_{\text{тк}}$ – годовой объем потребления термококса.

Коэффициент α трактуется как управленческий параметр соглашения участников: базовое значение соответствует равному распределению синергии, нижний ориентир – непревышению внутренней ценой рыночной цены альтернативы. На параметрах российско-китайского проекта коридор цены термококса не пуст – 4 821,9-6 078,1 руб./т, а распределяемая между участниками синергия составляет около 3,7 млрд руб. в год.

Поскольку ширина коридора зависит от логистических условий, соглашением предусматривается ежегодный пересчет всего коридора, а не индексация цены.

Правила корректировки цены закреплены в матрице рисков, представленной в таблице 5: при отклонении качества продукта действует договорное правило корректировки цены, недозагрузка ограничивается правилом «прими или оплати», изменение логистики ведет к пересчету верхней границы, рост операционных затрат – нижней. Контур управления образуют совет участников, профильные комитеты и независимая экспертиза; мониторинг ведется по ценовому, технологическому и производственно-логистическому блокам показателей.

Таблица 5 – Матрица оценки и распределения рисков проекта производства термококса из бурых углей

Группа риска	Содержание риска	Зона контроля	Меры управления
Сырьевой	Отклонение качества угля по влажности, зольности, теплотворной способности	Угольный контур	Геологическая верификация, контроль качества, корректировка производственного плана
Технологический	Недостижение проектного выхода и качества термококса	Газификационный контур	Технические KPI, испытания партий, договорное правило корректировки цены
Логистический	Изменение тарифов, пропускной способности, пограничных процедур	Металлургический контур	Отдельная строка затрат; пересчет верхней границы коридора
Объемный	Недозагрузка газификационного комплекса	Металлургический контур	Минимальный объем закупки по правилу «прими или оплати»
Регуляторный и институциональный	Углеродное регулирование; ценовые споры, задержка решений	Совместная зона контроля	Регуляторная оговорка; совет участников, ценовой комитет, независимая экспертиза

Источник: разработано автором.

Эффект трансформации разграничен по уровням без двойного счета: корпоративный подтвержден расчетом коридора, социально-региональный отражен фондом оплаты труда и налоговыми поступлениями проекта, отраслевой и национально-экономический раскрыты через ресурсный, технологический, кооперационный и региональный каналы как сценарная иллюстрация масштабирования. Тем самым выполнено третье условие гипотезы.

III Заключение

Научный результат исследования – обоснование теоретической модели трансформации взаимодействия угледобывающих и металлургических предприятий на основе глубокой переработки бурых углей и методического инструментария выбора, оценки и согласования сценариев такой трансформации.

Установлено, что трансформация взаимодействия есть изменение системы хозяйственно-экономических отношений, разрешающее противоречие между контрактной формой отношений и технологической связанностью цепочки. Предложена методика УЕСЭ, сопоставляющая продукты различной физической природы при обязательном инженерно-технологическом допуске. Пороговые условия жизнеспособности двух сценариев газификации верифицированы структурированным опросом 73 экспертов всех звеньев цепочки; опрос выявил и различие интересов участников в цене промежуточного продукта. Имитационным моделированием доказано устойчивое преимущество частичной газификации по вероятности операционного паритета.

Двухэтапный подход и инструментарий согласования интересов апробированы на российско-китайском проекте глубокой переработки бурых углей Даурского месторождения, сопровождаемом Российско-Китайским Инвестиционным Фондом Регионального Развития: подтверждены операционный паритет, инвестиционная состоятельность термококсового проекта и непустой коридор цены термококса, а метрика УЕСЭ внедрена в деятельность фонда при оценке ресурсной базы и обосновании решения о реализации проекта. Направлениями дальнейших исследований являются полный углеродный баланс сценария, региональная модель социально-экономических эффектов и тиражирование модели на другие угледобывающие регионы.

IV Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в рецензируемых научных изданиях,
определенных ВАК при Минобрнауки России

1. Свадковский, В.А. Экономическая целесообразность перепрофилирования заброшенных угольных шахт в интересах устойчивого развития / В.А. Свадковский // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2023. – № 8. – С. 230-233. – ISSN 2221-1373. – Текст : электронный. – DOI 10.23672/SAE.2023.52.64.026. – URL: https://onlinescience.ru/userfiles/file/svadkovskij_v_a__ehkonomicheskaya_celesoobraznost_pereprofilirovaniya_zabroshennyh_ugolnyh_shaht_v_interesah_ustojchivogo_razvitiya_xl88agj0xx.pdf (дата обращения: 10.09.2026).

2. Трачук, А.В. Интеграция угледобывающего и металлургического секторов: трансформация партнерских моделей в целях устойчивого развития / А.В. Трачук, В.А. Свадковский // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2025. – № 1. Том 16. – С. 20-34. – ISSN 2618-947X.

3. Свадковский, В.А. Водородная металлургия: трансформация взаимодействия угольных шахт и сталелитейных заводов в контексте устойчивого развития / В.А. Свадковский // Экономика строительства. – 2025. – № 4. – С. 283-287. – ISSN 0131-7768.

4. Свадковский, В.А. Гибридные модели энергоперехода: совмещение традиционного угля и водородных технологий в металлургии / В.А. Свадковский // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 4. – С. 360-365. – ISSN 2307-180X.

5. Свадковский, В.А. Термококс или водород: сравнительный анализ технологий декарбонизации металлургического производства / В.А. Свадковский // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 4. – С. 366-370. – ISSN 2307-180X.

6. Свадковский, В.А. Сравнительная оценка технологий глубокой переработки углей в энергетических целях: метрика сопоставимой энергетической ценности и вероятностная оценка операционного паритета / В.А. Свадковский // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2026. – № 6А. Том 16. – С. 720-746. – ISSN 2222-9167. – Текст : электронный. – DOI 10.34670/AR.2026.40.35.106/ – URL: http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2026-6/b65-svadkovskii.pdf (дата обращения: 10.09.2026).

7. Свадковский, В.А. Механизм согласования интересов участников низкоуглеродной промышленной цепочки: ценовой коридор промежуточного продукта глубокой переработки бурых углей / В.А. Свадковский // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2026. – № 7А. Том 16. – С. 15-46. – ISSN 2222-9167.

8. Свадковский, В.А. Двухэтапный методический подход к обоснованию сценария глубокой переработки бурых углей / В.А. Свадковский // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2026. – № 7А. Том 16. – С. 47-72. – ISSN 2222-9167.