

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Савенков-

Савенков Леонид Дмитриевич

**МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО
И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ**

Специальность 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(бухгалтерский учет, аудит и экономическая статистика)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора экономических наук

Научный консультант

Курилова Анастасия Александровна,
доктор экономических наук, доцент

Тольятти 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1 Теоретические основы построения концептуальной модели комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий	18
1.1 Концептуальные подходы к определению сущности стратегического потенциала предприятия как объекта комплексного экономического и статистического анализа	18
1.2 Структурные компоненты стратегического потенциала и их взаимосвязи.....	35
1.3 Теоретические подходы к построению концептуальной модели комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятия	46
Глава 2 Статистический анализ современного состояния и тенденций развития металлургической промышленности	65
2.1 Статистический анализ динамики развития металлургической промышленности в мире.....	65
2.2 Статистический анализ влияния макроэкономических факторов на производство стали: методологический подход.....	93
2.3 Комплексный статистический подход к прогнозированию развития металлургического комплекса.....	164
Глава 3 Комплексный экономический анализ устойчивого развития предприятий металлургической промышленности с использованием когнитивных и статистических моделей	181
3.1 Комплексный экономический анализ направлений устойчивого развития предприятий металлургической промышленности.....	181
3.2 Методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности	193

3.3 Статистический анализ влияния мирового производства стали на выбросы парниковых газов.....	213
Глава 4 Методология комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России	235
4.1 Методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий на основе нечетких когнитивных карт	235
4.2 Методология комплексного экономического анализа стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса на основе сбалансированной системы показателей.....	263
4.3 Методика формирования статистических индексов для оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности	275
Глава 5 Статистический анализ и прогнозирование индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России	289
5.1 Статистический анализ частных обобщающих индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России	289
5.2 Реализация методики статистического анализа показателей стратегического потенциала с применением метода анализа главных компонент	310
5.3 Прогнозирование динамики индексов стратегического потенциала металлургических компаний России на основе сценарного анализа	318
Заключение	329
Список литературы	333
Приложения	372

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Современное развитие мировой и российской экономики характеризуется ускоряющимися процессами технологических изменений, усилением глобальной конкуренции и возрастающим вниманием к вопросам устойчивого развития. В этих условиях металлургическая промышленность как одна из базовых отраслей оказывает существенное влияние не только на экономический рост, но и на экологическую и социальную устойчивость национальной экономики.

Особую значимость в новых условиях приобретает развитие методологии комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической отрасли, который должен обеспечивать их способность к долгосрочному устойчивому развитию, адаптации к изменяющейся внешней среде и эффективному использованию внутренних ресурсов. В настоящее время существующие теоретические и методологические подходы к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала в основном ориентированы на анализ ресурсной обеспеченности и конкурентных преимуществ без должного учета факторов экологической ответственности, инновационной активности и интеграции в глобальные технологические и торговые цепочки. Недостаточная разработанность статистического инструментария затрудняет принятие сбалансированных управленческих решений. Важно создать методологию, которая интегрирует экономико-статистические модели и системы прогнозирования для эффективного анализа стратегического потенциала.

Сложившиеся вызовы, такие как необходимость декарбонизации производства, повышение энергоэффективности, диверсификация экспортных потоков, адаптация к геополитическим ограничениям, требуют пересмотра

существующей методологии комплексного экономического и статистического анализа металлургических предприятий.

Актуальность исследования также обусловлена тем, что традиционные методы комплексного экономического и статистического анализа оказываются недостаточными в условиях высокой степени неопределенности. Возникает необходимость в развитии методологии путем интеграции методов бэккастинга, когнитивного моделирования и сценарного прогнозирования для формирования долгосрочных стратегий развития металлургических предприятий на основе результатов комплексного экономического и статистического анализа.

Растущая роль металлургической промышленности в условиях изменяющейся глобальной структуры производства стали подчеркивает важность разработки комплексного подхода для повышения конкурентоспособности российских предприятий на мировом рынке. Решение этой задачи позволит сформировать количественную базу для принятия стратегических решений, адаптированных к условиям цифровизации и устойчивого развития.

Степень разработанности проблемы. Вопросам разработки концепции, выделения ее элементов, а также анализа и оценки стратегического потенциала предприятия посвящены работы зарубежных авторов (Р. Каплан, Д. Нортона) и отечественных исследователей: С.Б. Алексеева, Т. Анташкиева, Е. Арефьевой, Б.И. Артамонова, Л.Н. Булгаковой, А. Вальчина, Н.А. Васильевой, О. Вовк, И.А. Горина, О.В. Ивановой, Е.Ю. Ключевой, Н.В. Коноваловой, Д.В. Латышева, М.И. Лукиных, Б. Мазур, Я.Э. Нагаевой, П.А. Петрова, С. Пилецка, О. Фатеева, В.К. Цуцкарёва и др.

Применение методов статистического анализа, таких как тест причинности Грейнджера, широко используется для выявления взаимосвязей между переменными. В работах таких исследователей, как Л.Г. Гадий, Р.А. Григорьева, Е.Д. Джаохадзе, А.А. Золотарева, А.М. Киюцевская, М.П. Лазарева, Е.А. Леонтьева, А.Ю. Румянцева, О.Н. Салманова, Е.А. Федорова и др., рассмотрены методы выявления причинно-следственных связей, что является важным инструментом для анализа динамики и прогноза экономических

процессов. Иностранные исследования в этой области, в частности работы Х.Т. Ай, А.А. Бавдекар, Х. Вилмс, Дж. Гроппа, А.К. Джордана, Л.Г. Занона, Г. Капетаниоса, Л.К.Р. Карпинетти, М. Купелли, Л.Р. Лима, Т. Марвала, А. Монти, У.К. Мюллер, С. Прачьянгреча, Б.Р. Прусти, М.И. Субхани, Ч. Сяо, С. Шоултераа и др., дополняют и расширяют возможности использования методов Грейнджера в статистическом анализе.

Статистический метод анализа и прогнозирования временных рядов ARIMA был рассмотрен в работах таких российских ученых, как С.А. Айвазян, З.П. Айдынов, Г.Г. Канторович, В.В. Карасев, А.Д. Лебедева, Г.Г. Мингазова, В.С. Мхитарян, Н.С. Нуркашева, Ж.Г. Нурсултанова, А.В. Трегуб, И.В. Трегуб, Н.Д. Трифонова, Е.Ю. Шабанова и др., а также в зарубежных исследованиях, например, в работах Х. Албарра, М. Али, Р. Вольняка, Б.Гайджика, Р. Герры, Н. Деви, Р. Кусумавати, О. Максвелла, Т. Мали, Н. Мариати, А. Рахими, С. Рахманова, В. Романуке, Л. Сетиавати, С. Фатимы, Л. Чжана и др.

Работы таких ученых, как А.Л. Бобков, О.А. Доничев, Д.С. Неслухов, Р.В. Овсянникова, И.Н. Петрыкина, Е.И. Пискун, Ю.М. Протасов, М.И. Солосина, В.В. Хохлов, И.Н. Щепина, В.М. Юров и др., подтверждают эффективность использования кластерного анализа.

Метод анализа главных компонент (РСА) используется для отбора значимых факторов и формирования индексов, что позволяет существенно упростить анализ многомерных данных и улучшить качество принятия решений. В работах Е.О. Кузнецовой, Е.А. Макаровой, а также зарубежных исследователей, таких как Х. Абди, А.М. Абдулазиз, О. Дорабиал, И.Т. Джоллифф, П.Дж.Ф. Гроенен, М. Гринакр, К.Дж. Кадима, К.А. Камарго, Ю.Н.Куц, Х.Б.М. Салих, Л.Дж. Уильямс, Т. Хэсти и др., рассмотрены основные принципы и применения РСА. Этот метод широко применяется для формирования комплексных индексов, что нашло отражение в исследованиях таких ученых, как М. Афанасьев, Т.В. Жгун, А. Кудров, Д.Д. Лемешова, А.В. Липатов, К.К. Логинов, И.А. Макаров и др.

Методология, основанная на нечетких когнитивных картах, является важным инструментом комплексного экономического анализа для оценки и моделирования

сложных систем и процессов, которые невозможно описать с помощью стандартных количественных методов. Этот подход был рассмотрен в работах таких исследователей, как А.Н. Аверкин, Э.Р. Диваева, А.В. Заграновская, Е.Ш. Закиева, Е.А. Макарова, Е.В. Мелихова, М.А. Николаева, А.Ф. Оськин, Д.А. Оськин, Т.В. Плещенко, А.Ф. Рогачев, А.П. Ротштейн, А.С. Федулов, С.А. Ярушев и др., а также в работах зарубежных ученых, таких как М. Амели, И.Д. Апостолопулос, Э. Бахтавар, М. Валипур, Х.Г. Винд, М. Гликас, Л.Ф.Х. Дипак, С. Дун, Л.Г. Занон, Я. де Кок, Г. Ксирогианнис, Э. Папагеоргиу, Э.И. Папагеоргиу, И.П.С. Перейра, М. Титус, З. Цзя, Ю. Чжан, С. Юсефи, Д.К. Яковидис.

Кроме того, комплексный экономический анализ на основе сбалансированной системы показателей, рассматриваемой в работах Г.А. Бережной, Е.Г. Зиновьевой, А.С. Измайловой, А.М. Колмыкова, М.В. Кузнецовой, Г.А. Ледневой, А.В. Ловкой, В.М. Салганика, А.А. Тихоновой, Н.В. Шмелевой, Л.В. Юрьевой и др., а также зарубежных исследователей, таких как С. Бастос, Л. Ван, Р. Вила-Бильери, И.С. Глинская, И.С. Джарарах, С. Донг, С. Жессем, В. Зайкайте, З. Закария, Р.В. Калиничева, А. Костанин, Х. Коста Оливейра, Ф. Миде Филемоном, К. Мио, Х.С. Оливейра, С. Панфило, И. Перейрой, Ф. Пуйме-Гильеном, М. Рафиком, Т. Ро, С. Сон, Р. Сакалаускайте, Р. Силва, И. Соуза, Р. Фернандес-Гонсалесом, М. Феррер Эстевезом, Р. Чалметой, А. Че Азми, И. Шукутите, Ф. Янг, дает возможность комплексно оценить эффективность деятельности предприятий, фокусируясь на различных аспектах их функционирования.

Тем не менее, несмотря на наличие публикаций, посвященных проблеме комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала компаний, остается ряд недостаточно изученных аспектов применительно к анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, что делает актуальным исследование такой методологии.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка концептуально-методологического подхода к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, основанного на интеграции принципов устойчивого развития, применении методов анализа временных рядов, когнитивного моделирования и многомерной статистики, обеспечивающего комплексную оценку адаптивности предприятий к изменениям внешней среды и их ориентацию на достижение Целей устойчивого развития ООН.

Задачи исследования:

1. Обосновать выделение стратегического потенциала предприятий в качестве объекта комплексного экономического и статистического анализа.

2. Разработать концептуальную модель комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности.

3. Разработать научно обоснованный статистический подход к кластеризации стран – участников мирового рынка стали и железной руды на основе системы комплексных динамических показателей (объемы производства стали и добычи железной руды).

4. Разработать и апробировать методологический подход к статистическому анализу взаимосвязей между объемами мирового и российского производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами.

5. Разработать методику прогнозирования ключевых статистических показателей развития мировой и российской сталелитейной промышленности.

6. Разработать и апробировать интегративную методику комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности.

7. Предложить методологический подход к статистической оценке стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности с учетом экологических факторов.

8. Разработать и апробировать методику комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий и провести сценарный экономический анализ устойчивости развития в условиях экологических и институциональных трансформаций.

9. Разработать методологию комплексного экономического анализа предприятий металлургического комплекса на основе расширенной модели сбалансированной системы показателей (BSC), дополненной ESG-перспективой и подходом бэккастинга.

10. Предложить интегральную методику статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России на основе метода главных компонент (PCA) и выполнить сравнительный анализ и прогноз индексов стратегических потенциалов.

Объект исследования. Предприятия металлургической промышленности Российской Федерации, функционирующие в условиях трансформации глобального рынка стали, усиления экологических и институциональных требований, а также структурных изменений национальной экономики.

Предмет исследования. Методологические положения и инструментарий комплексного экономического и статистического анализа, мониторинга, оценки и прогнозирования стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности.

Гипотеза исследования. Стратегический потенциал предприятий металлургической промышленности России может быть объективно проанализирован, количественно оценен и спрогнозирован на основе интегрированного концептуально-методологического подхода, объединяющего принципы устойчивого развития, ESG-трансформации и современные инструменты комплексного экономического и статистического анализа, включая методы анализа временных рядов, когнитивного моделирования и многомерной статистики.

Теоретическая база исследования представлена научными трудами отечественных и зарубежных ученых, посвященных комплексному

экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятия, его компонентам, а также анализу стратегического потенциала предприятия с учетом концепции устойчивого развития.

Методологическую основу исследования составляют системный, комплексный и междисциплинарный подходы к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности в условиях глобальных экономических, институциональных и экологических трансформаций. Применяются методы анализа временных рядов (ARIMA), анализа главных компонент (PCA), кластеризации, регрессионного анализа и причинности Грейнджера, методы когнитивного моделирования и бэккастинга для анализа стратегического потенциала и его детерминант.

Информационная база исследования. Сборники и отчетные данные Всемирной ассоциации производителей стали (World Steel Association), Всемирного банка (World Bank), данные финансовой отчетности, корпоративные отчеты и отчеты об устойчивом развитии ведущих российских металлургических предприятий, данные размещенные на официальных международных и российских интернет-порталах, отраслевые аналитические обзоры и экспертные оценки развития металлургической отрасли, научные статьи, а также другие источники информации, которые относятся к тематике исследования.

Соответствие содержания диссертационного исследования паспорту научной специальности. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (бухгалтерский учет, аудит и экономическая статистика) в части п. 11.4 «Комплексный экономический и финансовый анализ хозяйственной деятельности. Оценка эффективности деятельности экономических субъектов», п. 11.5 «Мониторинг, анализ и оценка изменений бизнеса», п. 11.14 «Методология построения статистических показателей и систем показателей», п. 11.17 «Прикладные статистические исследования в экономике. Статистическая поддержка управленческих решений».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке концептуально-методологического подхода к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, основанного на интеграции принципов устойчивого развития, применении методов анализа временных рядов, когнитивного моделирования и многомерной статистики, обеспечивающего комплексную оценку адаптивности предприятий к изменениям внешней среды и их ориентацию на достижение Целей устойчивого развития ООН. Впервые стратегический потенциал осмысливается как статистически измеримая и многомерная категория, зависящая от комплекса внутренних и внешних факторов, включая ресурсную обеспеченность, макроэкономические условия и параметры устойчивого развития.

В рамках диссертационной работы получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Обосновано выделение стратегического потенциала предприятий в качестве объекта комплексного экономического и статистического анализа, что позволило сформировать теоретические подходы к построению концептуальной модели его исследования, учитывающей адаптивность предприятия к изменениям внешней среды (макроэкономическим, институциональным и экологическим), а также интеграцию показателей достижения Целей устойчивого развития ООН (ЦУР). В разработанной модели стратегический потенциал рассматривается как динамическая системная характеристика предприятия, отражающая его способность к гибкой адаптации и обеспечению долгосрочной устойчивости и конкурентоспособности. Разработана система универсальных и отраслевых статистических индикаторов, отражающих структуру стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса. Обоснована типология шести ключевых потенциалов – организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического, для которых определены частные показатели,

адаптированные к условиям управленческой отчетности и отраслевой специфики (п. 11.4, п. 11.17 Паспорта специальности 5.2.3).

2. Разработан научно обоснованный статистический подход к кластеризации стран – участников мирового рынка стали и железной руды, основанный на системе комплексных динамических показателей (объемы производства стали и добычи железной руды). С применением методов многомерной статистической кластеризации выделены пять устойчивых кластеров стран, отражающих межстрановую дифференциацию по масштабу и структуре металлургического производства: глобальный лидер, страны с выраженной сырьевой специализацией, крупные индустриальные производители, страны со значительными объемами добычи и производства, а также страны с ограниченным участием в мировом металлургическом производстве (п. 11.17 Паспорта специальности 5.2.3).

3. Разработан и апробирован методологический подход к статистическому анализу взаимосвязей между объемами мирового и российского производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами, основанный на выявлении причинно-следственных и лаговых зависимостей в динамике временных рядов. В рамках подхода установлена статистически значимая двусторонняя грейнджеровская причинность между объемом мирового производства стали и показателем валового накопления капитала (в процентах ВВП) на лаге 1, что позволяет интерпретировать динамику производства стали как опережающий индикатор инвестиционной активности на глобальном уровне. Выявлена направленность и лаговая структура взаимосвязей между производством стали и ключевыми макроэкономическими факторами, что расширяет представления о механизмах развития металлургической отрасли (п. 11.17 Паспорта специальности 5.2.3).

4. Предложена методика прогнозирования статистических ключевых показателей развития мировой и российской сталелитейной промышленности на основе системной адаптации моделей временных рядов ARIMA, учитывающая динамику объемов производства стали, цен на железную руду и внешнеторговых индикаторов. Разработанные статистические модели формируют систему

сценарных входных параметров для экономического анализа, обеспечивая количественную основу долгосрочного планирования в капиталоемких отраслях. Методика предусматривает дифференцированный выбор параметров модели в зависимости от характера временной динамики и адаптирована к условиям отраслевой волатильности, экономико-политических циклов и неопределенности внешней среды, что позволяет корректно моделировать временные зависимости и прогнозировать динамику ключевых экономических показателей сталелитейной отрасли. (п. 11.4, п. 11.17 Паспорта специальности 5.2.3).

5. Разработана и апробирована интегративная методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности, основанная на моделировании взаимосвязей шести ключевых концептов: ресурсной эффективности, экологической устойчивости, зеленых инноваций, декарбонизации, принципа «чистого нуля» и ESG-управления. Методика с использованием инструментария нечетких когнитивных карт (Fuzzy Cognitive Maps, FCM) обеспечивает реализацию сценарного подхода к экономическому анализу и прогнозированию динамики экологических показателей в условиях структурной трансформации отрасли (п. 11.4, п. 11.5 Паспорта специальности 5.2.3).

6. Предложен методологический подход к статистической оценке стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности с учетом экологических факторов, основанный на выявлении причинно-следственных и лаговых взаимосвязей между объемами производства стали и выбросами парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O), включая показатель углеродной интенсивности (CO_2 на 1 тонну стали). Установлена статистически значимая предсказательная связь между динамикой производства стали и выбросами CO_2 на лагах 1–5, что позволило обосновать включение экологических индикаторов в структуру оценки стратегического потенциала. Разработанная модель динамической регрессии с распределенными лагами расширяет инструментарий количественной оценки экологических последствий промышленного роста (п. 11.17 Паспорта специальности 5.2.3).

7. Разработана и апробирована методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий на основе инструментария нечетких когнитивных карт. Предложенная методика обеспечивает формализацию взаимосвязей между принципами оценки стратегического потенциала и реализацию сценарного экономического анализа устойчивости развития предприятий в условиях экологических, институциональных и технологических трансформаций. Введено и теоретически обосновано понятие сценарной чувствительности принципов оценки стратегического потенциала, характеризующее степень их изменчивости под воздействием факторов внешней среды. Использование данного понятия позволяет идентифицировать устойчивые и уязвимые элементы системы стратегического потенциала и повысить обоснованность сценарного анализа и управленческих решений (п. 11.4, п. 11.5 Паспорта специальности 5.2.3).

8. Разработана методология комплексного экономического анализа предприятий металлургического комплекса, основанная на расширенной модели сбалансированной системы показателей (BSC), дополненной ESG-перспективой и подходом бэккастинга. Предложена поэтапная система KPI-индикаторов и целевых ориентиров устойчивого развития, интегрированных в стратегическое и операционное планирование в условиях экологической трансформации. Методология обеспечивает обоснованное управление целевыми показателями с учетом требований циркулярной экономики и институциональных факторов (п. 11.4, п. 11.5 Паспорта специальности 5.2.3).

9. Предложена интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, основанная на применении метода анализа главных компонент (РСА) для агрегирования системы показателей шести ключевых потенциалов: организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического. На основе эмпирических данных за 2019–2023 гг. проведен сравнительный анализ и построен прогноз (2026–2030 гг.) интегральных индексов

стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности в условиях институциональных изменений и усиления экологических ограничений. Методика обеспечивает количественную диагностику структуры стратегического потенциала, а также идентификацию уязвимых и приоритетных элементов, требующих управленческого воздействия (п. 11.14 Паспорта специальности 5.2.3).

Теоретическая значимость результатов исследования. Теоретическая значимость результатов исследования заключается в разработке концептуально-методологического подхода к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности. Предложенный подход включает анализ экологических, экономических и институциональных факторов, что позволяет более глубоко понять динамику изменений в деятельности предприятий металлургической промышленности России.

Диссертационная работа направлена на развитие методологической базы комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала металлургических предприятий, учитывая влияние макроэкономических и экологических факторов. Это способствует расширению существующих представлений о взаимодействии между ресурсами и внешними факторами в условиях глобализации и трансформации экономических систем. Особое внимание в работе уделяется интеграции методов анализа главных компонент (РСА) и моделей временных рядов, что позволяет не только объективно проанализировать и оценить текущий потенциал, но и создать обоснованные прогнозы изменений в стратегических приоритетах отрасли.

Практическая значимость результатов исследования. Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что разработанная методология комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности позволяет:

- усовершенствовать систему мониторинга показателей стратегического потенциала предприятий, обеспечивая своевременность и точность

управленческих решений, необходимых для быстрой адаптации к изменениям внешней среды и повышения конкурентоспособности;

- повысить качество прогнозирования производственных объемов и эколого-экономических индикаторов, что улучшает долгосрочное стратегическое планирование и позволяет оценивать последствия различных сценариев развития отрасли;

- обеспечить обоснованность управленческих решений на различных уровнях – от региональных программ развития до корпоративных стратегий, что способствует повышению устойчивости и конкурентных позиций предприятий в условиях экономических и технологических изменений;

- усилить адаптивность предприятий к трансформирующимся условиям глобального рынка, включая ужесточение экологических стандартов и развитие инновационных технологий, что позволяет укрепить их позиции как на внутреннем, так и на международных рынках.

Разработанные в работе рекомендации и предложения представляют собой прикладные инструменты комплексного экономического и статистического анализа показателей стратегического потенциала. Предложения, изложенные в работе, внедрены в деятельность ООО «Димитровградский литейный завод», АО «АВТОВАЗ», ООО «Стантек», ООО «Инновационные кабельные технологии», АО «ФОСФОХИМ». Полученные в работе результаты были использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет».

Полученные в рамках диссертационной работы результаты имеют непосредственное отношение к решению ключевых задач государственных стратегий и программ, направленных на развитие металлургической промышленности, устойчивое экологическое развитие и повышение конкурентоспособности отрасли. Результаты работы обеспечивают научно-методическую основу для реализации приоритетных направлений отраслевого развития и могут быть использованы для совершенствования существующих и разработки новых подходов в государственной политике, включая Стратегию развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до

2030 года (распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 № 4260-р), Государственную программу «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 328), Стратегию развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года (приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839).

Апробация результатов исследования. Теоретические и практические положения диссертации были представлены и обсуждены на всероссийских и международных научно-практических конференциях: «Актуальные исследования и инновации в науке и технике» (Москва, 2025); «Современные вопросы устойчивого развития общества в эпоху трансформационных процессов» (Москва, 2025); «Глобальные научные тренды: междисциплинарные исследования (Саратов, 2025); «Smart cities and sustainable development of regions» (SMARTGREENS) (Екатеринбург, 2024); «Наука, общество, образование в эпоху цифровизации и глобальных изменений» (Пенза, 2024).

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 27 научных работ общим объемом 30,71 печ. л. (личный вклад – 15,21 печ. л.), в том числе 1 монография, 20 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК России, общим объемом 11,51 печ. л. (личный вклад – 11,51 печ. л.), 3 Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

Общий объем диссертации – 387 страниц машинописного текста, работа включает 149 таблиц, 83 рисунка и 6 приложений. Список литературы содержит 335 наименований на русском и иностранных языках.

Глава 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1 Концептуальные подходы к определению сущности стратегического потенциала предприятия как объекта комплексного экономического и статистического анализа

Предварительной процедурой перед определением концептуальных подходов к экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятия является библиографический поиск данного понятия в отечественной и зарубежной литературе. Проведенный библиографический поиск в базе данных OpenAlex по словосочетанию «strategic potential of the enterprise» выявил 7996 статей [1] (дата доступа 24.12.2024), которые были опубликованы за период с 1984–2024 гг. Проведенный библиографический анализ позволяет оценить степень научной разработанности понятия, выявить географию исследований и обосновать актуальность дальнейшей разработки концептуальных и методологических подходов. Распределение публикаций с термином «strategic potential of the enterprise» по страновому признаку показано на рисунке 1.1. Основными странами, в которых опубликованы данные работы, являются Украина (848 публикаций), США (553 публикации), Китай (383 публикации) и Российская Федерация (350 публикаций).

Большинство выбранных работ, посвященных стратегическому потенциалу, были опубликованы на английском языке (7745 работ), также работы были опубликованы на русском (143 работы) и на украинском (48 работ) языках. Таким

образом, анализ публикационной активности позволяет сделать вывод о доминировании англоязычного научного дискурса и высокой концентрации исследований в ряде стран.

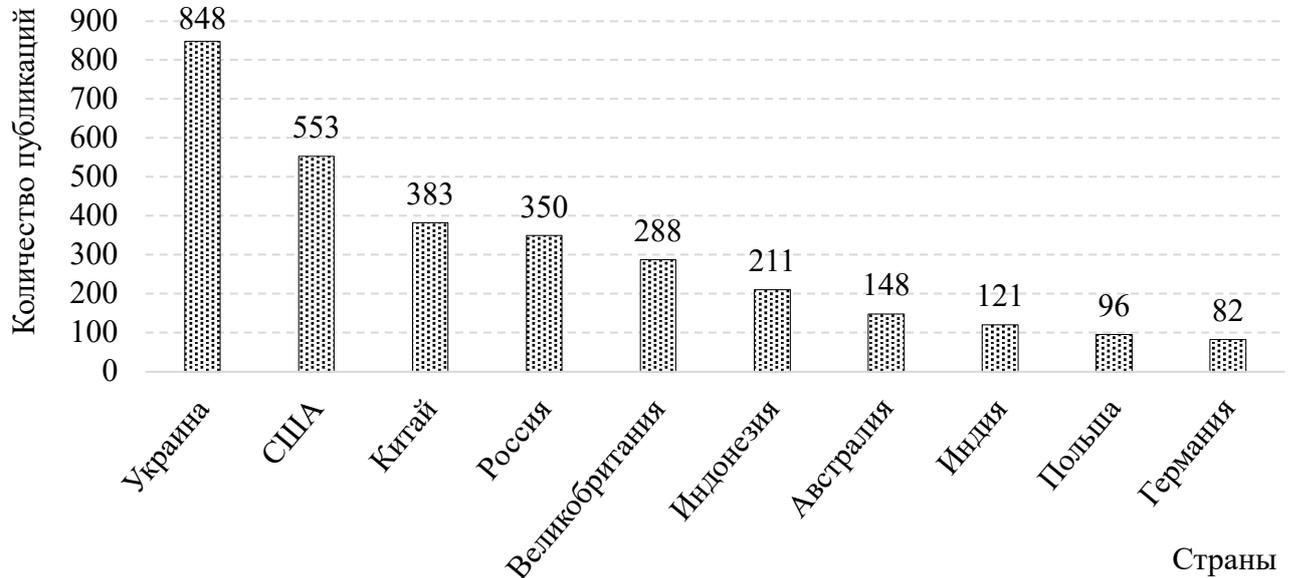


Рисунок 1.1 – Распределение публикаций с термином «strategic potential of the enterprise» по страновому признаку

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [1].

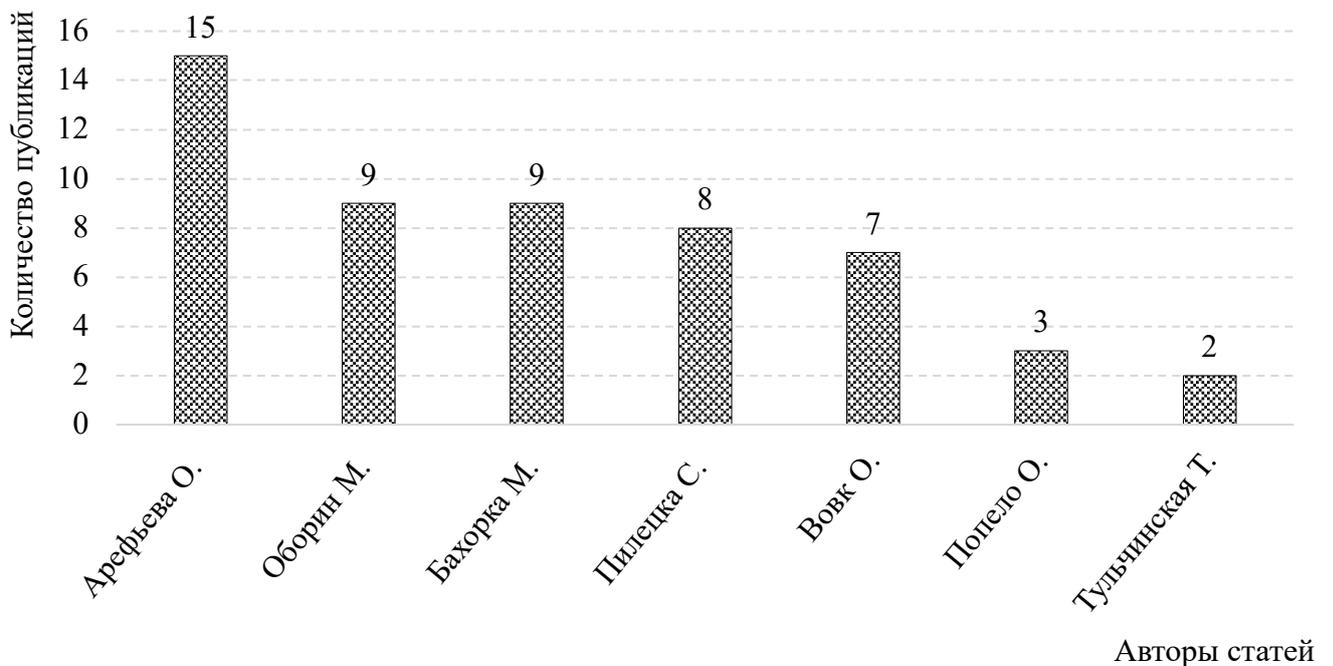


Рисунок 1.2 – Исследователи, имеющие наибольшее количество публикаций по теме, связанной со стратегическим потенциалом предприятия

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [1].

Наибольшее количество работ было опубликовано такими авторами, как О. Арефьева (15 работ), М. Оборин (9 работ), М. Бахорка (9 работ) и С. Пилецка (8 работ) (рисунок 1.2).

Как видно из рисунка 1.3, основными узлами сети связей ключевых публикаций по теме «strategic potential of the enterprise» являются три исследователя: О.В. Арефьева, О. Вовк и С.Т. Пилецка.

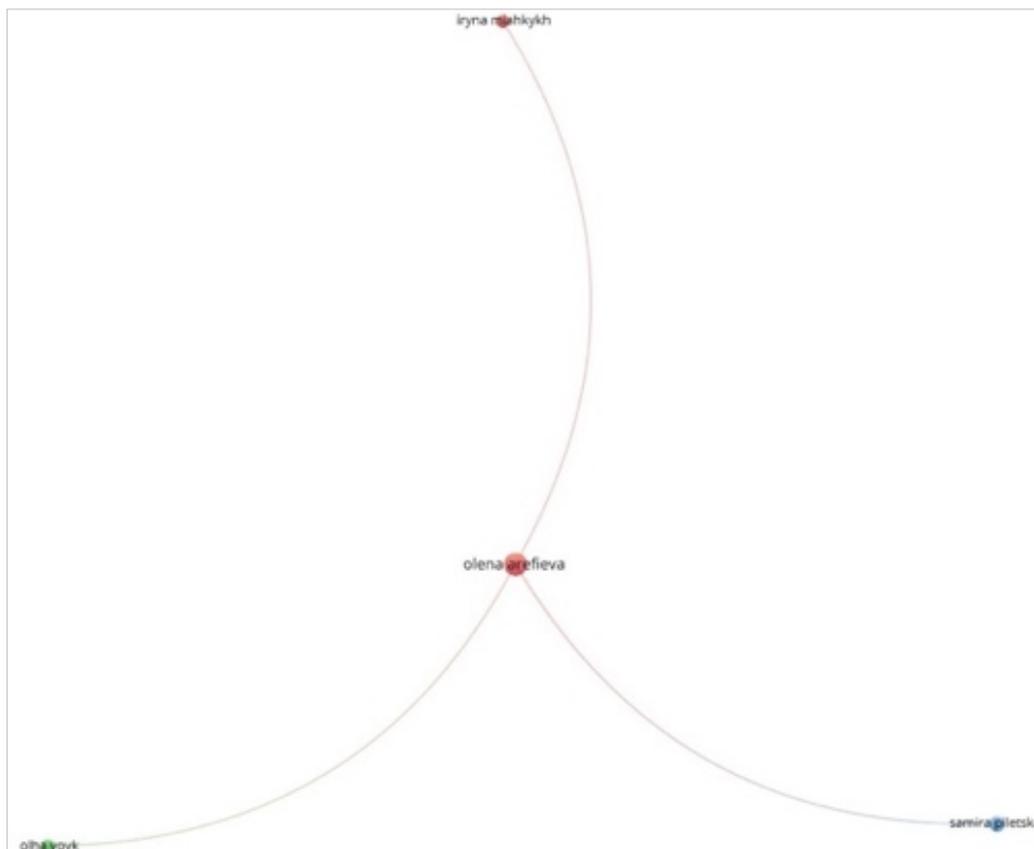


Рисунок 1.3 – Ключевые публикации по теме стратегический потенциал предприятия

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Проведенный кластерный анализ ключевых слов (рисунок 1.4), связанных с публикациями по теме «strategic potential of the enterprise», продемонстрировал, что данный показатель связан с ключевыми семантическими кластерами «Business» (Бизнес), «Computer science» (Информатика), «Economics» (Экономика), «Knowledge management» (Управление знаниями), «Industrial organization» (Промышленная организация), «Process management» (Управление процессами), которые включают в себя подразделы «Data analysis» (анализ данных), «Business

уровне отдельного экономического субъекта – конкретного предприятия (рисунок 1.5).

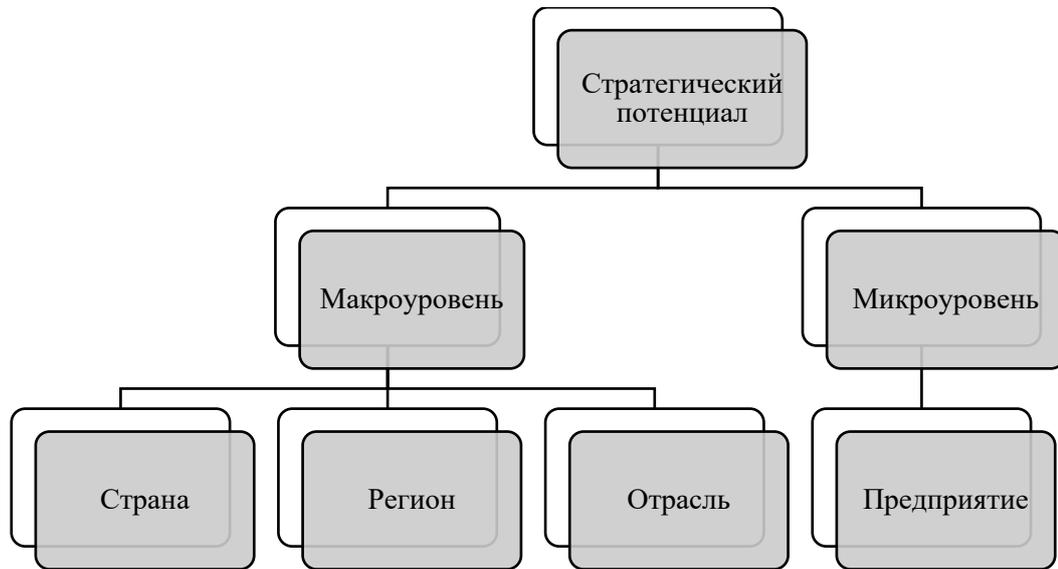


Рисунок 1.5 – Классификация понятий стратегического потенциала

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Рассмотрим различные теоретические подходы к формированию определения стратегического потенциала.

В ряде исследований стратегический потенциал рассматривается на макроуровне – в контексте национальной экономики. Так, В. Давтян и Н. Маргарян [2] трактуют его как результат межгосударственного взаимодействия, формирующего совокупные конкурентные возможности стран. В работах Т.С. Назаренко и И.В. Новиковой [3] стратегический потенциал национальной экономики связывается с программно-проектным управлением цифровой трансформацией и обеспечением цифровой зрелости ключевых отраслей.

На региональном уровне стратегический потенциал интерпретируется как интегративная характеристика социально-экономической системы. А.Л. Сабина и соавторы [4] рассматривают цифровую трансформацию региона как форму проявления его стратегического потенциала, используя методы экономического и статистического анализа. О.Н. Кострюкова [5] акцентирует внимание на комплексной оценке производственного и рыночного потенциала региона, а Г.С. Шелкоплясова и С.В. Исламова [6] связывают стратегический потенциал с

формированием динамической модели сбалансированного регионального развития.

Отраслевые исследования сосредоточены на специфике формирования стратегического потенциала в отдельных секторах экономики. В частности, А.Н. Кириллова [7] анализирует стратегический потенциал жилищно-коммунального хозяйства через призму модернизации и ресурсосбережения, Н.А. Баранова [8] – в агропромышленном комплексе, а Е.Л. Логинов и соавторы [9] – в региональных холдингах, подчеркивая необходимость комплексной оценки ресурсов и управленческих механизмов с использованием инструментов стратегического анализа.

Наибольшее количество исследований в области стратегического потенциала связано с хозяйственной деятельностью различных экономических субъектов – предприятий и организаций различных форм собственности.

О.В. Арефьева и др. рассматривают стратегические ресурсы как основу формирования экономического потенциала предприятия и обеспечения его развития [10].

О. Вовк и А. Дудик определяют стратегический потенциал как совокупность ресурсов, экономических возможностей, инновационных технологий и компетенций, обеспечивающих устойчивое функционирование организации [11].

В зарубежных исследованиях при анализе предприятия чаще используется категория динамических возможностей (*dynamic capabilities*), а не стратегического потенциала. Библиографический поиск в OpenAlex по запросу термина «*dynamic capabilities*» выявил 56 850 публикаций на тему динамические возможности в различных отраслях знаний [12]. Наибольшее число публикаций по данной тематике представлено на английском языке (56 292 публикации), значительно реже исследования опубликованы на русском и испанском языках (более 70 публикаций на каждом языке) (рисунок 1.6).

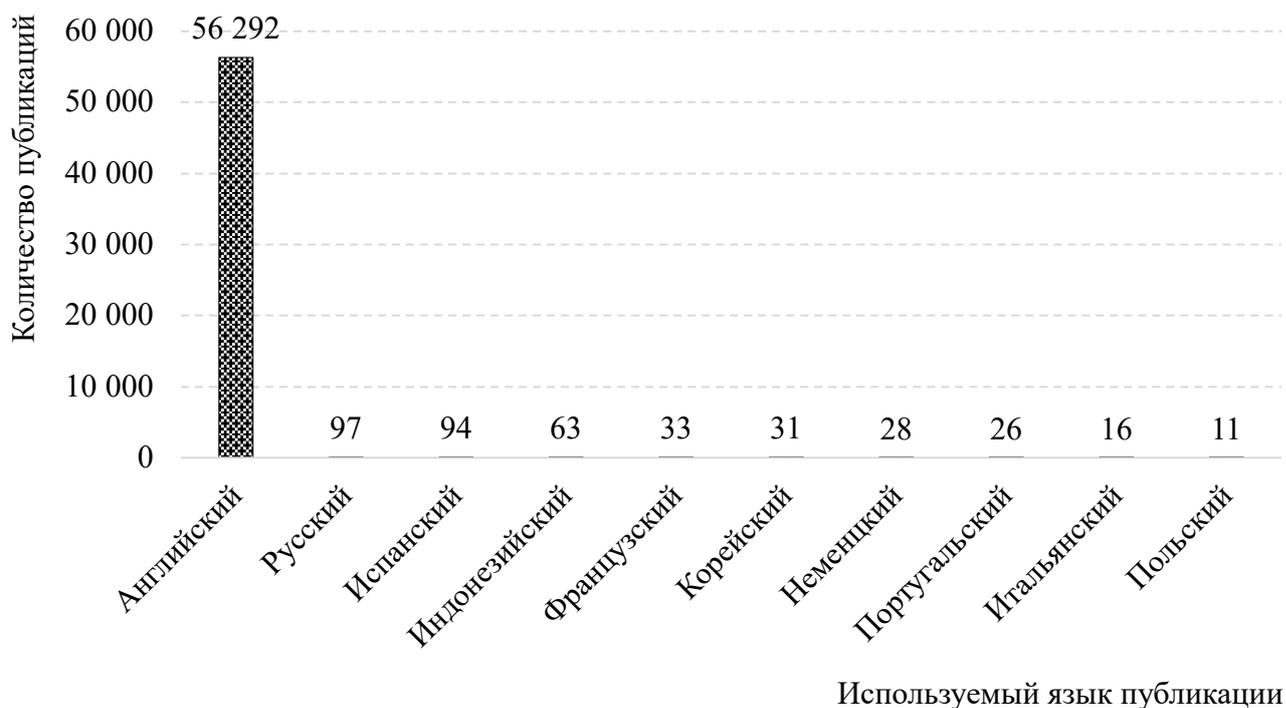


Рисунок 1.6 – Распределение публикаций с термином «dynamic capabilities» по языковому признаку

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [12].

Лидером по числу публикаций, связанных с термином «dynamic capabilities», являются США (13 551 публикация), далее идет Китай (6950 публикаций), а также Великобритания, Германия и Индия (рисунок 1.7).

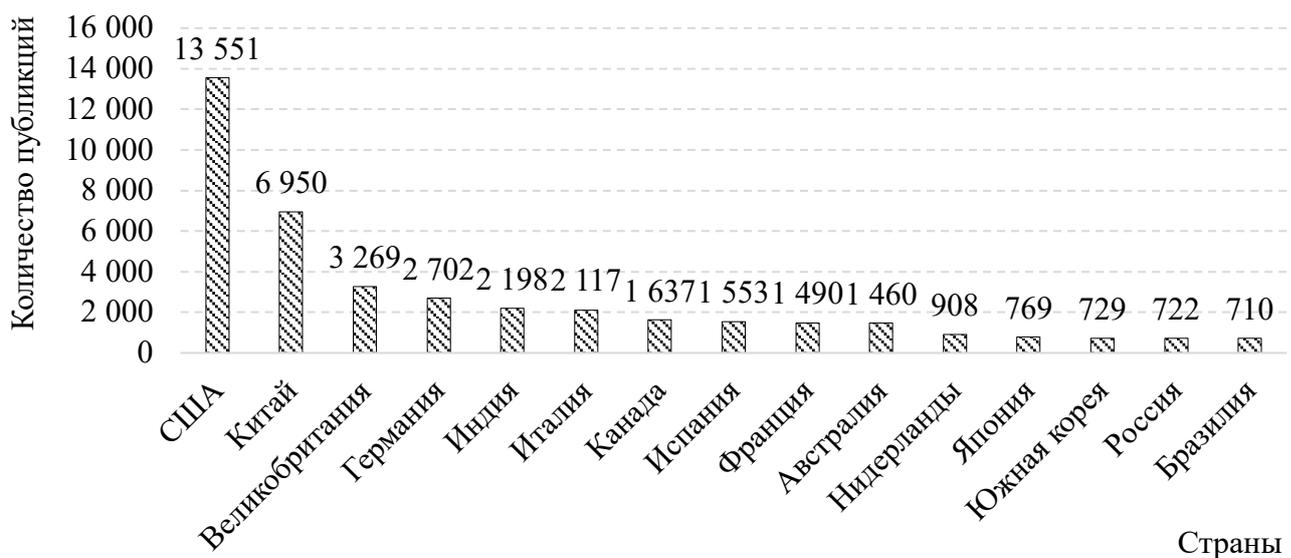


Рисунок 1.7 – Распределение публикаций с термином «dynamic capabilities» по страновому признаку

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [12].

Термин «dynamic capabilities» используется в различных отраслях научного знания. Наибольшее количество публикаций сосредоточено в области инноваций и управления знаниями (Innovation and Knowledge Management) – 2379 публикаций. Значительное число работ также относится к направлениям больших данных и бизнес-аналитики (Big Data and Business Intelligence), исследованиям предпринимательства (Entrepreneurship Studies), а также к тематике интернета вещей и периферийных вычислений (IoT and Edge/Fog Computing) и др. Отбор публикаций, связанных с экономикой и управлением предприятием, с использованием базы данных OpenAlex по запросу «dynamic capabilities» позволил сократить общее количество публикаций до 5097 [12].

Наибольшее число публикаций по данной тематике принадлежит Д.Дж. Тису – 38 публикаций, К.Э. Хелфат – 19 публикаций, З.П. Гудерган – 19 публикаций (рисунок 1.8).

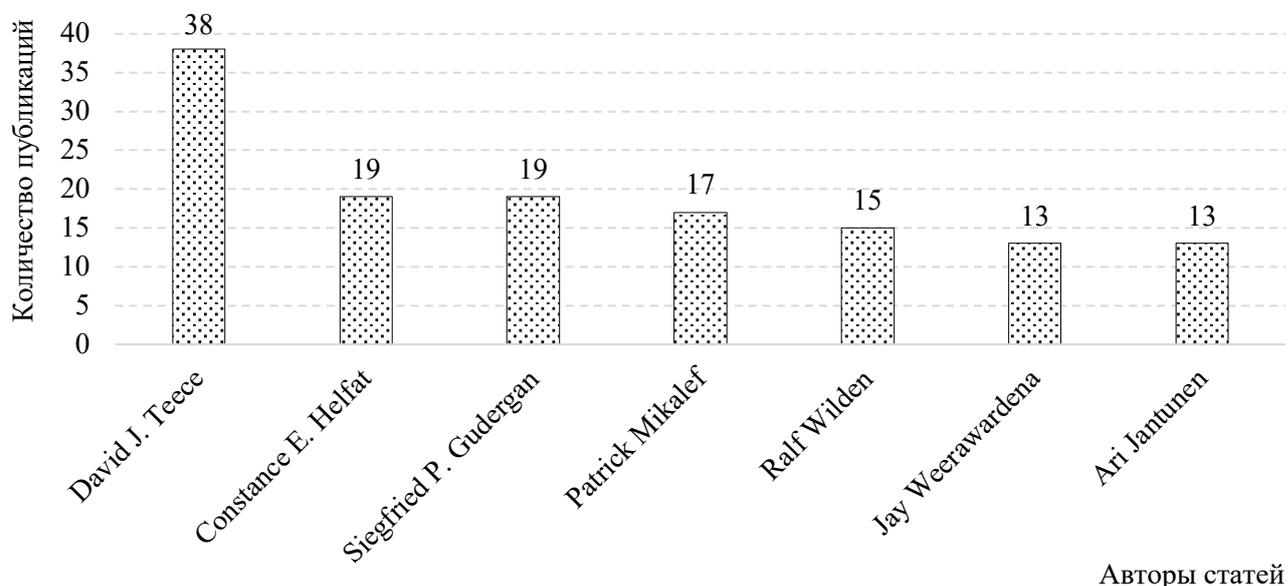


Рисунок 1.8 – Исследователи, имеющие наибольшее количество публикаций по теме, связанной с динамическими возможностями предприятия

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [12].

Визуализация связей ключевых публикаций по динамическим возможностям в области экономики, бизнеса и управления предприятием представлена на рисунке 1.9.

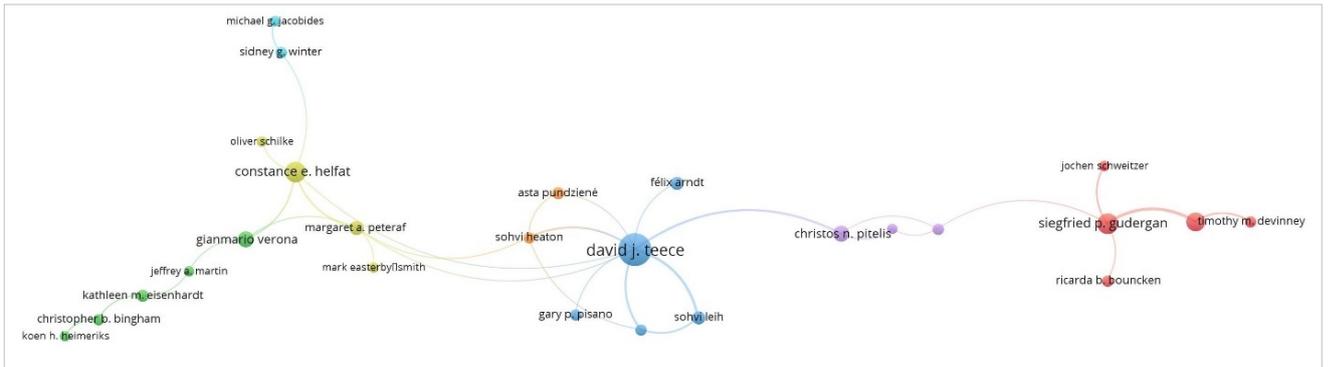


Рисунок 1.9 – Ключевые публикации по теме «dynamic capabilities»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Как видно из рисунка 1.9, десятью основными узлами сети связей ключевых публикаций стали три автора: Д. Тис, К. Хелфат и З. Гудерган.

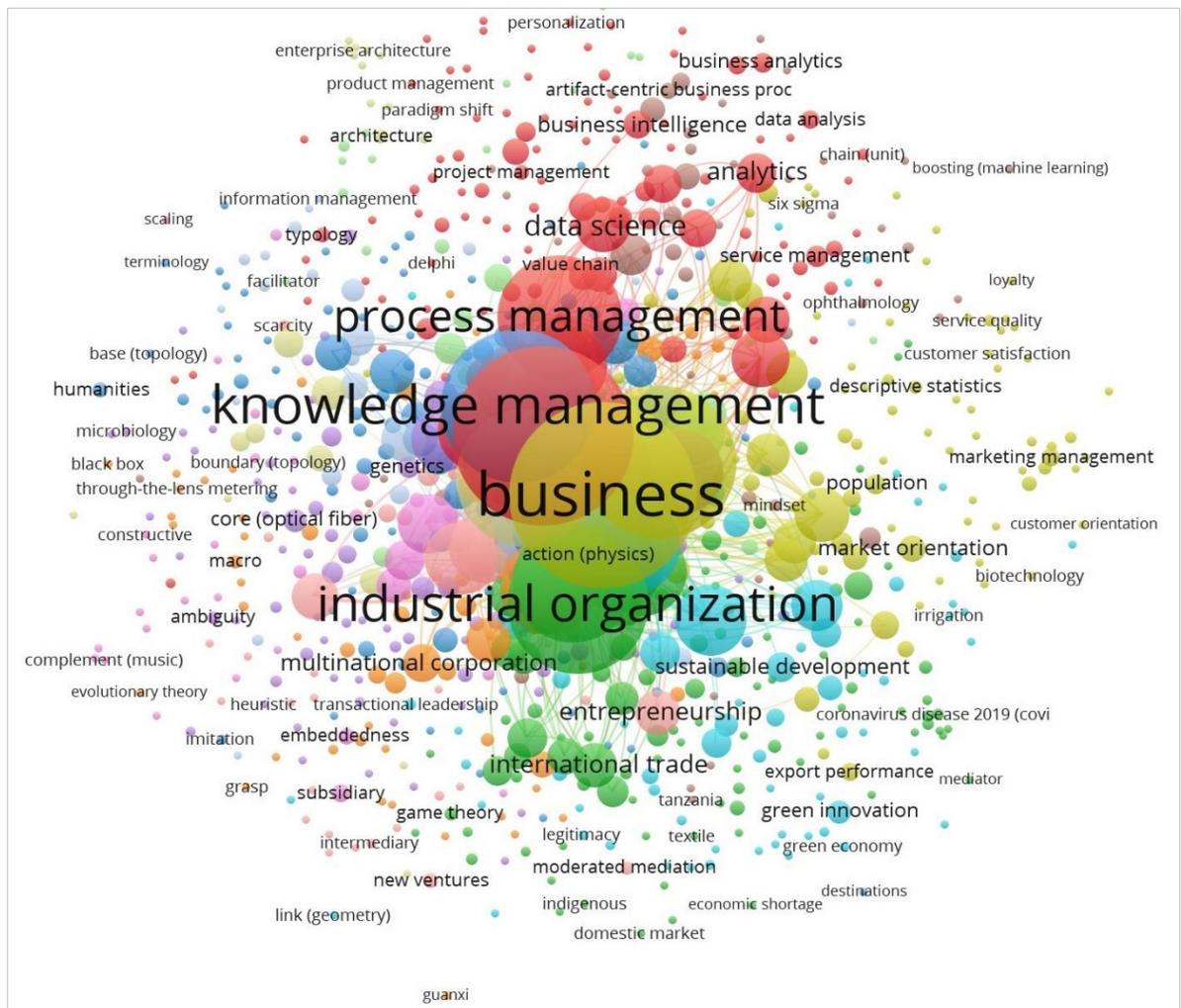


Рисунок 1.10 – Кластерный анализ ключевых слов, связанных с публикациями по теме «dynamic capabilities»

Примечание – Составлено автором на основании данных OpenAlex [12] и программного обеспечения VOSviewer.

Проведенный кластерный анализ ключевых слов (рисунок 1.10) показал, что термин «dynamic capabilities» связан с такими тематическими кластерами, как «Business» (бизнес), «Computer Science» (информатика), «Knowledge Management» (управление знаниями), «Industrial Organization» (промышленная организация), «Process Management» (управление процессами). Полученные результаты свидетельствуют о выраженном междисциплинарном характере исследований.

Сопоставление с кластерным анализом ключевых слов, связанных с публикациями по теме «стратегический потенциал предприятия», демонстрирует сходство тематических направлений, что подтверждает концептуальную близость и актуальность исследований в области как динамических возможностей, так и стратегического потенциала. По нашему мнению, стратегический потенциал является более широким понятием, включающим в себя динамические возможности предприятия (рисунок 1.11). Поэтому при оценке существующих подходов к формированию понятия стратегического потенциала необходимо проанализировать существующие работы зарубежных исследователей, посвященных динамическим возможностям организации.



Рисунок 1.11 – Составляющие стратегического потенциала организации

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Раскрытию стратегического потенциала через категорию динамических возможностей посвящены работы Д.Дж. Тиса [13], К.Э. Хелфат [14] и других представителей ресурсно-эволюционного направления. В рамках данного подхода динамические возможности рассматриваются как способность фирмы интегрировать, создавать и перестраивать внутренние и внешние компетенции в условиях быстро меняющейся среды. Особое внимание уделяется механизмам создания и присвоения стоимости (value creation and value capture), развитию трудноимитируемых компетенций и формированию устойчивых конкурентных преимуществ.

Эмпирические исследования подтверждают влияние динамических возможностей на результаты деятельности организаций [15]. При этом И. Баррето подчеркивает, что наличие динамических возможностей не гарантирует автоматического успеха, а отражает различный уровень способности фирм к систематическому решению стратегических задач [16].

Ряд исследований расширяет данную концепцию, связывая динамические возможности с эволюцией технологических изменений [17], организационными формами и отраслевыми сетями [18], а также маркетинговыми и международными аспектами деятельности предприятий [19]. В этих работах стратегический потенциал фактически трактуется как совокупность адаптивных и трансформационных способностей фирмы.

Таким образом, концепция динамических возможностей позволяет интерпретировать стратегический потенциал как интегративную способность организации к трансформации ресурсов в устойчивые конкурентные преимущества в условиях неопределенности.

В отечественных исследованиях стратегический потенциал также интерпретируется как управляемая динамическая категория, формируемая ресурсами, конкурентными преимуществами и механизмами стратегического сотрудничества [20, 21, 22]. При этом подчеркивается его связь с долгосрочной конкурентоспособностью, отраслевой модернизацией и социально-экологическими факторами развития.

В отечественных исследованиях стратегический потенциал преимущественно трактуется в рамках ресурсно-компетентного подхода. Н. Мисани связывает его формирование с механизмами стратегического сотрудничества и корпоративной социальной ответственности, подчеркивая роль уникальной рыночной позиции компании [23]. Е.Ю. Ключева и Я.Э. Нагаева [24] рассматривают стратегический потенциал через функциональную структуру предприятия, выделяя маркетинговую, производственную, инновационную, инвестиционную, кадровую и финансовую составляющие.

Ряд исследователей (Т. Анташкиева [25], Н.В. Коновалова [26], В.И. Квочкина и соавторы [27]) интерпретируют стратегический потенциал как трансформацию производственных факторов в трудноимитируемые стратегические ресурсы и компетенции, обеспечивающие конкурентные преимущества. В данных подходах акцент делается на взаимосвязи внутренних ресурсов и внешней среды, а также на инструментах финансового и стратегического управления.

Дополнительное развитие концепция получает в работах Б.В. Артамонова [28], Л.В. Марабаевой и И.А. Горина [29], А.Н. Романцова [30], Л.Н. Булгаковой и Д.А. Дурдыевой [31], где стратегический потенциал рассматривается как система взаимосвязанных компонентов – финансовых, производственных, интеллектуальных и управленческих, формирующих стратегический баланс предприятия.

Современные исследования (М.И. Лукиных [32], А.О. Меньшенина и Г.С. Мерзликина [33], Е.Н. Вутрова [34]) подчеркивают динамический характер стратегического потенциала и его способность к обновлению конкурентных преимуществ. Отдельное направление представлено работами, ориентированными на количественную оценку стратегического потенциала с использованием экономико-математического моделирования, методов финансового анализа и нечеткой логики (К.А. Коренная и соавторы [35], Б.Е. Одинцов [36]).

Отдельные работы акцентируют внимание на функциональных и отраслевых аспектах формирования стратегического потенциала. Так, Б. Мазур и А. Вальчина

[37] связывают его с устойчивым управлением человеческими ресурсами, подчеркивая роль кадровой политики в обеспечении долгосрочной конкурентоспособности. О.А. Романова и Д.В. Сиротин [38] рассматривают стратегический потенциал металлургии в контексте структурной политики и модернизации отрасли, используя методы сравнительного и статистического анализа. В исследованиях Дж. Мюллера [39] стратегический потенциал анализируется через призму внедрения технологий Индустрии 4.0 и трансформации производственных процессов.

Ресурсно-ориентированный подход получает дальнейшее развитие в работах В.В. Васильевой [40], [41], С.Б. Алексеева [42], С.В. Овсянникова [43], где стратегический потенциал трактуется как соответствие и достаточность материальных, человеческих и нематериальных ресурсов для реализации стратегии. При этом подчеркивается значение инструментов стратегического анализа, оценки конкурентных преимуществ и проактивного управления.

Исследования О.А. Москальковой и Е.В. Суминой [44] расширяют данную трактовку применительно к транснациональным корпорациям, включая в оценку стратегического потенциала качество реализации стратегии, социальную ориентированность и эффективность достижения стратегических целей.

Вопросы экологической конкурентоспособности как компонента стратегического потенциала рассматриваются в работе П. Тервонена [45], где акцент делается на роли экологической стратегии, организационного обучения и трансформации производственных систем в формировании устойчивых конкурентных преимуществ.

Ресурсно-ориентированная трактовка стратегического потенциала получает развитие в работах Е.Г. Жулиной [46], В.К. Цуцкарёва [47], Л.С. Ладонько и М.В. Ганжа [48], которые определяют его как интегрированную совокупность ресурсов, резервов и возможностей предприятия, обеспечивающих реализацию стратегии и долгосрочное развитие. При этом подчеркивается необходимость согласования ресурсной базы с управленческими механизмами и стратегическими целями.

Дополняя данный подход, О.В. Мартыненко [49] интерпретирует стратегический потенциал как способность организации предвидеть будущие возможности и вызовы и принимать проактивные управленческие решения. В этой логике стратегический потенциал рассматривается не только как наличие ресурсов, но и как способность к их стратегическому использованию в условиях неопределенности.

Таким образом, большинство современных исследований рассматривают стратегический потенциал как интегрированную систему ресурсных и функциональных характеристик, обеспечивающих реализацию стратегии и адаптацию предприятия к изменяющейся среде. Различия между подходами проявляются преимущественно в акцентировании отдельных факторов (кадровых, отраслевых, технологических), однако концептуальное ядро остается ресурсно-компетентностным.

Обобщая представленные подходы, стратегический потенциал можно определить как интегрированную систему функциональных возможностей организации, основанную на совокупности ресурсов, компетенций и конкурентных преимуществ, обеспечивающих достижение долгосрочных целей в условиях динамичной и конкурентной среды. При этом стратегический потенциал представляет не просто сумму всех активов, возможностей и преимуществ, но и эффективность их совместного взаимодействия в рамках различных функциональных областей деятельности – синергию и способность предприятия к адаптации к изменяющимся условиям внешней среды.

Ученые, исследующие стратегический потенциал, как правило, выделяют его основные компоненты (рисунок 1.12):

- ресурсы – базовые активы предприятия, отраженные в отчетности организации (материальные, финансовые, нематериальные активы), а также активы организации, которые сложно оценить в денежной форме, например, человеческие ресурсы, их квалификация и опыт, организационные знания;

- функциональные возможности – способности организации эффективно использовать ресурсы в различных сферах деятельности: операционной

эффективности, инновационного развития, маркетинга и продаж, организационного управления, финансового менеджмента. Эти возможности формируются на основе интеграции ресурсов в бизнес-процессы и управленческие практики;

- стратегические преимущества – уникальные характеристики организации, позволяющие ей занимать более выгодное положение на рынке по сравнению с конкурентами. К ним относятся конкурентные преимущества (превосходство в издержках, дифференциация, фокусирование) и стратегические преимущества, которые обеспечивают способность организации эффективно реализовывать долгосрочную стратегию в рамках сформированной миссии и набора стратегических целей.



Рисунок 1.12 – Компоненты стратегического потенциала

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Опираясь на исследования ученых, приведенных выше, можно сделать вывод, что стратегический потенциал определяет долгосрочную конкурентоспособность любой организации современной экономики. Наличие достаточного уровня стратегического потенциала предприятия позволяет эффективно осуществлять реализацию стратегических целей; обеспечивать удержание конкурентных позиций на рынке, генерацию инноваций и долгосрочную прибыль, успешно адаптироваться к быстроизменяющимся условиям внешней среды (рисунок 1.13).

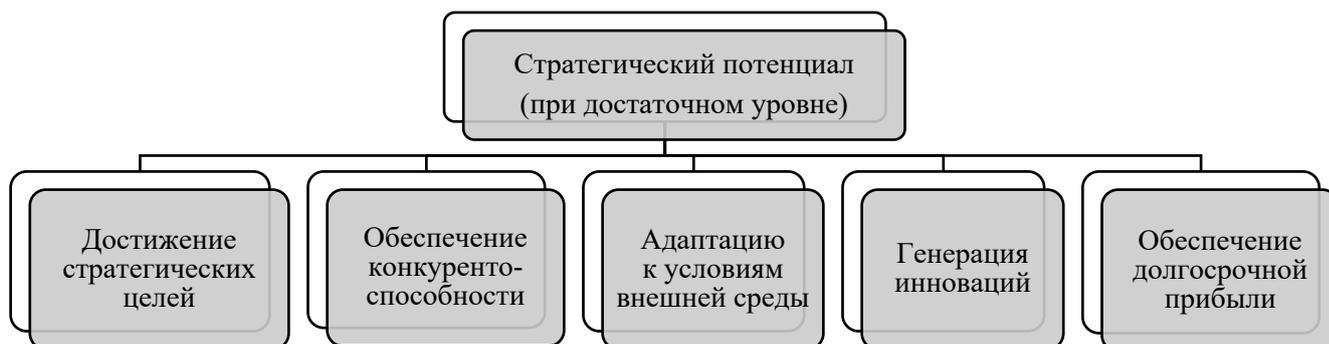


Рисунок 1.13 – Функции стратегического потенциала

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Рисунок 1.13 показывает, что одним из компонентов стратегического потенциала являются ресурсы. При этом существует большое количество видов ресурсов организации, например, финансовые, человеческие, нематериальные. Особым видом являются ресурсы, в той или иной степени связанные с природными ресурсами, например, сырье, которые могут быть как возобновляемыми, так и не возобновляемыми, например, нефть и газ. Рост мирового населения [50] сопровождается увеличением потребления природных ресурсов, используемых в производстве стали, электроэнергии, пластмасс и других видов продукции, что усиливает значение ресурсной составляющей стратегического потенциала предприятий. При этом количество ресурсов на планете Земля является конечным и сокращается по мере их вовлечения в хозяйственный процесс. В процессе хозяйственной деятельности человека также наносится ущерб биосфере планеты за счет выброса в экосистему вредных и ядовитых веществ. Исчерпаемость ресурсов и уникальность биосферы обуславливают необходимость бережного использования окружающей среды и рационального управления природными ресурсами. В 1983 году по инициативе ООН была создана Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию (WCED), известная как комиссия Брундтланд. В ее докладах была выражена серьезная обеспокоенность состоянием окружающей среды и масштабами использования природных ресурсов. Работа комиссии стала важным этапом в формировании глобальной повестки устойчивого развития и впоследствии послужила основой для разработки семнадцати Целей устойчивого

развития (Sustainable Development Goals, SDGs), направленных на обеспечение устойчивого развития к 2030 году [51].

С учетом изложенного автор предлагает рассматривать стратегический потенциал как объект комплексного экономического и статистического анализа. В данном исследовании стратегический потенциал определяется как совокупность ресурсов и возможностей предприятия, а также его внутренней и внешней адаптивности, которые во взаимосвязи обеспечивают способность организации эффективно достигать долгосрочных стратегических целей.

Стратегический потенциал включает как количественные, так и качественные параметры (социальные, институциональные, экологические), что предполагает применение методов комплексного экономического анализа для оценки текущего состояния ресурсной базы и методов статистического анализа для выявления тенденций, рисков и прогнозирования изменений во внешней среде.

Таким образом, стратегический потенциал является объектом комплексного экономического и статистического анализа, поскольку его оценка требует синергетического подхода, охватывающего экономические и статистические методы, что позволяет не только оценить текущее состояние, но и предсказать динамику изменений, учитывая внешние и внутренние факторы, такие, как макроэкономические и экологические условия, а также способность адаптироваться к изменениям.

Отсутствие единого стандарта оценки стратегического потенциала обуславливает необходимость разработки концептуально-методологического подхода к его анализу. Различные исследовательские модели могут приводить к несопоставимым результатам, что снижает объективность выводов. Формирование единой методологической базы позволит обеспечить воспроизводимость результатов, повысить точность прогнозирования и усилить аналитическую обоснованность стратегических управленческих решений.

В условиях современных глобальных вызовов и императивов устойчивого развития данная трактовка стратегического потенциала требует расширения. В парадигме устойчивого развития стратегический потенциал предприятия следует

рассматривать как интегрированную способность организации обеспечивать долгосрочную жизнеспособность и конкурентоспособность посредством сбалансированного управления экономическими, социальными и экологическими аспектами деятельности. Такой подход предполагает не только эффективное использование ресурсов и компетенций, но и способность организации создавать устойчивую ценность для всех заинтересованных сторон при минимизации негативного воздействия на окружающую среду и общество. Ключевым отличием данного подхода является признание взаимозависимости трех измерений устойчивости: экономическая стабильность не может быть достигнута за счет истощения природных ресурсов или социальной напряженности; экологическая ответственность становится источником конкурентных преимуществ и инновационного развития; социальная справедливость обеспечивает человеческий капитал и лояльность стейкхолдеров. В этой логике стратегический потенциал выступает инструментом достижения Целей устойчивого развития ООН и трансформации бизнес-моделей от краткосрочной максимизации прибыли к созданию долгосрочной комплексной ценности.

Сформировав на основе критического анализа существующих исследований авторское определение стратегического потенциала, целесообразно перейти к систематическому описанию его структурных компонентов, механизмов их взаимодействия и синергетических эффектов, возникающих в процессе интеграции функциональных потенциалов предприятия.

1.2 Структурные компоненты стратегического потенциала и их взаимосвязи

Определив концептуальные подходы к сущности стратегического потенциала предприятия, целесообразно перейти к анализу его структурных

компонентов и факторов, определяющих их формирование и взаимодействие. Следует подчеркнуть, что стратегический потенциал не является статической категорией. Его структура формируется под воздействием совокупности внутренних и внешних факторов, которые определяют состав компонентов, их относительную значимость и характер взаимосвязей между ними. В научной литературе отсутствует единый подход к классификации факторов формирования стратегического потенциала, что обуславливает необходимость их систематизации.

Формирование стратегического потенциала предприятия обусловлено воздействием комплекса внутренних и внешних факторов. Несмотря на отсутствие единого подхода к их классификации, анализ научных исследований позволяет выделить несколько устойчивых направлений.

Большинство исследователей рассматривают стратегический потенциал как результат взаимодействия внутренних и внешних факторов.

И. Баррето [16] подчеркивает, что внутренние факторы включают специфическую способность фирмы к систематическому решению проблем, тогда как внешняя среда может как способствовать реализации динамических способностей, так и ограничивать ее. Аналогичной позиции придерживаются М.В. и К.З. Склепович [52], В.К. Цуцкарёв [47], Н.В. Коновалова [26]. Д.В. Латышев [53], связывая формирование стратегического потенциала с совокупностью ресурсов, управленческих характеристик предприятия и условий внешней среды (политических, экономических, правовых и рыночных).

Ресурсно-ориентированная перспектива, представленная в работах Д. Тиса и соавторов [13], акцентирует внимание на внутренних технологических, организационных и управленческих процессах, а также на развитии трудноимитируемых компетенций как основы стратегического потенциала. Подобного подхода придерживаются также В.В. Васильева [40], Б.В. Артамонов [28], Л.В. Марабаева и И.А. Горин [29], подчеркивая значение ресурсной базы и управленческих решений.

Ряд исследований связывает стратегический потенциал с инновационной активностью и технологической динамикой. М. Мартинс и соавторы [17] рассматривают влияние технологической диффузии и организационного обучения, Дж. Мюллер [39] – зависимость стратегического потенциала от участия предприятий в процессах Индустрии 4.0.

О.А. Москалькова и Е.В. Сумина [44], С.Б. Алексеев [42] подчеркивают роль инновационного управления и государственной поддержки, тогда как О.А. Романова и Д.В. Сиротин [38] акцентируют влияние структурной политики, санкционных ограничений и трансформации отраслевых моделей развития.

Р. Майлз и С. Сноу [18] указывают на зависимость стратегических решений от восприятия менеджерами внешней среды и согласованности стратегии со структурой организации. Л.С. Ладонько и М.В. Ганжа [48], К.А. Коренная и соавторы [35] подчеркивают значение анализа информационных потоков и международной финансово-экономической динамики.

Социально-психологические и экологические факторы также рассматриваются как значимые элементы формирования стратегического потенциала. Б. Мазур и А. Вальчина [37], П. Тервонен [45], П. Ричнак и Х. Фидлерова [54] связывают стратегический потенциал с устойчивым развитием, требованиями заинтересованных сторон и экологической конкурентоспособностью.

Таким образом, формирование стратегического потенциала предприятия представляет собой многофакторный процесс, включающий внутренние ресурсные и управленческие характеристики, влияние внешней институциональной среды, инновационно-технологическую динамику, информационное обеспечение и социально-экологические условия. Несмотря на различия в акцентах, большинство исследователей признает системный характер данных факторов и необходимость их комплексного учета при разработке стратегических решений.

Обзор исследований, посвященных анализу факторов, влияющих на стратегический потенциал предприятия, позволяет сделать следующий вывод: формирование стратегического потенциала организации – это сложный процесс,

подверженный воздействию множества разнонаправленных факторов. Анализ существующих исследований демонстрирует отсутствие единого подхода к определению ключевых факторов, что обусловлено как сложностью самого понятия «стратегический потенциал», так и различиями в методологических подходах исследователей. При этом исследователи акцентируют внимание на различных аспектах, влияющих на стратегический потенциал, в зависимости от выбранной ими теоретической парадигмы.

Часть исследователей делает акцент на ресурсах организации. Другая группа исследователей в качестве факторов влияния указывает внутреннюю и внешнюю среду организации. Ряд исследований посвящен инновационной деятельности, включающей разработку новых продуктов и услуг, внедрение новых технологий и бизнес-моделей, создание новых рынков, что является ключевым фактором формирования стратегического потенциала. Также существенное внимание уделяется информационному фактору. Наконец, некоторые исследователи приходят к выводу, что стратегический потенциал формируется под влиянием комбинации различных факторов, включая ресурсы, среду, менеджмент, социальные аспекты, инновации и информацию. В этом случае акцент делается на синергетическом эффекте, возникающем при взаимодействии различных факторов, и на необходимости комплексного подхода к управлению стратегическим потенциалом, обеспечивающего устойчивое конкурентное преимущество и долгосрочное развитие организации.

По нашему мнению, ключевым фактором формирования стратегического потенциала является внешняя среда предприятия, определяющая условия его функционирования и создающая как ограничения, так и возможности для развития. К числу таких факторов относятся законодательство и отраслевое регулирование, финансовый рынок, конкуренты, поставщики и иные элементы деловой среды. Блок-схема влияния факторов представлена на рисунке 1.14.

Внешняя среда формирует «ландшафт», в котором осуществляют свою деятельность предприятия и организации. Успешные предприятия и организации не просто выживают в этом ландшафте, но и используют его особенности для

достижения своих стратегических целей. Следовательно, проведение тщательного анализа внешней среды и разработка эффективной адаптивной стратегии являются ключевыми факторами для укрепления стратегического потенциала компании.



Рисунок 1.14 – Факторы, влияющие на стратегический потенциал предприятия

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Важным фактором формирования стратегического потенциала выступают инновации, обеспечивающие долгосрочную конкурентоспособность предприятия. Отсутствие инновационной активности повышает риск утраты рыночных позиций. Современный мир характеризуется тем, что изменения в нем происходят с высокой скоростью. Это превращает информацию, получаемую из внутренней и внешней среды, из вспомогательного ресурса в стратегически значимый фактор, влияющий на потенциал организации.

Не менее значимым фактором является внутренняя среда предприятия, представляющая собой совокупность контролируемых ресурсов, процессов, культуры и компетенций. Именно внутренняя среда формирует основу стратегического потенциала и определяет способность организации разрабатывать и реализовывать эффективные стратегии.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что стратегический потенциал организации, определяющий ее способность к долгосрочному успеху и устойчивому развитию, формируется под совокупным воздействием внешней и внутренней среды, инноваций и информационных потоков.

На основании анализа теоретических подходов автор предлагает рассматривать стратегический потенциал как интегративную, динамически развивающуюся систему, представляющая собой совокупность всех доступных организации ресурсов, способностей, компетенций и конкурентных преимуществ, которые во взаимодействии с внешней и внутренней средой обеспечивают ее способность достигать долгосрочных стратегических целей, адаптироваться к изменениям, устойчиво развиваться и сохранять конкурентоспособность.

Определив факторы формирования стратегического потенциала, целесообразно перейти к анализу его структурных компонентов. При этом следует отметить, что в научной литературе отсутствует единый подход к их классификации. Вместе с тем анализ существующих исследований позволяет выявить устойчивые группы видов потенциалов, которые формируют его внутреннюю структуру. Несмотря на различия в терминологии и степени детализации, большинство авторов сходятся в том, что стратегический потенциал представляет собой совокупность взаимосвязанных видов потенциалов, отражающих различные аспекты функционирования и развития предприятия.

Базовым элементом структуры стратегического потенциала в большинстве исследований выступает ресурсный потенциал. П.А. Климова [21] относит к структурным компонентам ресурсы предприятия и информацию об их использовании, подчеркивая роль экономического субъекта, осуществляющего управление ими. Аналогичного подхода придерживаются Л.С. Ладонько и

М.В. Ганжа [48], которые выделяют сырьевые ресурсы, производственные мощности и финансовые средства как основу стратегического развития.

Б.В. Артамонов [28] включает в структуру материальные, технологические и финансовые ресурсы, дополняя их элементами адаптивности и эффективности управления. Е.Г. Жулина [46] рассматривает ресурсы и резервы, а также способность их эффективного использования как ключевые элементы стратегического потенциала. В работах А.Н. Романцова [30], Л.Н. Булгаковой и Д.А. Дурдыевой [31] ресурсная составляющая конкретизируется через производственный, инвестиционный и финансовый потенциалы.

Таким образом, ресурсный потенциал формирует фундамент стратегического потенциала, определяя исходные возможности предприятия для реализации стратегии.

Значительная группа исследователей выделяет производственно-технологический и инновационный потенциалы как самостоятельные структурные элементы. М. Мартинс и соавторы [17] подчеркивают значение организационного обучения, технологической динамики и развития инновационных компетенций в формировании способности предприятия адаптироваться к изменениям внешней среды.

С.Б. Алексеев [42] связывает структуру стратегического потенциала с инновационной функциональной стратегией, а О. Фатеева и соавторы [55] включают в нее производственные, финансовые и конкурентные элементы, обеспечивающие стратегическое развитие.

Л.Н.Булгакова и Д.А. Дурдыева [31] рассматривают инвестиционно-инновационный потенциал как важнейший компонент структуры, а П. Ричнак и Х. Фидлерова [54] подчеркивают влияние технологических изменений и контекста устойчивого развития на формирование стратегического потенциала.

Производственно-технологический и инновационный потенциалы отражают способность предприятия к модернизации, обновлению и внедрению новых решений.

Отдельное направление исследований связано с выделением управленческого и организационного потенциалов. В.К. Цуцкарёв [47] относит к структурным компонентам управление, финансы, технологии, производственные мощности, персонал и организационную культуру. Л.В. Марабаева и И.А. Горин [29] включают в структуру потенциал системы управления, организационную структуру и информационную поддержку.

С.Б. Алексеев [42] разграничивает объектный и субъектный компоненты стратегического потенциала, подчеркивая роль управленческих и организационных механизмов. Б.Е. Одинцов [36] рассматривает стратегический потенциал через призму иерархической базы знаний и системы стратегических показателей, обеспечивающих взаимосвязь стратегии и бюджетирования.

Исследования в области корпоративного управления (В. Уигрок, С.И. Пек и др. [56]) дополняют данный подход анализом структуры совета директоров и характеристик руководства как элементов стратегического потенциала.

Управленческий и организационный потенциалы обеспечивают координацию ресурсов и направленность их использования в соответствии со стратегическими целями.

Важным структурным элементом стратегического потенциала является интеллектуальный и кадровый потенциал. Т. Анташкиева [25] рассматривает уникальные ресурсы и ключевые компетенции как основу формирования стратегических ресурсов. М.И. Лукиных [32] связывает стратегический потенциал с сочетанием производственных и управленческих ресурсов и уровнем их развития.

С. Файзова и соавторы [57] выделяют управленческий, информационный и человеческий капитал как ключевые структурные элементы.

В рамках данного подхода стратегический потенциал определяется не только наличием ресурсов, но и способностью персонала использовать их для достижения устойчивых конкурентных преимуществ.

Часть исследователей включает в структуру стратегического потенциала элементы, отражающие взаимодействие предприятия с внешней средой. Н.А. Баранова [8] рассматривает рыночный потенциал наряду с ресурсным и

организационным. О.Н. Кострюкова [5] связывает структуру потенциала с достижением региональных целей развития.

Е.Г. Великая и В.В. Чурко [58] включают социальные и экологические факторы, а Е.Л. Логинов и соавторы [9] подчеркивают влияние институциональной среды и отраслевой инфраструктуры.

Рыночный и институциональный потенциалы отражают способность предприятия адаптироваться к условиям внешней среды и использовать ее возможности для укрепления стратегических позиций.

Анализ научных подходов позволяет заключить, что структурные компоненты стратегического потенциала предприятия могут быть систематизированы в виде совокупности взаимосвязанных видов потенциалов: ресурсного, производственно-технологического, инновационного, управленческого, интеллектуально-кадрового и рыночного. Различия в трактовках исследователей носят преимущественно детализирующий характер и связаны с акцентированием отдельных аспектов деятельности предприятия. В то же время концептуальное ядро структуры стратегического потенциала остается интегративным и базируется на сочетании ресурсов, компетенций и управленческих механизмов, обеспечивающих достижение стратегических целей.

Комплексный анализ предприятия предполагает не только качественную оценку, но и количественное измерение его возможностей и ограничений. Качественные методы позволяют выявить направления развития, однако без количественной верификации они дают статичное представление. Обобщая представленные подходы, можно сделать вывод, что стратегический потенциал представляет собой результат интегрированного и эффективного использования ряда потенциалов (рисунок 1.15), в число которых входят финансово-экономический потенциал, экологический потенциал, производственно-технологический потенциал, инвестиционно-инновационный потенциал, кадровый потенциал и организационно-управленческий потенциал.

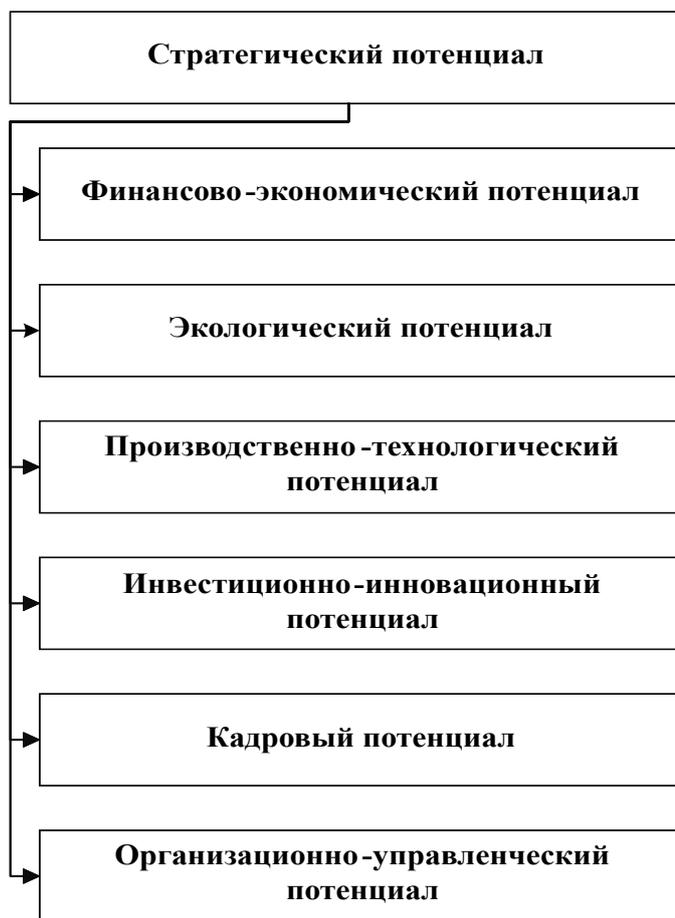


Рисунок 1.15 – Составляющие стратегического потенциала предприятия

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Финансово-экономический потенциал предприятия характеризует его способность эффективно использовать финансовые ресурсы, активы и экономические возможности для обеспечения устойчивой прибыльности, финансовой стабильности и долгосрочного развития. Данный потенциал отражает способность организации генерировать прибыль, управлять финансовыми рисками и создавать добавленную стоимость для собственников и иных заинтересованных сторон.

Экологический потенциал предприятия представляет собой интегральную характеристику способности организации минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Он предполагает соблюдение экологического законодательства, рациональное использование природных ресурсов, внедрение экологически безопасных технологий, а также разработку экологически ориентированных продуктов и производственных процессов.

Производственно-технологический потенциал определяет уровень конкурентоспособности продукции и услуг за счет эффективности производственных процессов, оптимизации затрат и повышения качества. Высокий уровень данного потенциала создает предпосылки для разработки новых продуктов и технологий, соответствующих требованиям рынка и тенденциям отраслевого развития.

Инвестиционно-инновационный потенциал характеризует способность предприятия привлекать инвестиционные ресурсы, инициировать и внедрять инновации, а также обеспечивать коммерциализацию новых продуктов, услуг и технологий. Он отражает готовность организации к технологическому обновлению и стратегической трансформации.

Кадровый потенциал представляет собой совокупность количественных и качественных характеристик трудовых ресурсов организации, включая уровень квалификации, профессиональные навыки, опыт, мотивацию и инновационную активность персонала. Данный потенциал является одним из ключевых факторов долгосрочной конкурентоспособности и устойчивости бизнеса.

Организационно-управленческий потенциал отражает способность предприятия эффективно структурировать деятельность, координировать использование ресурсов, управлять бизнес-процессами и адаптироваться к изменениям внешней среды. Он обеспечивает принятие обоснованных управленческих решений и реализацию стратегических целей.

Таким образом, стратегический потенциал предприятия носит комплексный характер и формируется на основе взаимодействия указанных видов потенциалов. Их изолированная оценка не позволяет получить целостное представление о стратегических возможностях предприятия, поскольку именно их синергетическое взаимодействие определяет уровень устойчивости и конкурентоспособности.

Использование статистических методов обеспечивает переход от описательного анализа к объективной оценке состояния и перспектив развития предприятия, что особенно важно в условиях высокой неопределенности внешней среды.

Комплексный экономический и статистический анализ – это необходимый элемент оценки стратегического потенциала предприятия, поскольку он превращает качественное представление в количественную, измеримую базу; дает возможность видеть динамику и прогнозировать будущее; снижает субъективность и неопределенность при принятии решений; дает основание для сравнения, оценки альтернатив и выбора стратегии, которая реально соответствует внутренним возможностям и внешним условиям.

1.3 Теоретические подходы к построению концептуальной модели комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятия

Настоящий раздел диссертации, являющийся одним из ее ключевых результатов, частично опубликован в рецензируемых научных изданиях в соответствии с пунктом 11 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, ред. от 18.03.2023 «О порядке присуждения ученых степеней») в статьях: «Концептуально-методологические подходы к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности», «Методика формирования индексов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности», «Эволюция метода бэккастинга: семантический кластерный анализ и его роль в устойчивом развитии промышленности» [59, 60, 61].

Оценка стратегического потенциала организации предполагает использование совокупности количественных и качественных показателей, позволяющих осуществлять комплексный экономический и статистический анализ

различных аспектов его формирования и развития. Показатели могут группироваться по различным критериям, формируя методические подходы, обеспечивающие системность, сопоставимость и эмпирическую верифицируемость результатов.

В научной литературе можно выделить несколько основных направлений оценки стратегического потенциала.

Наиболее распространенным является интегральный подход, предполагающий агрегирование системы частных показателей в обобщающий индекс.

Так, Г.С. Мерзликина и Л.С. Шаховская [62] предлагают рассчитывать стратегический потенциал как агрегированную сумму рыночного, производственного и финансового потенциалов. П.А. Петров [63] разрабатывает модель оценки на основе функции желательности и иерархической структуры показателей. О. Фатеева и соавторы [55] формируют интегральный показатель на основе финансовых и производственных коэффициентов (ликвидности, рентабельности активов и др.). Е.А. Яблочкина [64] предлагает комплексную интегральную оценку, включающую имущественный, инновационный, интеллектуальный, финансовый и маркетинговый потенциалы.

Аналогичный подход используется Е.Л. Логиновым и соавторами [9], которые агрегируют финансовые и нефинансовые показатели в интегральную оценку на основе балльной шкалы. Т. Гринько и соавторы [65] формируют обобщающий показатель финансового потенциала на основе поэтапной оценки частных индикаторов. Данные методы обеспечивают наглядность и сравнительную оценку, однако во многом зависят от субъективного выбора весовых коэффициентов.

Вторая группа методов основана на выявлении латентных факторов, формирующих структуру стратегического потенциала.

А.И. Бородин [66] предложил экономико-математическую модель оценки реализованной и нереализованной части потенциала. Н.А. Васильева [67] рекомендует использование кластерного анализа, факторного анализа и

имитационного моделирования. П.П. Башелутсков [68] предлагает факторный анализ с выделением человеческого, технического, институционального и иных факторов.

Особое место в данной группе занимает метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). Его применение позволяет: снизить размерность многомерных данных; устранить проблему мультиколлинеарности; выявить скрытые факторы, формирующие стратегический потенциал; сформировать интегральные индексы на основе объективных статистических критериев. Ф. Геверс и соавторы [69] отмечают широкое применение PCA в экономических исследованиях, а Ю. Тан и С. Альдулайми [70] подчеркивают его эффективность при выделении ключевых финансовых факторов. В отличие от традиционных интегральных методов, PCA обеспечивает статистически обоснованное определение весов показателей, что снижает субъективность оценки.

Третье направление связано с оценкой стратегического потенциала через призму уникальности ресурсов и компетенций.

Д.В. Валько [71] и Е.В. Лагунова [72] предлагают адаптированный VRIO-анализ. Р. Каплан и Д. Нортон [73] в рамках концепции Balanced Scorecard рассматривают стратегический потенциал через финансовую, клиентскую, процессную и обучающую перспективы. С.А. Кузнецова и В.Д. Маркова [74] определяют стратегический потенциал как совокупность материальных и нематериальных ресурсов.

Данные подходы ориентированы на стратегическую интерпретацию, однако ограничены в части количественной формализации.

Ряд исследователей предлагают пошаговые алгоритмы оценки стратегического потенциала.

А.Г. Плеханов [75] формирует последовательную процедуру оценки строительных организаций. М.В. Карпова и соавторы [76] объединяют бухгалтерский анализ, SWOT, PESTEL и матрицу БКГ. О.В. Иванова [77] оценивает потенциал как сумму производственного, финансового, рыночного и кадрового компонентов.

Анализ представленных в научной литературе методических подходов к оценке стратегического потенциала позволяет систематизировать их в несколько укрупненных групп.

Во-первых, интегральные (индексные) подходы, основанные на агрегировании системы частных показателей в обобщающий интегральный индикатор. Данные подходы предполагают нормирование показателей, определение весовых коэффициентов и расчет совокупного индекса стратегического потенциала.

Во-вторых, факторные и экономико-математические методы, ориентированные на выявление латентных факторов, определяющих структуру стратегического потенциала. К ним относятся методы факторного анализа, анализ главных компонент (РСА), регрессионные и экономико-математические модели.

В-третьих, ресурсно-ориентированные подходы, базирующиеся на концепции уникальности ресурсов и компетенций (VRIO-анализ, компетентностные модели), в которых стратегический потенциал определяется через способность организации создавать устойчивые конкурентные преимущества.

В-четвертых, стратегические матричные и качественные методы (SWOT, PESTEL, Balanced Scorecard), направленные на интерпретацию стратегического положения организации, однако не обеспечивающие достаточной степени количественной формализации.

Таким образом, существующие подходы демонстрируют фрагментарность и методологическую неоднородность. Это обуславливает необходимость разработки интегративной концептуальной модели комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятия.

При этом большинство существующих методик либо опирается на субъективное определение весов показателей, либо носит преимущественно качественный характер.

В этой связи в качестве количественного статистического инструмента оценки стратегического потенциала предприятия целесообразно рассматривать

метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). Данный метод используется для снижения размерности многомерных данных при сохранении максимально возможного объема объясняемой информации. Применение PCA при оценке стратегического потенциала позволяет выявить латентные факторы, формирующие структуру потенциала; сократить число коррелирующих показателей; определить наиболее значимые переменные, влияющие на стратегическое развитие предприятия и сформировать интегральные индексы на основе объективных статистических критериев.

Помимо оценки текущего уровня стратегического потенциала, особую значимость приобретает прогнозирование его динамики. В условиях высокой неопределенности внешней среды традиционные методы экстраполяции прогнозирования оказываются недостаточными. В этой связи целесообразно использование метода бэккастинга (backcasting), ориентированного на формирование нормативно заданного образа будущего и определение последовательности шагов, необходимых для его достижения.

В отличие от форкастинга, основанного на продолжении существующих тенденций, бэккастинг предполагает движение от целевого состояния системы к текущему моменту. Такой подход позволяет не только прогнозировать, но и конструировать желаемую траекторию развития. Как отмечает К. Дреборг метод особенно эффективен при решении долгосрочных задач, характеризующихся высокой степенью неопределенности [78].

В современных исследованиях бэккастинг широко применяется в контексте устойчивого развития [79], что подтверждается трансформацией понятийного поля данного метода в сторону экологических и ресурсных аспектов, выявленной автором в его работе «Эволюция метода бэккастинга: семантический кластерный анализ и его роль в устойчивом развитии промышленности» [61]. Бэккастинг представляет собой разновидность сценарной методологии стратегического планирования, ориентированной на достижение нормативно заданных целей, находящихся в отдаленной временной перспективе [80].

Для предприятий металлургического комплекса метод бэккастинга может использоваться в случае, если определены целевые структурные показатели стратегического потенциала, подлежащие достижению в заданный период. При наличии четко сформулированных стратегических ориентиров и целевых индикаторов осуществляется движение «в обратном направлении» – от желаемого состояния к текущему, с определением стратегических программ и мероприятий, необходимых для достижения поставленных целей.

Бэккастинг тесно связан со сценарным планированием на различных стадиях жизненного цикла организации. Он позволяет интегрировать долгосрочное видение с текущими управленческими решениями и формировать механизм достижения целей устойчивого развития. Применение метода обеспечивает согласование стратегических инициатив с ключевыми показателями эффективности (KPI) предприятия и снижает риск стратегической несогласованности.

Таким образом, бэккастинг как инструмент стратегического планирования и прогнозирования целесообразно использовать для достижения долгосрочных целевых показателей стратегического потенциала предприятий металлургической отрасли. Учет ретроспективных данных и анализа допущенных ошибок позволяет повысить реалистичность стратегических планов и адаптивность предприятий к изменениям внешней среды.

В научной литературе представлены различные модификации метода бэккастинга. Подход Робинсона [81] основан на формировании нормативного образа будущего и его последующей декомпозиции. Метод The Natural Step (К.-Х. Роберт [82]) ориентирован на экологическую устойчивость и интеграцию принципов устойчивого развития в стратегию организации.

Методика Systematic Technology Design (STD), разработанная П. Верграгтом и Л. Янсенем [83], а также дополненная Л. Кампом и соавторами [84], представляет собой системный инженерный подход к разработке технологических решений с учетом технических, экономических, социальных и экологических факторов. Сравнительный анализ указанных подходов показывает, что каждый из них

обладает определенными преимуществами и ограничениями. В условиях промышленного предприятия целесообразно комбинирование инструментов стратегического видения, экологической ориентации и технологической модернизации с учетом отраслевой специфики.

При комплексном планировании необходимо комбинировать различные подходы к бэккастингу, чтобы учесть различные аспекты, которые включают в себя: видение, вопросы устойчивого развития, возможные технологические инновации, человеческий фактор и управленческие реалии.

Применение методики бэккастинга к предприятиям металлургического комплекса помогает разработать и внедрить технологические решения, учитывающие множество аспектов, включая технические, экономические, социальные и экологические факторы. Этот подход способствует созданию инновационных и устойчивых технологических процессов и систем на металлургических предприятиях.

Таким образом, бэккастинг выступает инструментом целенаправленного формирования стратегического потенциала, обеспечивая согласование долгосрочных ориентиров с текущими управленческими решениями.

Определив роль бэккастинга в формировании стратегического потенциала, необходимо подчеркнуть значимость статистического анализа как инструмента его объективной оценки. Исследование, проведенное Брайном Дж. Галли, посвященное использованию инструментов статистического анализа для эффективного планирования и реализации стратегического плана организации, позволяет сделать вывод о том, что анализ и управление данными являются ценными активами для любой организации. Кроме того, основываясь на исследованиях Дж.М. Брайсона, О. Звикаэль и Дж. Смирк, Р. Сюэ, К. Барон и П. Эстебан [85, 86, 87], а также других исследователей, Дж. Галли делает вывод о том, что в эпоху больших данных навыки в области машинного обучения, аналитики и статистики являются источником важного конкурентного преимущества. Также Дж. Галли подчеркивает, что инструменты статистического анализа выходят на первый план только в том случае, если организация

сталкивается с кризисом и нуждается в анализе данных для диагностики проблемы. Результатом исследования стал вывод о том, что применение статистического анализа улучшает процесс планирования и приводит к лучшим результатам чем просто планирование, которое не основывается на экономическом и статистическом анализе [88].

Таким образом, методы комплексного экономического и статистического анализа должны применяться для оценки стратегического потенциала организации, а сам стратегический потенциал должен стать объектом экономического и статистического анализа. Дж. Галли провел систематический анализ используемых методов статистического анализа в научных исследованиях, посвященных стратегическому анализу и планированию [88], обобщенные результаты которого показаны на рисунке 1.16.

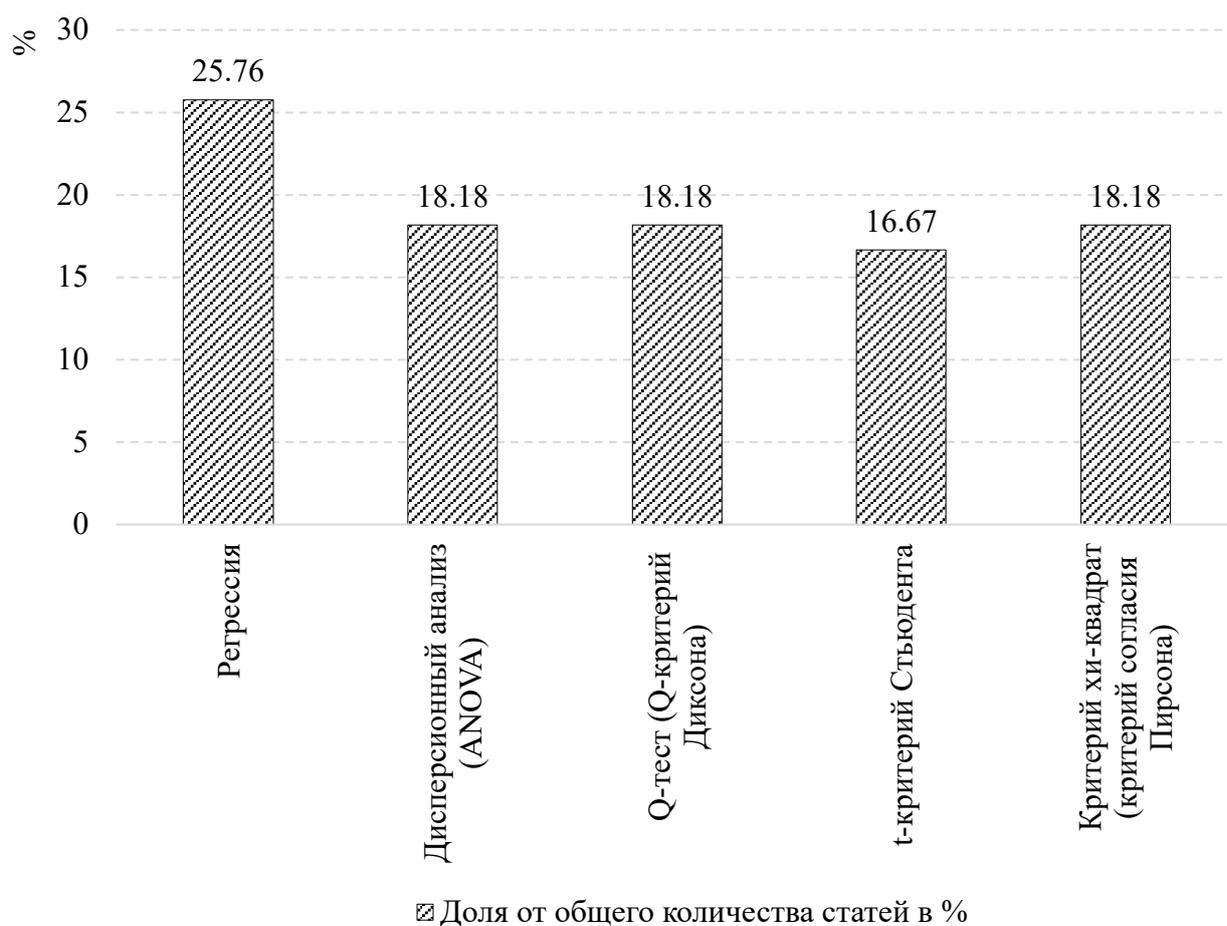


Рисунок 1.16 – Результаты систематического анализа используемых статистических методов в исследованиях, посвященных стратегическому анализу и планированию

Примечание – Составлено автором на основе исследования Дж. Галли [88].

Данные, представленные на рисунке 1.16, свидетельствуют о том, что в научных исследованиях, посвященных стратегическому планированию и анализу, используется широкий спектр статистических методов. При этом большинство методов применяются с сопоставимой частотой, за исключением регрессионного анализа, доля которого превышает 25%. Это подтверждает доминирование количественных методов в стратегических исследованиях.

Экстраполяция данных выводов на категорию стратегического потенциала позволяет утверждать, что указанные статистические методы могут применяться как для оценки стратегического потенциала в целом, так и для анализа его отдельных структурных компонентов. Данный вывод подтверждается результатами систематического анализа, проведенного Дж. Галли [88], посвященного количеству факторов, выступающих объектами статистического анализа в исследованиях стратегического планирования (рисунок 1.17).

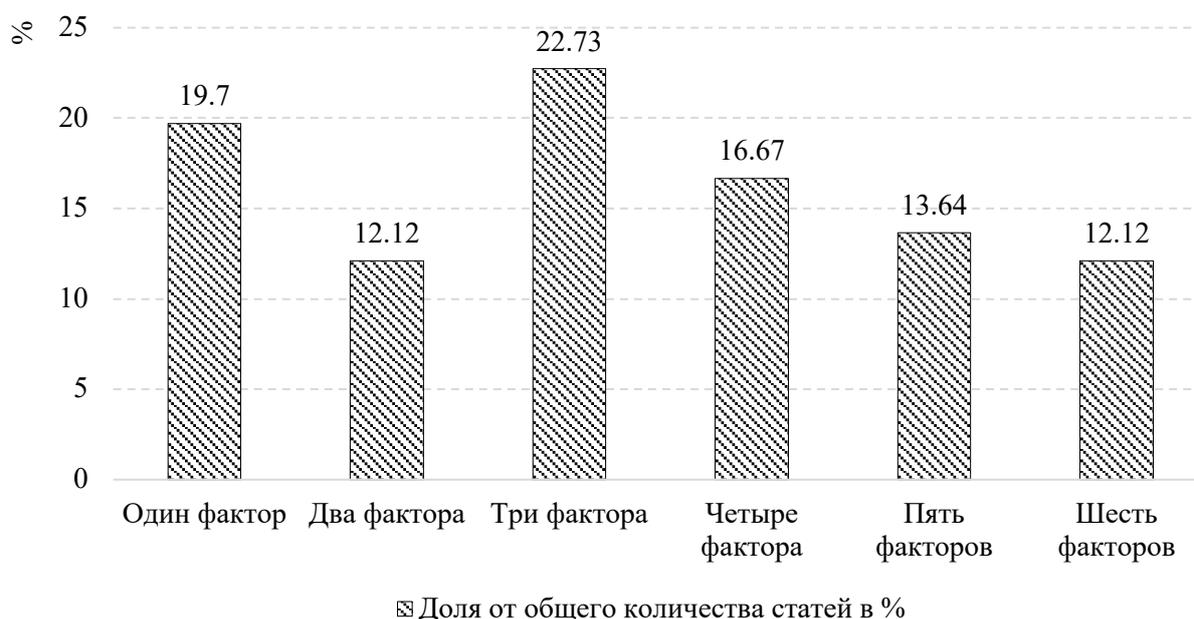


Рисунок 1.17 – Результаты систематического анализа количества анализируемых в статистических методах факторов

Примечание – Составлено автором на основе исследования Дж. Галли [88].

Результаты демонстрируют, что стратегический анализ характеризуется высокой многомерностью, что делает применение многомерных статистических методов методологически обоснованным.

Таким образом, статистические методы анализа не только допустимы, но и необходимы при оценке стратегического потенциала предприятия. Их использование повышает обоснованность управленческих решений, снижает уровень субъективности и способствует повышению эффективности стратегического планирования.

Исходя из объекта исследования – предприятий металлургической промышленности Российской Федерации, функционирующих в условиях трансформации глобального рынка стали, усиления экологических требований и структурных изменений в национальной экономике, в работе раскрывается стратегический потенциал этих предприятий. Этот потенциал определяется как совокупность ресурсов, возможностей и способностей, которые, взаимодействуя с внешними и внутренними факторами, обеспечивают способность предприятий эффективно достигать долгосрочных целей, адаптироваться к изменениям внешней среды и устойчиво развиваться.

Особенность металлургической отрасли как ресурсо- и энергоемкой системы предопределяет необходимость включения экологического измерения в модель стратегического потенциала. В этой связи стратегический потенциал трактуется не только как экономическая категория, но как способность предприятия обеспечивать баланс экономических, экологических и социальных факторов.

В рамках диссертационного исследования разработана концептуальная модель комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала металлургических предприятий.

Ключевые отличительные особенности модели:

- интеграция экономических и ESG-показателей;
- учет макроэкономических и экологических факторов;
- рассмотрение стратегического потенциала как динамической открытой системы;
- использование многомерных статистических методов.

В отличие от традиционных подходов, в которых стратегический потенциал рассматривается как статическая совокупность ресурсов и конкурентных

преимуществ, предложенная модель акцентирует внимание на его динамической природе и адаптивной способности. Предложенная концептуальная модель выступает методологической основой дальнейших разработок, представленных в работе, включая формирование системы индикаторов, интегральную оценку стратегического потенциала и разработку инструментов сценарного анализа.

Автором разработана система универсальных и отраслевых статистических индикаторов, отражающих структуру стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса, которая включает обобщающий показатель и шесть частных обобщающих показателей (рисунок 1.18). Частные обобщающие показатели характеризуют финансово-экономическую, экологическую, кадровую, инвестиционно-инновационную, производственно-технологическую и организационно-управленческую составляющие стратегического потенциала.

Обобщающий и частные показатели формируются на основе исходных статистических данных с использованием метода анализа главных компонент (РСА). При этом:

- частный обобщающий индекс финансово-экономического потенциала отражает масштабы и эффективность хозяйственной деятельности предприятий. Формируется на основе показателей выручки, прибыли (операционной и чистой), EBITDA, денежного потока и показателей рентабельности. Характеризует способность предприятия генерировать финансовые результаты, управлять издержками и создавать устойчивую прибыль при эффективном использовании ресурсов и капитала;

- частный обобщающий индекс организационно-управленческого потенциала отражает уровень эффективности управления текущими операциями, затратами и персоналом. Учитывает величину операционных расходов, себестоимость продукции, нагрузку на фонд оплаты труда и процентные расходы. Характеризует управляемость предприятия, финансовую дисциплину и способность контролировать затраты в рамках операционного цикла;

- частный обобщающий индекс производственно-технологического потенциала связан с физическими объемами и технологическими возможностями

предприятий по производству и реализации стальной продукции. Включает объемы выплавки стали, выпуска продукции и продаж. Отражает уровень производственной мощности, загруженности производственных линий и рыночного спроса;

- частный обобщающий индекс экологического потенциала формируется по объему выбросов парниковых газов, потреблению энергии, водопользованию и объему загрязняющих веществ. Оценивает уровень воздействия на окружающую среду и способность предприятия работать в соответствии с экологическими стандартами и устойчивыми практиками. Также указывает на ресурсную эффективность и степень внедрения экологически чистых технологий;

- частный обобщающий индекс инвестиционно-инновационного потенциала характеризует способность предприятия к обновлению производственной базы и внедрению инноваций. Строится на основе капитальных вложений (CAPEX), их соотношения к выручке и доли инвестиций в НИОКР. Связан с готовностью и возможностями предприятия модернизироваться, осваивать новые технологии и повышать конкурентоспособность;

- частный обобщающий индекс кадрового потенциала характеризует человеческий ресурс предприятия. Учитывает численность персонала, производительность труда и уровень затрат на одного сотрудника. Индекс отражает не только текущую трудовую отдачу, но и эффективность использования человеческого капитала, наличие мотивации и профессионального уровня работников.

Предложенная система универсальных и отраслевых статистических индикаторов формирует количественную основу для оценки и мониторинга устойчивости предприятий, а также выступает методической платформой для разработки моделей прогнозирования и стратегической диагностики.

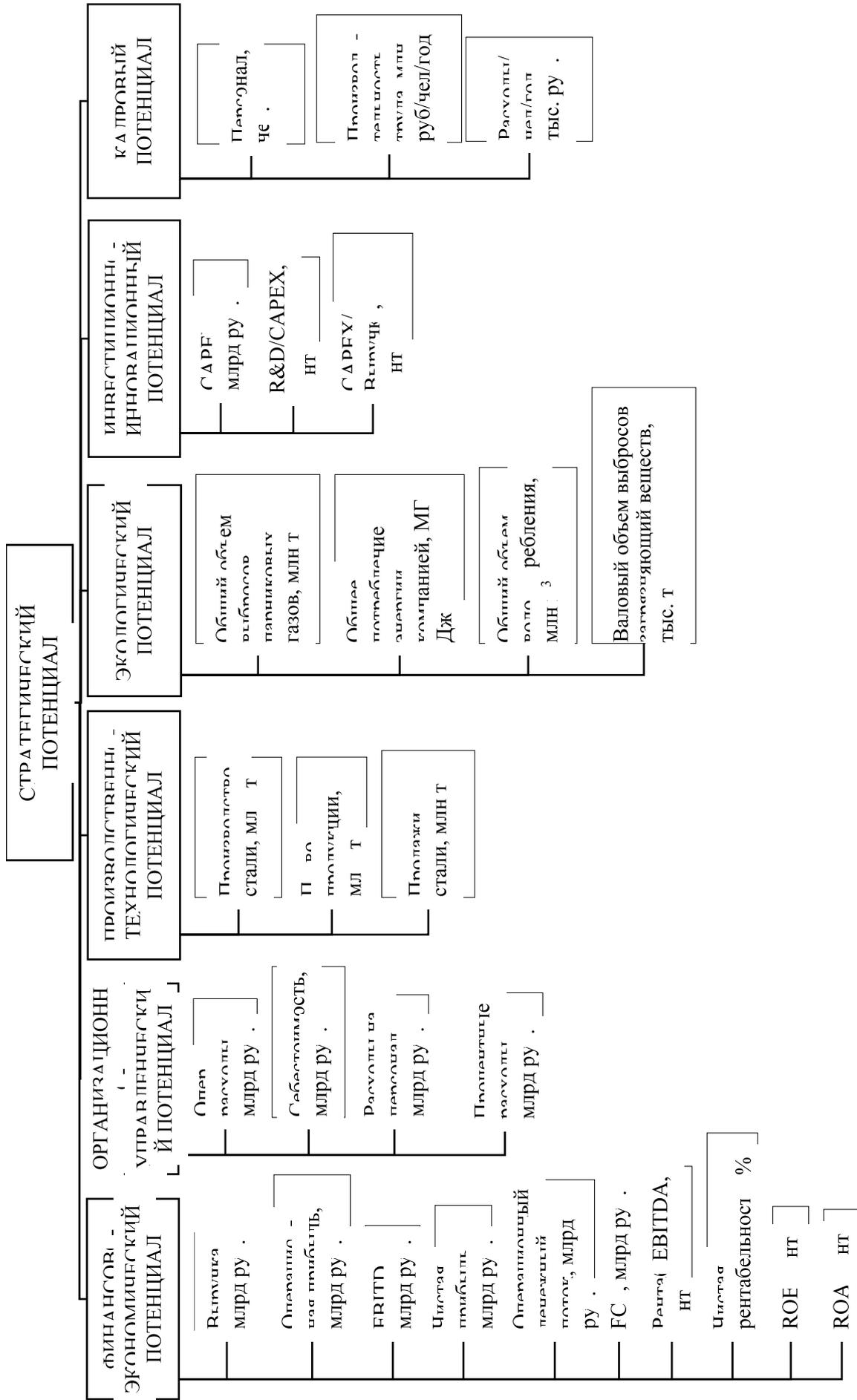


Рисунок 1.18 – Система универсальных и отраслевых индикаторов, отражающих структуру стратегического потенциала предприятий. Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Система ориентирована на интегральную оценку стратегического потенциала с учетом его многомерной структуры. Она предусматривает возможность модульного анализа по каждому виду потенциала с последующим агрегированием результатов, что обеспечивает гибкую адаптацию модели к отраслевой специфике и различным аналитическим задачам.

Научная новизна подхода заключается в разработке структурированного и количественно обоснованного статистического инструментария оценки стратегического потенциала, интегрирующего традиционные экономические показатели и параметры устойчивого развития. Предложенная система индикаторов носит универсальный характер и может быть адаптирована для анализа предприятий различных капиталоемких отраслей. Существенным элементом новизны является возможность прямой интеграции ESG-компонентов в количественную модель, что позволяет более полно учитывать стратегические риски и возможности в условиях институциональной трансформации.

Разработанный концептуальный подход включает методологию статистического анализа взаимосвязей между мировым производством стали и экологическими факторами, в том числе выбросами парниковых газов и показателями углеродной интенсивности. Это позволяет количественно оценить влияние экологических параметров на стратегический потенциал металлургических предприятий и обоснованно интегрировать экологические индикаторы в систему комплексной оценки.

Для анализа и прогнозирования динамики экологических показателей в условиях структурной трансформации используется интегративная когнитивная модель на основе нечетких когнитивных карт (FCM). Данный инструмент обеспечивает формализацию причинно-следственных связей между экономическими и экологическими переменными и реализацию сценарного подхода к оценке устойчивости предприятий.

Методологический аппарат также включает модели временных рядов ARIMA, применяемые для прогнозирования ключевых показателей сталелитейной промышленности России – объемов производства стали, цен на железную руду и

внешнеторговых индикаторов. Использование данных моделей формирует количественно обоснованную базу для стратегических решений в условиях макроэкономической и политической неопределенности.

Для анализа стратегических позиций стран на глобальном рынке стали и железной руды разработан статистический подход к кластеризации, позволяющий выделить типологические группы стран (лидеры, сырьевые экспортеры, индустриально ориентированные экономики, страны с интегрированным производственным циклом и др.). Это дает возможность оценить место национальных металлургических комплексов в мировой цепочке создания стоимости.

Дополнительным элементом разработанного подхода является применение нечетких когнитивных карт для формализации взаимосвязей между принципами оценки стратегического потенциала и проведения сценарного анализа устойчивости предприятий в условиях экологических и институциональных изменений. Это позволяет выявлять устойчивые и уязвимые элементы стратегии и более точно оценивать адаптационные возможности предприятия.

Таким образом, предложенная методология представляет собой интегрированную модель, объединяющую экономические, экологические и социальные аспекты анализа стратегического потенциала металлургических предприятий. Она расширяет традиционные подходы экономического и статистического анализа и способствует более глубокому пониманию факторов устойчивого развития и адаптивности предприятий в условиях современной структурной трансформации экономики.

Концептуальная модель комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности Российской Федерации представлена на рисунке 1.19. На ее основе сформирован концептуально-методологический подход, ориентированный на интеграцию экономических, экологических и социальных аспектов устойчивого развития с целью оценки и прогнозирования стратегической адаптивности предприятий в условиях изменения внешней среды, включая макроэкономические,

институциональные и экологические факторы, а также процессы перехода к циркулярной экономике и внедрения ESG-принципов.

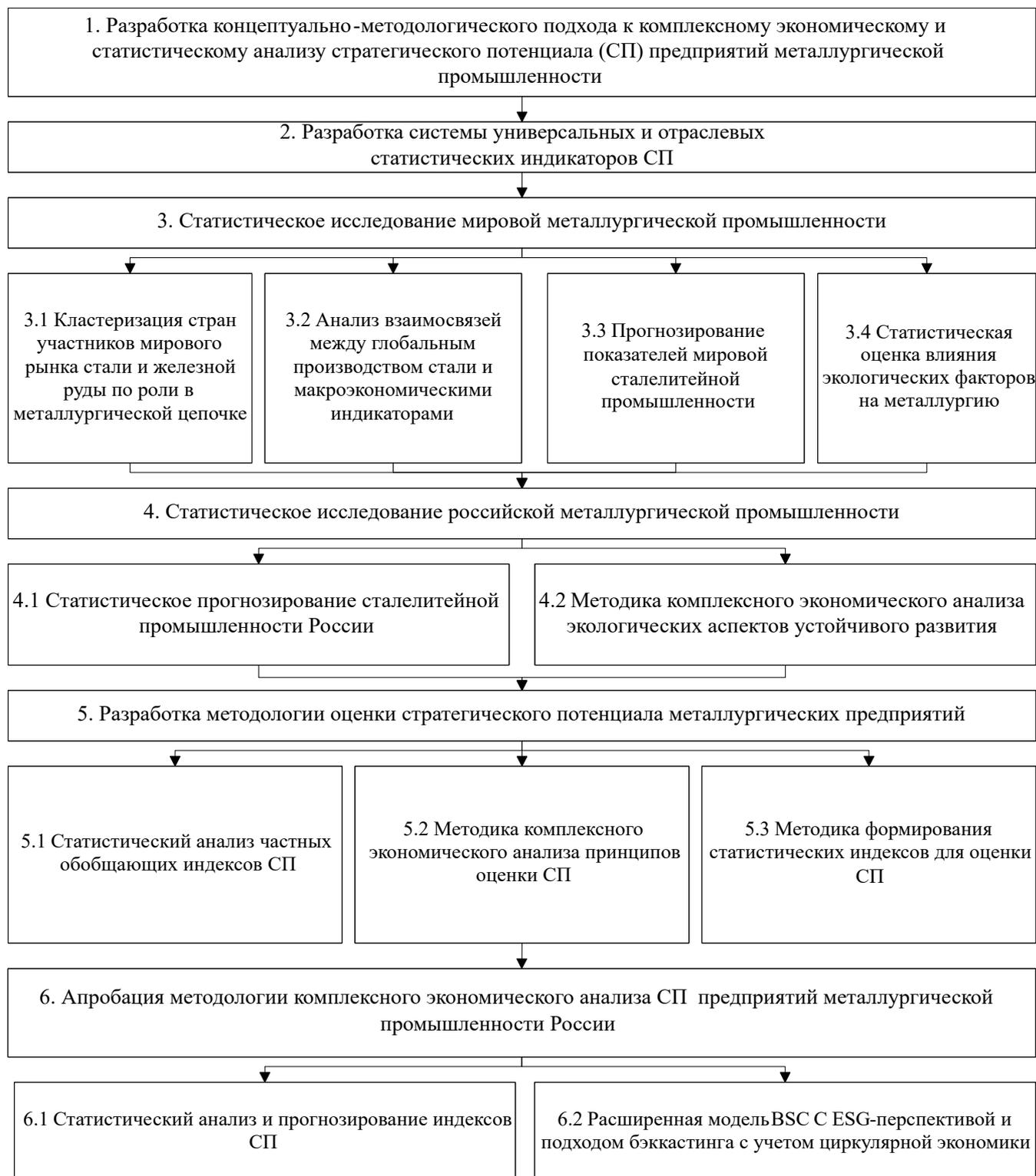


Рисунок 1.19 – Концептуальная модель комплексного экономического и статистического анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности РФ

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Предложенный подход включает взаимосвязанные аналитические блоки, обеспечивающие как оценку текущего уровня стратегического потенциала, так и прогнозирование его динамики в условиях внешних и внутренних трансформаций.

Выводы по главе 1

1. Стратегический потенциал как объект комплексного экономического и статистического анализа целесообразно определять как совокупность ресурсов, возможностей и адаптационных характеристик предприятия (внутренних и внешних), которые во взаимодействии обеспечивают его способность достигать долгосрочных стратегических целей. Включая количественные и качественные (социальные, институциональные, экологические) параметры, стратегический потенциал выступает предметом исследования с применением методов экономического анализа для оценки текущего состояния ресурсов и статистических методов для выявления тенденций, рисков и прогнозирования изменений внешней среды.

Комплексный характер категории обуславливает необходимость синергетического подхода, объединяющего экономические и статистические инструменты, что позволяет не только оценивать текущее состояние предприятия, но и прогнозировать динамику его развития с учетом макроэкономических, экологических и институциональных факторов.

2. На основе обобщения теоретических подходов стратегический потенциал предлагается рассматривать как интегративную, динамически развивающуюся систему, представляющую собой совокупность ресурсов, способностей, компетенций и конкурентных преимуществ организации. Их взаимодействие с внутренней и внешней средой обеспечивает достижение стратегических целей, адаптацию к изменениям, устойчивое развитие и сохранение конкурентоспособности.

3. Формирование стратегического потенциала осуществляется под воздействием множества факторов:

- внутренних (структура, культура, ресурсы, управленческие и технологические процессы, квалификация персонала, инновационная активность и информационный капитал);

- внешних (рыночные, законодательные, геополитические, экологические, технологические, социальные условия).

- информационных и инновационных факторов, усиливающих синергетический эффект взаимодействия всех элементов потенциала.

4. К ключевым структурным компонентам стратегического потенциала относятся:

- финансово-экономический потенциал предприятия, который отражает способность предприятия эффективно использовать свои финансовые ресурсы, активы и экономические возможности для достижения устойчивой прибыльности, финансовой устойчивости и долгосрочного роста;

- экологический потенциал предприятия представляющий собой комплексную характеристику, которая отражает способность экономического субъекта минимизировать воздействие на окружающую среду;

- производственно-технологический потенциал предприятия, отвечающий за обеспечение конкурентоспособности продукции и услуг, снижение затрат и повышение качества. Значительный производственно-технологический потенциал предприятия также создает возможности для разработки новых продуктов и услуг, соответствующих требованиям рынка;

- инвестиционно-инновационный потенциал предприятия, определяющий его способность привлекать инвестиции, генерировать и внедрять инновации, а также обеспечивать коммерциализацию новых продуктов, услуг и технологий;

- кадровый потенциал предприятия, отражающий количественную и качественную характеристику трудовых ресурсов организации;

- организационно-управленческий потенциал предприятия, позволяющий обеспечить возможность эффективно структурировать деятельность, управлять процессами, координировать использование ресурсов внутри организации.

5. Разработана система универсальных и отраслевых статистических индикаторов, отражающих структуру стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса. Система включает обобщающий интегральный показатель и шесть частных обобщающих индексов, характеризующих финансово-экономическую, экологическую, кадровую, инвестиционно-инновационную, производственно-технологическую и организационно-управленческую составляющие стратегического потенциала.

6. На основе разработанной модели предложен концептуально-методологический подход к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России. Подход ориентирован на интеграцию экономических, институциональных и социальных аспектов устойчивого развития и направлен на оценку и прогнозирование стратегической адаптивности предприятий в условиях трансформации внешней среды, включая макроэкономические, институциональные и экологические факторы, а также процессы перехода к циркулярной экономике и внедрения ESG-принципов.

Глава 2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

2.1 Статистический анализ динамики развития металлургической промышленности в мире

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Оценка динамики производства стали странами мира на основе их группировки» [89].

Современное развитие металлургической промышленности Российской Федерации осуществляется в рамках стратегических и программных документов государственного уровня, определяющих приоритеты повышения конкурентоспособности, технологической модернизации и экологической трансформации отрасли. К числу ключевых документов относятся Стратегия развития черной металлургии Российской Федерации [90], Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации до 2030 года [91], а также Государственная программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [92].

Мировая металлургическая промышленность является одной из ключевых отраслей мировой экономики, обеспечивающей материальную основу промышленного производства, строительства, транспортной инфраструктуры и машиностроения. Уровень развития металлургии во многом определяет

индустриальный потенциал государства и его конкурентные позиции на глобальном рынке.

Металлургическая промышленность включает два основных направления – черную и цветную металлургию. Структура распределения продукции между данными отраслями представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Распределение производства по отраслям металлургической промышленности

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Энциклопедического словаря по металлургии [93].

Металлургическая промышленность характеризуется высокой энерго- и ресурсоемкостью, а также значительной концентрацией производственных мощностей. В Российской Федерации на обеспечение функционирования металлургического комплекса приходится около 14% общего объема потребляемого топлива, 24% электроэнергии и 40% сырьевых и минеральных ресурсов. При этом порядка 95% конструкционных материалов в стране производится с использованием продукции металлургической отрасли, что подчеркивает ее системообразующее значение для национальной экономики.

В натуральном выражении преобладает продукция черной металлургии, на которую приходится около 95% от общего объема металлургического производства. Вместе с тем наблюдается постепенное расширение использования продукции цветной металлургии, что обусловлено усложнением технологических процессов, развитием высокотехнологичных отраслей и ростом применения

электронных компонентов. В рамках настоящего исследования основное внимание сосредоточено на предприятиях черной металлургии Российской Федерации.

К числу ключевых продуктов черной металлургии относятся чугун и сталь, а также изделия на их основе. Динамика мирового производства чугуна представлена на рисунке 2.2. Основное назначение чугуна заключается в использовании его в качестве сырья для выплавки стали; около 95% произведенного чугуна перерабатывается в сталь.

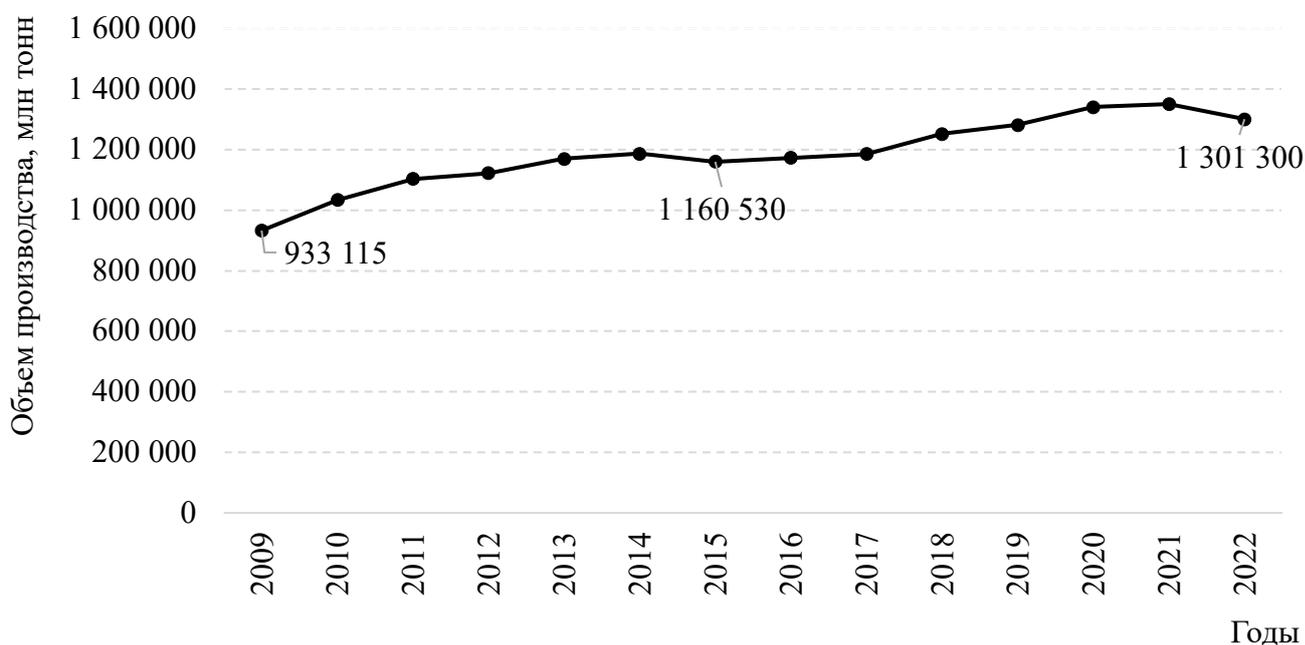


Рисунок 2.2 – Объем производства чугуна в мире за период с 2009 по 2022 г.

Примечание – Составлено автором на основании данных Statista [94] и WorldSteel [95].

Динамика мирового производства стали представлена на рисунке 2.3. Анализ статистических данных свидетельствует о долгосрочной восходящей тенденции. Если в 1950 году мировое производство стали составляло 189 млн тонн, то к 2022 году данный показатель достиг 1 885 млн тонн, увеличившись почти в 10 раз (в 9,97 раза) за 72 года.

Несмотря на устойчивый общий рост, в отдельные периоды фиксировалось сокращение объемов производства, обусловленное глобальными экономическими кризисами и колебаниями конъюнктуры мирового рынка. Так, в 2009 году наблюдалось снижение производства по сравнению с 2008 годом, что связано с

последствиями мирового финансово-экономического кризиса. Однако уже в 2010 году объемы производства восстановились и в последующие годы вновь продемонстрировали положительную динамику.

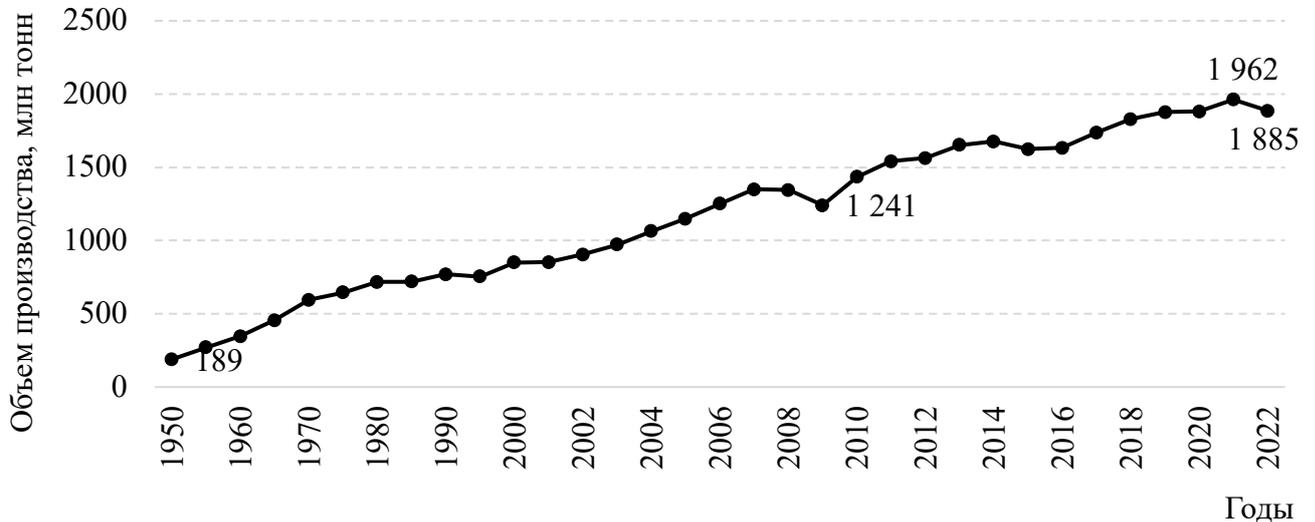


Рисунок 2.3 – Объем производства стали в мире за период с 1950 по 2022 г.

Примечание – Составлено автором на основании данных WorldSteel [95].

В черной металлургии традиционно выделяют три основных центра производства стали и чугуна (рисунок 2.4).

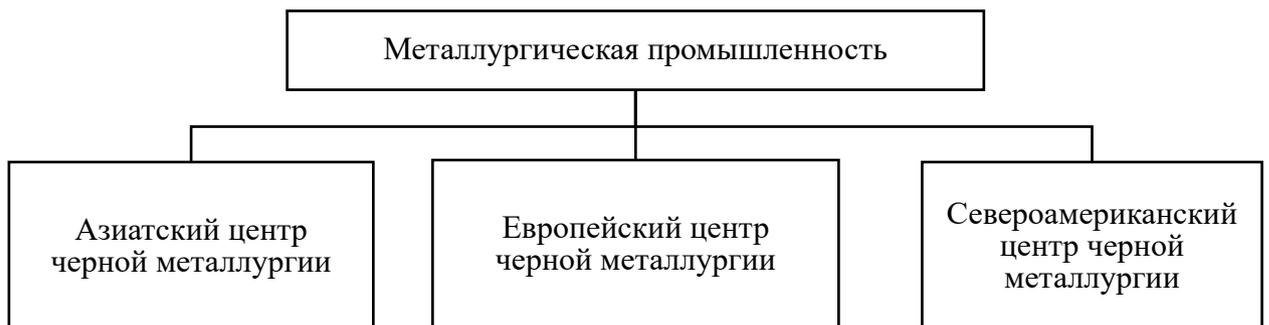


Рисунок 2.4 – Основные мировые центры производства стали и чугуна

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В настоящее время наиболее динамично развивается азиатский центр черной металлургии, в котором доминирующее положение занимает Китай. В 2023 году на его долю приходилось 53,97% мирового производства стали, тогда как в 1992 году

данный показатель составлял лишь 11,45%. Таким образом, за рассматриваемый период Китай не только укрепил свои позиции, но и стал безусловным мировым лидером отрасли.

Существенное значение в азиатском регионе также приобрела Индия, реализующая масштабную программу развития сталелитейной промышленности. В 2023 году ее доля в мировом производстве стали достигла 7,4% против 2,5% в 1992 году. Указанная динамика свидетельствует о формировании второго по значимости центра роста в азиатском регионе и усилении влияния Индии на глобальный сталелитейный рынок.

В то же время европейский и североамериканский центры черной металлургии демонстрируют относительное снижение своих позиций. Так, доля США в мировом производстве стали сократилась с 11,9% в 1992 году до 4,2% в 2023 году. Аналогичная тенденция наблюдается в Германии – одном из крупнейших европейских производителей стали, где доля в мировом производстве снизилась с 5,6% до 1,8% за тот же период.

Сокращение доли европейских и североамериканских производителей обусловлено совокупностью факторов, включая усиление конкуренции со стороны китайских компаний, рост производственных издержек, повышение цен на энергоносители, увеличение затрат на оплату труда, а также ужесточение экологических требований. В результате происходит структурное перераспределение глобального производства стали в пользу азиатского региона.

Выявленные изменения в географии производства стали обуславливают необходимость статистической типологизации стран-производителей с целью определения их роли и позиции в мировой металлургической системе. В качестве инструмента такой типологизации целесообразно использовать методы кластерного анализа.

Кластерный анализ широко применяется в экономических и социальных исследованиях для группировки субъектов по совокупности признаков. В отечественной литературе данный метод используется, в частности, при типологизации регионов Российской Федерации. Так, О.А. Доничев и соавторы

осуществляли кластеризацию регионов Северо-Кавказского федерального округа [96]; Р.В. Овсянникова применяла иерархический кластерный анализ субъектов РФ для оценки распределения регионов по уровню качества жизни [97]; И.Н. Петрыкина, М.И. Солосина и И.Н. Щепина проводили типологизацию муниципальных образований для построения их социально-экономических профилей [98]; Е.И. Пискун и В.В. Хохлов анализировали региональные дисбалансы с использованием методов кластеризации [99]; Ю.М. Протасов и В.М. Юров, применяя метод k-средних, выделили три кластера регионов РФ по уровню социально-экономического развития [100].

Методы кластерного анализа используются также при группировке предприятий различных отраслей. Так, Д.С. Неслухов осуществил кластеризацию судостроительных предприятий Северо-Западного региона России, выявив две группы предприятий, различающиеся по доковому весу выпускаемой продукции [101]. А.Л. Бобков провел кластерный анализ 363 металлургических предприятий Чехии, в результате чего было выделено четыре кластера, что позволило сформировать рекомендации по стратегическому развитию отрасли [102].

Зарубежные исследования также подтверждают универсальность данного метода. Кластерный анализ применяется в исследованиях предпринимательства [103], розничной торговли [104], таксономией экологического предпринимательства [105] и иных областях, где требуется типологизация объектов по множеству характеристик. Следовательно, использование кластерного анализа представляется обоснованным для группировки стран – производителей стали и железной руды.

Для объективной классификации стран-производителей стали в настоящем исследовании проведен кластерный анализ методом k-means (k-средних) на основе следующих показателей: объем производства стали в 2023 году (тонн), объем добычи железной руды в 2022 году (тонн), а также объем производства стали в 1992 году (тонн). В исследовании использованы данные по 101 стране, полученные из World Steel Association [95], British Geological Survey [106] и Statbase [107]. Включение показателя производства стали в 1992 году позволяет учитывать

долгосрочную динамику развития отрасли и выявить страны, демонстрирующие устойчивый рост на протяжении нескольких десятилетий, а также государства, существенно изменившие свои позиции в условиях трансформации мировой экономики.

Применение кластерного анализа в данном случае является методически обоснованным, поскольку анализируемые страны объединены общим производственным процессом (производство стали и добыча железной руды) и характеризуются сопоставимыми показателями. При этом выбранные переменные не демонстрируют высокой взаимной корреляции (коэффициент корреляции Пирсона менее 0,55), что снижает риск мультиколлинеарности и повышает статистическую корректность группировки.

По результатам кластерного анализа нормализованных данных с использованием метода k-means (k-средних) на основе анализа внутрикластерной дисперсии (метод «локтя») было выделено пять групп стран с выраженными различиями по ключевым показателям (рисунок 2.5).

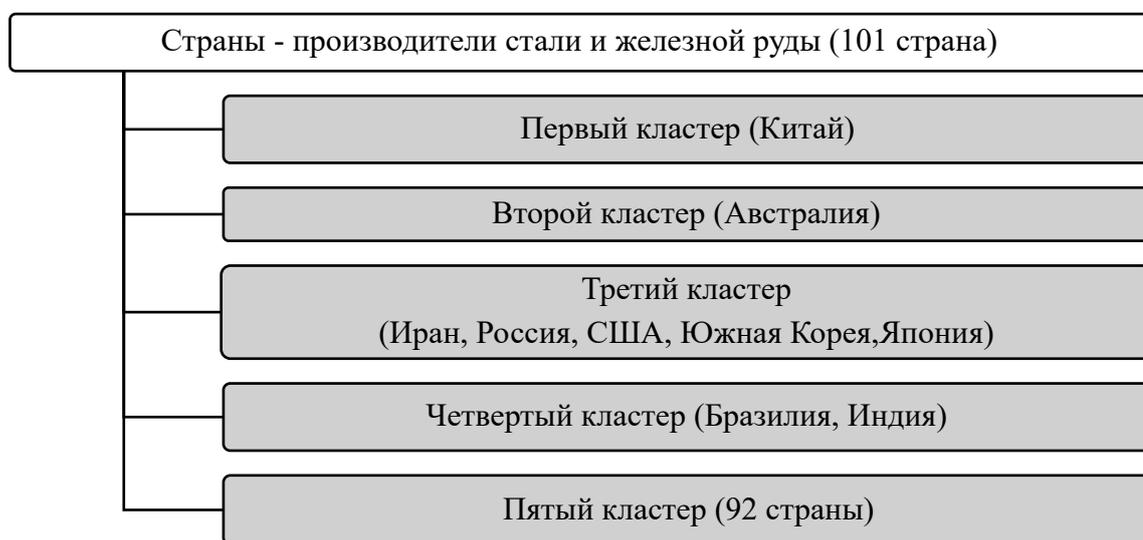


Рисунок 2.5 – Результаты проведенной группировки стран – производителей стали и железной руды

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) представлены в таблице 2.1. Анализ данных таблицы 2.1 показывает, что по всем рассматриваемым

показателям – объему производства стали в 2023 и 1992 годах, а также объему добычи железной руды в 2022 году – различия между кластерами являются статистически значимыми. Высокие значения F-статистики указывают на существенную межгрупповую вариацию, а крайне низкие p-значения ($p < 0,05$) подтверждают отклонение нулевой гипотезы о равенстве средних.

Таблица 2.1 – Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) для объемов производства стали и добычи железной руды

Наблюдения	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	Степени свободы (df)	F-статистика	p-значение
Объемы производства стали в 2023 г., тонн	$1,043 \cdot 10^{18}$	4	$1,171 \cdot 10^{16}$	96	2 137,940	0,0001
Добыча железной руды в 2022 г., тонн	$1,125 \cdot 10^{18}$	4	$3,761 \cdot 10^{16}$	96	718,104	0,0001
Объемы производства стали в 1992 г., тонн	$1,924 \cdot 10^{16}$	4	$1,101 \cdot 10^{16}$	96	41,934	0,0001

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Следовательно, полученная кластеризация обладает высокой статистической обоснованностью и позволяет говорить о наличии устойчивых структурных различий между выделенными группами стран.

График средних значений по каждому кластеру представлен на рисунке 2.6.

В результате многомерной статистической кластеризации выделены пять устойчивых кластеров стран, отражающих межстрановую дифференциацию по масштабу и структуре металлургического производства: глобальный лидер, страны с выраженной сырьевой специализацией, крупные индустриальные производители, страны со значительными объемами добычи и производства, а также страны с ограниченным участием в мировом металлургическом производстве.

Первый кластер представлен одной страной – Китаем, являющимся безусловным мировым лидером по производству стали. Долгое время Китай также являлся лидером по добыче железной руды, однако изменение методики подсчета объемов добычи с учетом оценки содержания рудного концентрата в добываемой железной руде изменило позицию Китая в данном рейтинге (рисунок 2.7).

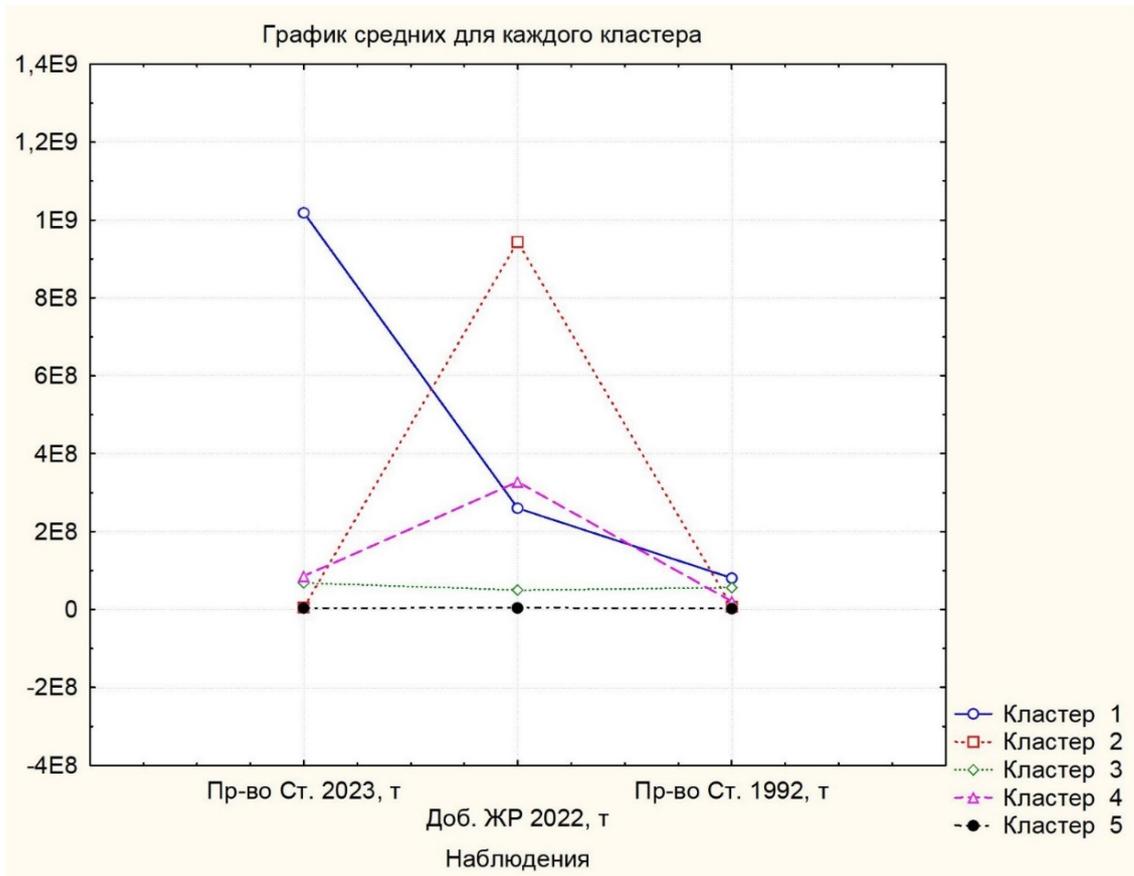


Рисунок 2.6 – График средних для каждого кластера

Примечание – Составлено автором с помощью программы Statistica.

Динамика производства стали и железной руды в Китае представлена на рисунке 2.7.

Из рисунка 2.7 видно, что производство стали с 1992 года выросло в 12,5 раза, достигнув объема 1019,09 млн тонн в год. Китай является безусловным лидером мировой металлургической промышленности, производя более 50% общемирового объема стали. Из рисунка 2.8 видно, что основным методом выплавки стали, используемым китайской сталелитейной промышленностью, является кислородно-конверторный метод (более 89%), что отражает ориентацию на доменное производство и использование железной руды.

Несмотря на лидирующие позиции в производстве стали, Китай осуществляет значительный импорт металлопродукции – около 17,1 млн тонн, что составляет 1,68% от объема собственного производства и выводит страну на пятое место в мире по данному показателю.



Рисунок 2.7 – Динамика производства стали и железной руды Китаем

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

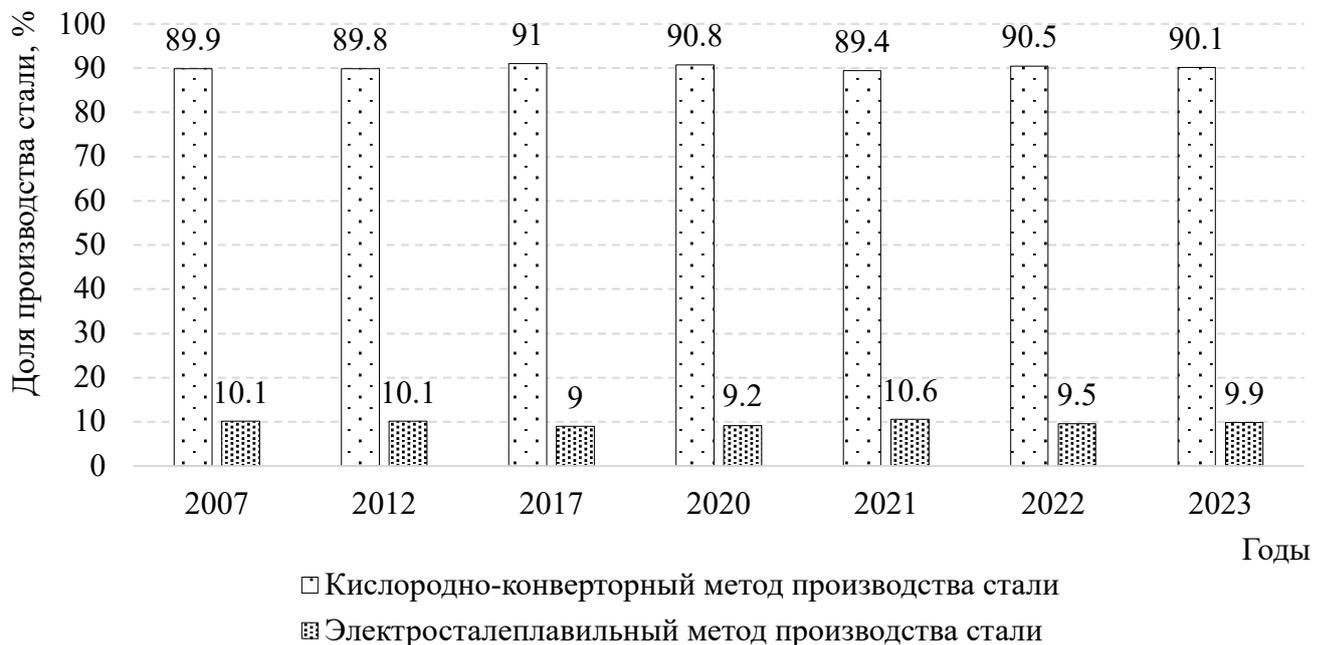


Рисунок 2.8 – Динамика изменения способов производства стали металлургической промышленностью Китая

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95].

Помимо традиционных способов выплавки чугуна и стали, китайская металлургическая промышленность активно внедряет альтернативные

технологические решения, направленные на сокращение выбросов загрязняющих веществ и повышение ресурсной эффективности производства.

Крупные китайские металлургические компании, такие как Bayi Steel и Baosteel, внедрили в производственные процессы технологию Corex [108]. Кроме того, в Китае активно применяется технология HISmelt (High Intensity Smelting), разработанная австралийско-британской компанией Rio Tinto. Эксплуатация данной технологии самой компанией Rio Tinto была осложнена последствиями финансового кризиса 2008 года, в результате чего предприятие, использовавшее технологию HISmelt, было закрыто. Оборудование и права на использование технологии были приобретены китайской компанией Molong Petroleum Machinery Limited, которая при поддержке научных организаций обеспечила ее дальнейшую доработку и промышленное внедрение. В настоящее время Molong Petroleum Machinery Limited осуществляет лицензирование технологии HISmelt на международном рынке [109, 110, 111].

Таким образом, китайская металлургическая промышленность не только производит продукцию, но и активно участвует в покупке и дальнейшей доработке новых технологий для их последующей продажи на мировом рынке. То есть китайская металлургическая промышленность выступает не только как крупнейший производитель стали, но и как активный участник глобального рынка технологических решений, интегрируя и коммерциализируя инновационные разработки.

Динамика добычи железной руды в Китае свидетельствует о стабилизации и последующем снижении объемов производства после 2014 года; в настоящее время добыча составляет около 260 млн тонн. По данному показателю Китай занимает третье место в мире, уступая Австралии и Бразилии. Следует отметить, что ранее страна занимала лидирующую позицию по объемам добычи.

Особенностью китайской сырьевой базы является относительно низкое содержание железа в руде (не более 35%), а также наличие примесей. В связи с этим международные статистические организации, включая Геологическую службу США [112], перешли к публикации скорректированных данных с учетом

содержания железа (в пересчете на 65%) [113], что повлияло на сопоставимость показателей. Дополнительным фактором, влияющим на объемы производства стали в Китае, является масштабный импорт железной руды, прежде всего из Австралии и Бразилии. По данным статистики, в 2022 году Китай импортировал 1 107 млн тонн железной руды на сумму 128,1 млрд долларов США [114]. Как следует из рисунка 2.9, металлургическая промышленность Китая в значительной степени зависит от поставок из двух стран – Австралии и Бразилии, которые в совокупности обеспечивают 89,3% общего объема импорта железной руды.

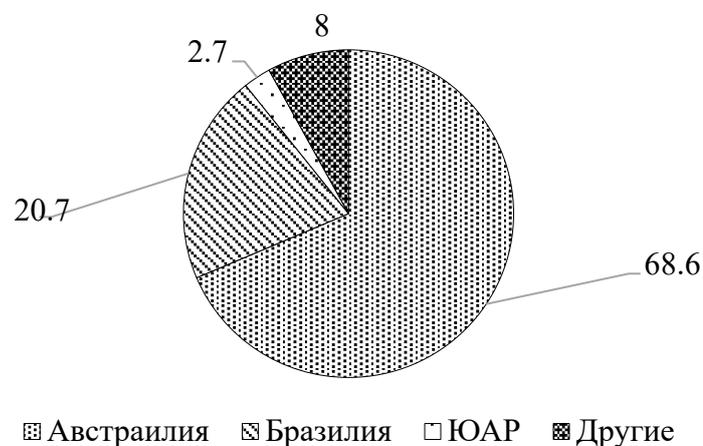


Рисунок 2.9 – География поставок железной руды в Китай, %

Примечание – Составлено автором на основании данных таможенной статистики Китая [114] и сайта TrendEconomy [115].

Другие поставщики железной руды, включая Россию, не оказывают значительного влияния на металлургическую промышленность Китая. Их совокупная доля в структуре импорта железной руды по итогам 2022 года составила около 8%.

При этом ресурсная база Китая по запасам железной руды является значительной и составляет около 8,3% мировых запасов. Однако добываемая руда характеризуется низким содержанием железа (не более 35%) и наличием значительного количества примесей [106, 112, 113], что снижает ее промышленную ценность и повышает издержки переработки. Высокая зависимость от поставок железной руды из Австралии обуславливает необходимость реализации мер по диверсификации сырьевой базы. По данным Китайской ассоциации

производителей стали (CIS) [116], Китае принята программа по снижению зависимости от импортных поставок стали, которая включает следующие мероприятия: поиск новых месторождений железной руды с более высоким содержанием железа и меньшим количеством вредных примесей; увеличение доли использования металлолома в производстве стали (ожидается, что до 30% стали будет производиться с использованием металлолома); приобретение китайскими сталелитейными компаниями активов за рубежом.

Таким образом, первый кластер в настоящее время представлен исключительно Китаем – страной, сочетающей доминирование в мировом производстве стали с активной стратегией обеспечения сырьевой устойчивости и технологического развития.

В перспективе, по мере дальнейшего роста производства в других странах (в частности в Индии), а также с учетом возможного снижения объемов выплавки стали в Китае под влиянием экономических и экологических ограничений, данный кластер может расшириться за счет новых глобальных лидеров.

С учетом выявленных характеристик первый кластер целесообразно определить как кластер глобального производителя стали.

Второй кластер представлен крупнейшим в мире производителем и экспортером железной руды – Австралией. Динамика добычи железной руды и производства стали в Австралии представлена на рисунке 2.10.

Из рисунка 2.10 видно, что Австралия сосредоточена на добыче железной руды, объемы которой в сотни раз превышают производство стали. С 1970 года добыча железной руды выросла более чем в 18 раз, достигнув по итогам 2022 года более 944 млн тонн в год. Следует отметить, что «взрывной» рост добычи начался после экономического кризиса 1998–1999 годов. Основным потребителем австралийской железной руды является Китай (82,5% поставок), хотя в последние годы Китай предпринимает шаги для снижения этой зависимости. Другие крупные импортеры – Япония, Южная Корея и Индия – имеют незначительную долю в объеме импорта (6,8%, 6,3% и 0,05% соответственно). Лидирующее положение Австралии в экспорте железной руды обусловлено, в том числе, значительными

запасами (28,7% мировых), при этом большинство месторождений содержат руду с высоким содержанием железа (до 65%), что делает экспорт очень привлекательным [113].

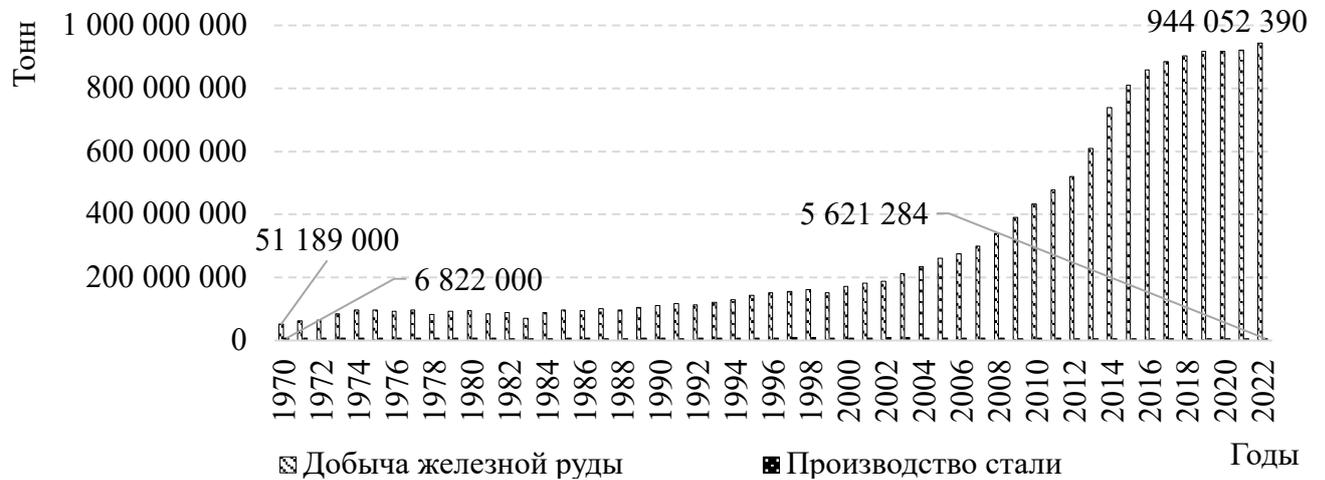


Рисунок 2.10 – Добыча железной руды и производство стали в Австралии

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Несмотря на развитую ресурсную базу и значительные запасы каменного угля (четвертое место в мире по запасам и добыче), динамика выплавки стали в Австралии демонстрирует долгосрочную стагнацию. Если в 1970 году объем производства составлял 6,8 млн тонн, то в 2022 году – 5,6 млн тонн, что на 1,2 млн тонн ниже уровня начала периода [117]. Данная тенденция объясняется устойчивой ориентацией экономики Австралии на экспорт сырья, а также сравнительно слабым развитием отраслей с высокой добавленной стоимостью и значительным внутренним спросом на сталь (судостроение, автомобилестроение, оборонная промышленность и др.). Соответствующая продукция преимущественно импортируется.

При этом в случае изменения конъюнктуры мирового рынка или необходимости расширения внутреннего производства Австралия обладает технологическим потенциалом для наращивания выплавки стали, в том числе благодаря доступу к передовым разработкам через компанию Rio Tinto (включая технологии HISmelt и др.).

По мере расширения экспортной модели развития к данному кластеру могут быть отнесены Бразилия и другие страны, ориентированные на добычу и экспорт железной руды при относительно ограниченном производстве стали. В целом второй кластер целесообразно определить как кластер глобальных экспортеров железной руды.

Третий кластер включает шесть стран: Иран, Россию, США, Южную Корею и Японию.

Наибольшие объемы производства стали в данной группе демонстрирует Япония (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Производство стали в Японии

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

В 1990-х и 2000-х годах Япония занимала ведущие позиции в мировом производстве стали, однако впоследствии уступила лидерство Китаю. В настоящее время производство стали в Японии характеризуется стагнацией после достижения пикового значения в 2007 году. Добыча железной руды в Японии практически отсутствует, что обуславливает высокую зависимость сталелитейной промышленности от импортного сырья. Основными поставщиками железной руды являются Австралия (49%), Бразилия (34%), Канада (8,09%) и Южно-Африканская Республика (3,89%) (рисунок 2.12).

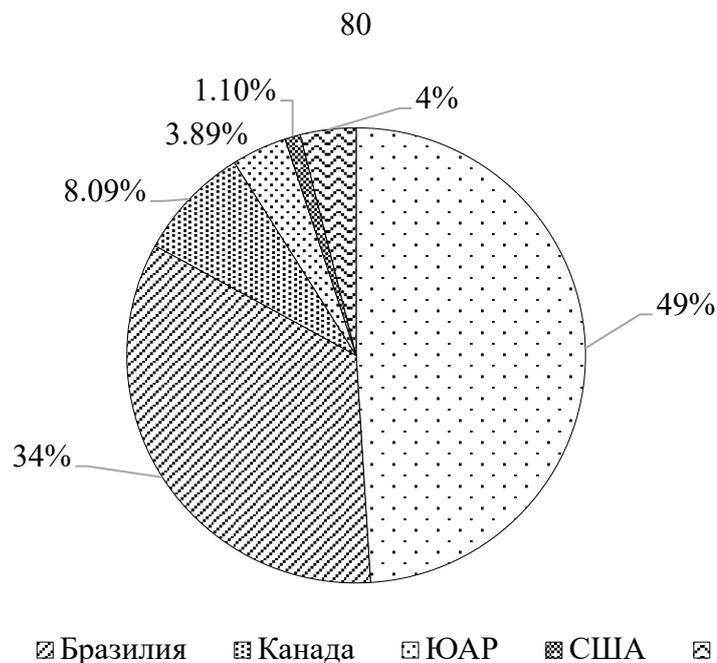


Рисунок 2.12 – Доля стран в экспорте железной руды в Японию, %

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных сайта TrendEconomy [115].

Следует отметить, что Япония является крупным экспортером металлопродукции. По итогам 2022 года прокат железа и стали обеспечил 1,47% общего объема японского экспорта на сумму около 11 млрд долларов США [118]. Одновременно Япония располагает развитым сектором обрабатывающей промышленности, производящей продукцию с высокой добавленной стоимостью, которая является значительным внутренним потребителем стали. В первую очередь это автомобильная промышленность: в 2022 году экспорт пассажирских автомобилей составил 11,5% общего экспорта (86 млрд долларов США), а грузовых автомобилей – 1,32% (9,91 млрд долларов США). В совокупности средства наземного транспорта сформировали 18,1% японского экспорта (125 млрд долларов США).

Таким образом, Япония реализует модель глубокой переработки импортируемого сырья: при практически полном отсутствии собственной добычи железной руды страна импортирует сырье, перерабатывает его в сталь и далее использует в производстве высокотехнологичной продукции, ориентированной как на внутренний рынок, так и на экспорт. Конкурентоспособность японской металлопродукции обеспечивается высоким качеством, технологичностью и

эффективностью производственных процессов, что позволяет компенсировать более высокие сырьевые издержки по сравнению со странами, обладающими собственной ресурсной базой (США, Россия и др.).

Основным способом производства стали в Японии является кислородно-конверторный метод, доля которого составляет 73,8% [119]. Второе место по объему производства стали в данном кластере занимают США. До 1970-х годов Соединенные Штаты являлись мировым лидером по производству стали, однако впоследствии уступили первенство СССР, а затем Китаю. В отличие от Японии, США располагают значительными мощностями по добыче железной руды (рисунок 2.13). По данному показателю страна входит в первую десятку мировых производителей, занимая десятое место. Следовательно, металлургическая система США характеризуется большей сырьевой самодостаточностью и сбалансированностью по сравнению с Японией, поскольку не зависит в значительной степени от импорта железной руды.

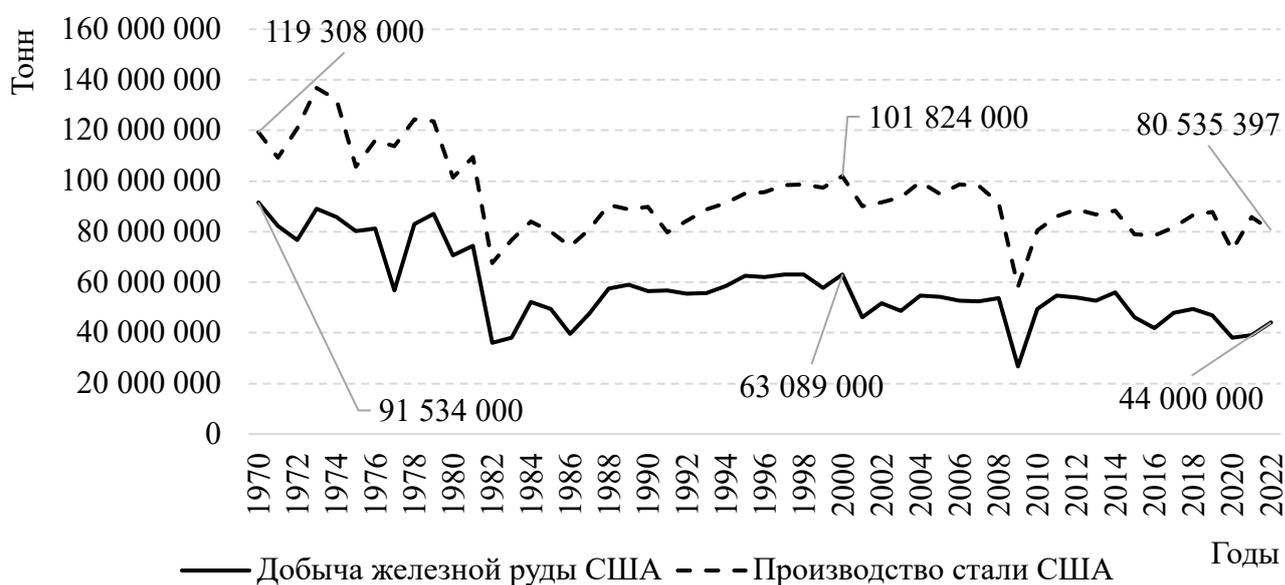


Рисунок 2.13 – Производство стали в США

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Основное направление использования производимой в США стали — внутреннее потребление в высокотехнологичных отраслях, включая

автомобилестроение и оборонно-промышленный комплекс. При этом экспорт металлоемкой продукции остается значительным: по итогам 2023 года 7,57% американского экспорта (152 млрд долларов США) приходилось на средства наземного транспорта, а 11,5% (233 млрд долларов США) – на продукцию атомной и энергетической промышленности [120].

В отличие от стран, где преобладает кислородно-конверторный метод (например, Китая), в США основным способом выплавки стали являются электропечи. Доля стали, произведенной электропечным способом, составляет 68,3% [119]. В качестве сырья активно используется импортируемый чугуны, преимущественно из Бразилии (65%) и Украины (23%), при общем объеме импорта около 2,2 млрд долларов США [121]. Такая структура обусловлена дисбалансом между внутренним производством стали и объемами добычи железной руды.

Следовательно, модель производства стали в США отличается от китайской: если Китай импортирует железную руду для последующей переработки в рамках доменно-конверторного цикла, то США ориентируются на электроплавильные технологии, используя импортируемый чугуны и металлолом, что позволяет снижать экологическую нагрузку и повышать гибкость производства.

При этом, несмотря на значительный объем собственного производства, США остаются крупнейшим в мире импортером стали – 28,9 млн тонн, что соответствует 35,8% внутреннего производства. Это свидетельствует о высокой емкости внутреннего рынка и структурной зависимости от внешних поставок определенных видов металлопродукции.

Третье место в рассматриваемом кластере занимает Россия, унаследовавшая развитую металлургическую промышленность от СССР. Россия располагает значительной сырьевой базой, занимая шестое место в мире по добыче железной руды. Несмотря на колебания объемов производства, в долгосрочной динамике выпуск стали демонстрирует тенденцию к росту (рисунок 2.14).

Основным способом производства стали в России остается кислородно-конверторный метод [119]. Одновременно российские предприятия внедряют технологии прямого восстановления железа, в частности метод Midrex (АО

«ОЭМК им. А.А. Угарова», АО «Лебединский ГОК») [122]. Однако доля России в мировом производстве железа прямого восстановления остается сравнительно небольшой: в 2024 году произведено 8 млн тонн (6% мирового объема). Для сравнения, Индия обеспечила 36% мирового производства, заняв первое место, а Иран – 25%, заняв второе место [119, 123]. Это указывает на необходимость дальнейшей технологической модернизации отрасли.

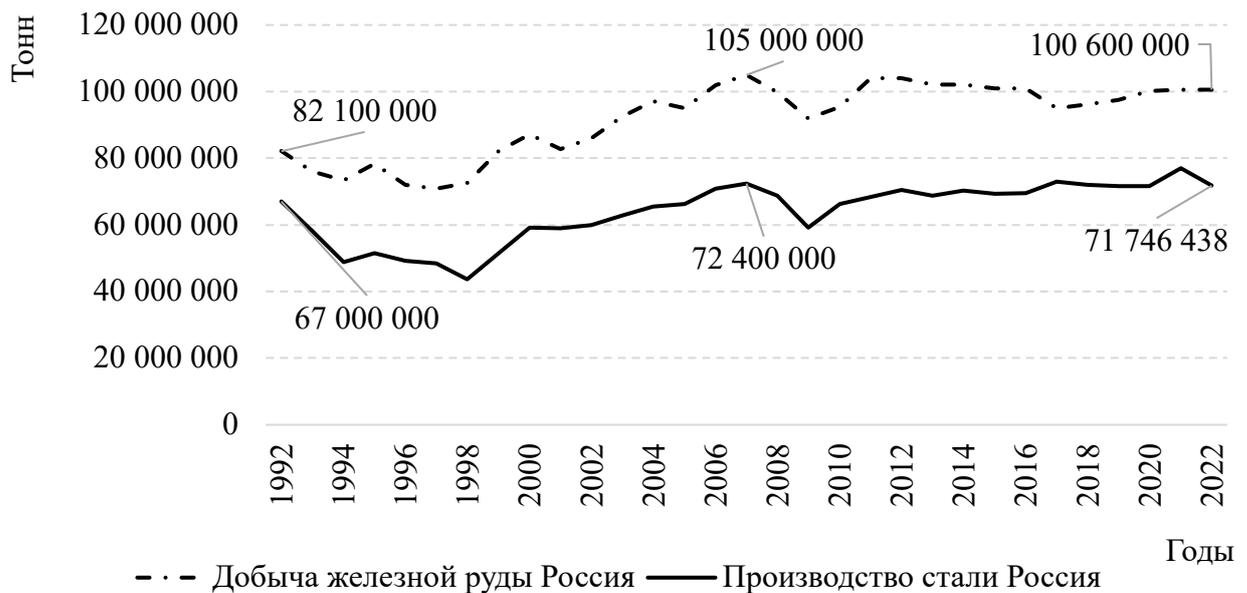


Рисунок 2.14 – Производство стали в России

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Россия обладает устойчивой сырьевой базой и значительными производственными мощностями, а также имеет внутренние отрасли-потребители стали (в частности судостроение), что создает предпосылки для формирования цепочек с высокой добавленной стоимостью внутри страны.

Вместе с тем, по экспертным оценкам, в 2024 году около 41,09% произведенной стали поставлялось на экспорт (официальные данные закрыты) [124]. Это делает отрасль чувствительной к изменениям внешней конъюнктуры и санкционным ограничениям. Структура экспорта 2021 года демонстрирует ограниченную долю продукции с высокой добавленной стоимостью: продукция атомной промышленности составляла 2,18% (10,7 млрд долларов США), тогда как

экспорт черных металлов – 5,86% (28 млрд долларов США) [124]. Это подтверждает сырьевую направленность экспортной модели.

Поэтому основной стратегией России в плане развития металлургической промышленности будет развитие передовых методов выплавки стали и чугуна, а также развитие производств, осуществляющих выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью, использующих сталь и чугун. Также следует дифференцировать экспортные поставки чугуна и стали в целях снижения рисков возможного введения ограничительных мер в отношении российских производителей стали.

Южная Корея, занимающая шестое место в мире по объему производства стали, также относится к третьему кластеру и занимает в нем четвертую позицию.

Как следует из рисунка 2.15, объемы производства стали в Южной Корее демонстрируют долгосрочную восходящую динамику. С 1970 года выпуск стали увеличился в 136,9 раза. При этом страна осуществляет значительный импорт готовой металлопродукции – 13,7 млн тонн [125], что составляет 20,8% от объема внутреннего производства. Это свидетельствует о высокой емкости внутреннего рынка и наличии спроса на специализированные виды стали.



Рисунок 2.15 – Производство стали и добыча железной руды в Южной Корее

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Южная Корея практически не располагает собственной сырьевой базой: объем добычи железной руды составляет всего 434 тыс. тонн, что несопоставимо с объемом производства стали (65 846 167 тонн). Фактически страна является нетто-импортером железной руды. Экспорт корейской руды носит эпизодический характер и направлен преимущественно в Китай (14,3 млн долл. США в стоимостном выражении). География поставщиков железной руды для корейской металлургии достаточно диверсифицирована (рисунок 2.16). Основными экспортерами являются Австралия (61,9%) и Бразилия (16,6%), далее следуют ЮАР (8,3%), Канада (7,9%) и Чили (3,5%) [126].

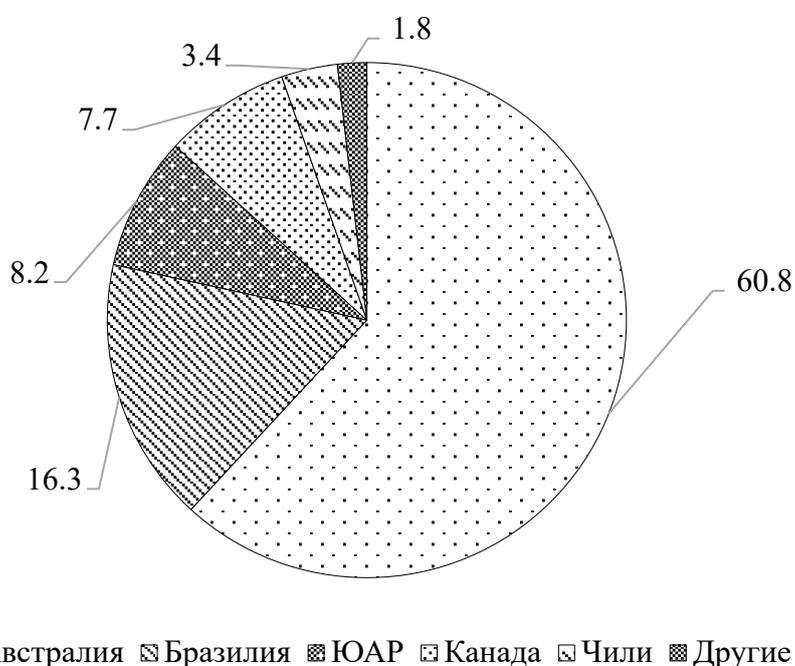


Рисунок 2.16 – Доля стран в экспорте железной руды в Южную Корею, %

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных сайта TrendEconomy [115].

Южная Корея обладает развитым промышленным комплексом, ориентированным на выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью, являющейся крупным потребителем стали. В частности, автомобилестроение по итогам 2022 года обеспечило 7,56% экспорта страны (51 млрд долл. США), а судостроение – 2,23% (15,2 млрд долл. США) [127].

Таким образом, Южная Корея реализует модель глубокой переработки импортируемого сырья: при отсутствии значительных запасов железной руды страна импортирует сырье, перерабатывает его и производит конкурентоспособную продукцию машиностроения и судостроения, ориентированную на мировой рынок. Данная модель во многом сопоставима с японской и частично китайской, где ключевым фактором выступает технологическая переработка сырья и экспорт готовой продукции с высокой добавленной стоимостью.

Иран по объему производства стали занимает пятое место в третьем кластере. По итогам 2024 года производство составило 31 млн тонн, что соответствует одиннадцатому месту в мировом рейтинге.

История металлургии в Иране имеет глубокие исторические корни, однако современная черная металлургия начала формироваться во второй половине XIX века. Первым крупным промышленным объектом стал Исфаханский металлургический комбинат, построенный при техническом содействии СССР в 1973 году [128]. После периода спада, вызванного Исламской революцией и ирано-иракской войной, в стране была реализована программа развития черной металлургии, что позволило существенно нарастить объемы производства и сформировать современную промышленную базу (рисунок 2.17).

Данные рисунка 2.17 свидетельствуют о существенном росте сталелитейной промышленности Ирана: по сравнению с 1974 годом объем производства стали увеличился более чем в 54 раза – с 567 тыс. тонн до 31 млн тонн. Добыча железной руды за аналогичный период выросла более чем в 100 раз. По объемам добычи Иран занимает пятое место в мире, а по запасам железной руды – седьмое.

Наблюдаемый дисбаланс между объемами добычи железной руды и производством стали позволяет сделать вывод о наличии экспортной ориентации по сырьевому направлению, в том числе по поставкам железной руды и чугуна [129]. Таким образом, структура отрасли сочетает развитую сырьевую базу с расширяющимся сталелитейным производством.

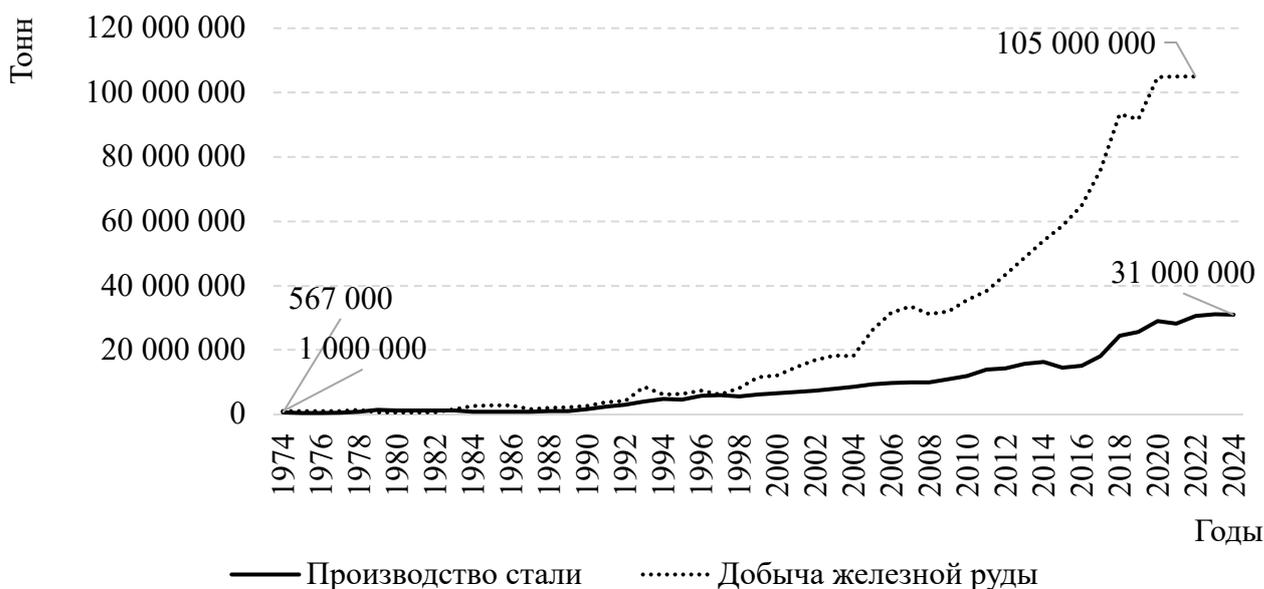


Рисунок 2.17 – Производство стали и добыча железной руды в Иране

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Подводя итоги анализа, следует отметить, что, несмотря на санкционные ограничения со стороны США [130], Великобритании [131] и ЕС [132], металлургическая промышленность Ирана демонстрирует устойчивое развитие. Производство стали продолжает расти, при этом используется современная технологическая база: 92,1% стали выплавляется в электропечах электродуговым методом [119]. Кроме того, более 90% чугуна производится методом прямого восстановления [133]. Использование технологии прямого восстановления позволило Ирану занять второе место в мире по производству железа DRI – 33 млн тонн (25% мирового объема) [123]. Вся стальная заготовка производится методом непрерывного литья, что относит Иран к числу стран с высокой технологической зрелостью отрасли [133]. Более 60% произведенной стали потребляется на внутреннем рынке, что снижает зависимость от внешней конъюнктуры.

Наличие развитой сырьевой базы и современных технологий формирует предпосылки для сохранения высоких темпов роста производства стали и укрепления позиций Ирана на мировом рынке.

Четвертый кластер представлен Индией и Бразилией.

Индия является одним из наиболее динамично развивающихся центров мировой металлургии. В период с 2010 по 2024 год производство стали увеличилось с 70,7 млн тонн до 149,6 млн тонн, то есть более чем в 2 раза. Добыча железной руды также демонстрирует устойчивый рост: с 1970 года объем добычи увеличился более чем в 8 раз – с 31,36 млн тонн до 252,3 млн тонн (рисунок 2.18).

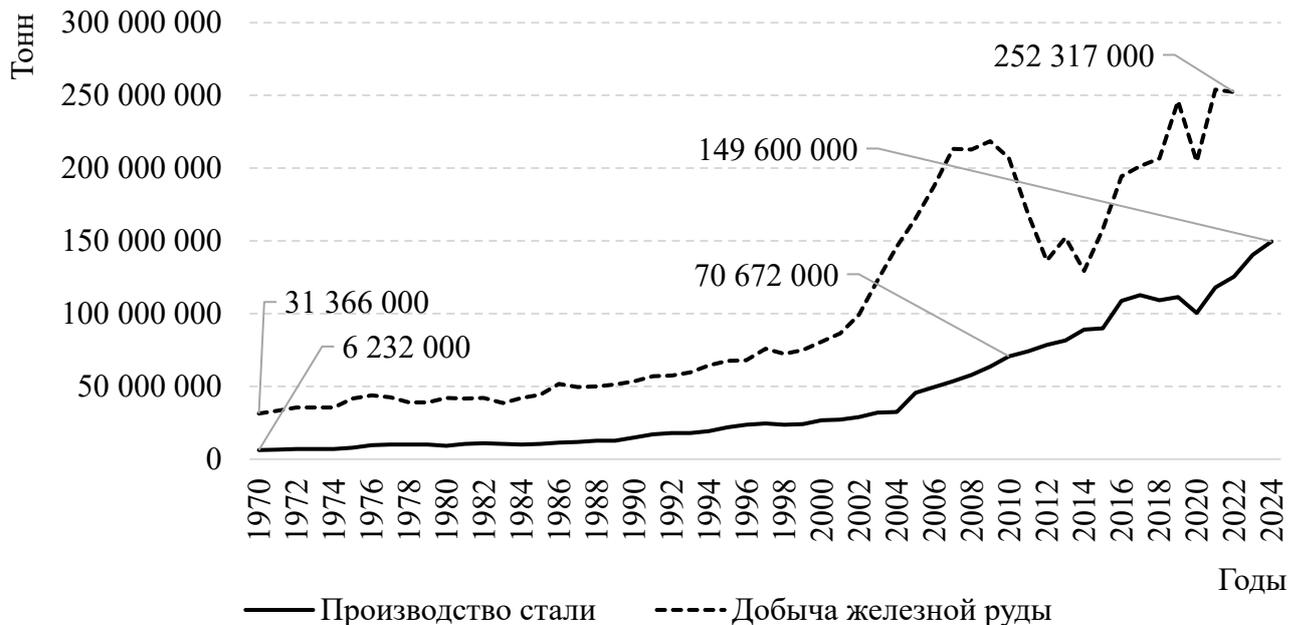


Рисунок 2.18 – Производство стали и добыча железной руды в Индии

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

По объему производства стали Индия занимает второе место в мире после Китая – 149,6 млн тонн в 2024 году. Этот показатель в шесть раз ниже китайского, но в 1,78 раза превышает объем производства Японии, занимающей третье место.

Стратегические планы Индии носят амбициозный характер: в соответствии с National Steel Policy 2017 [134] к 2030 году предполагается доведение производства стали до 400 млн тонн в год. Реализация данной цели поддерживается государственными инициативами Make in India и Atmanirbhar Bharat, направленными на развитие национальной промышленности и снижение импортной зависимости.

В отличие от Китая, ориентированного на внешнюю экспансию, производство стали в Индии в первую очередь направлено на удовлетворение потребностей внутреннего рынка [123]. Это подтверждается изменением внешнеторгового баланса: по итогам 2024 года импорт стали увеличился на 20%, тогда как экспорт сократился на 25%, что отражает рост внутреннего потребления.

Индия также является мировым лидером по производству железа прямого восстановления (DRI). Данный продукт отличается высоким качеством и низким содержанием примесей, что делает его эффективным сырьем для электродуговых печей. По данным World Steel Association, 56,4% стали в Индии выплавляется электропечным способом [119].

Объем производства железа прямого восстановления (DRI) в Индии в 2024 году достиг 51,5 млн тонн, что соответствует 34,42% общего объема выплавки стали в стране. В мировом производстве DRI доля Индии составляет 36%, что обеспечивает ей первое место по данному показателю.

Таким образом, Индия выступает не только как динамично развивающийся производитель стали, но и как мировой лидер по внедрению технологий прямого восстановления железа. Существенный потенциал дальнейшего роста индийской сталелитейной промышленности подтверждается уровнем среднегодового потребления стали – 77 кг на душу населения, что значительно ниже среднемирового показателя (240 кг). Данный разрыв свидетельствует о наличии значительного внутреннего резерва спроса и обосновывает возможность увеличения производства до запланированных 400 млн тонн в рамках государственной программы развития отрасли.

Бразилия является крупным производителем стали с объемом выпуска 33,7 млн тонн в 2024 году, что соответствует десятому месту в мировом рейтинге. В сегменте добычи железной руды страна занимает второе место в мире (403 млн тонн), уступая только Австралии (рисунок 2.19).

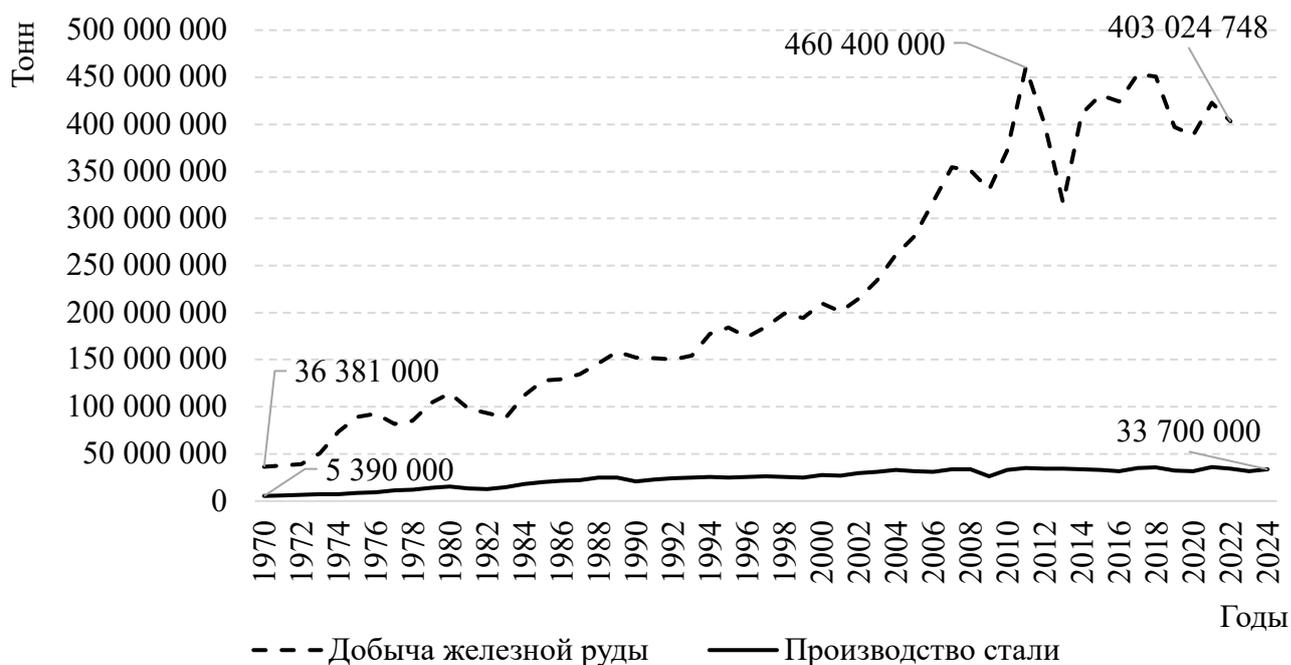


Рисунок 2.19 – Производство стали и добыча железной руды в Бразилии

Примечание – Составлено автором на основании данных Worldsteel [95], British Geological Survey [106], а также Statbase [107].

Китай является ключевым направлением экспорта бразильской железной руды – на него приходится 64% поставок. Учитывая стратегию Китая по диверсификации импортных источников, торговые противоречия с Австралией, а также развитие специализированного флота для перевозки бразильской руды, можно прогнозировать дальнейшее усиление торговых связей между Бразилией и Китаем. Дополнительным фактором конкурентоспособности выступает высокое качество бразильского сырья.

В отличие от динамично развивающейся добычи железной руды, производство стали в Бразилии на протяжении длительного времени остается на стабильном уровне (рисунок 2.20), что свидетельствует об экспортной ориентации горнодобывающего сектора. Особенностью бразильской сталелитейной промышленности является использование древесного угля для выплавки высококачественного чугуна с минимальным содержанием примесей, который применяется в машиностроении, автомобилестроении, судостроении и других высокотехнологичных отраслях. Таким образом, Бразилия сочетает значительную сырьевую базу с ограниченным масштабом внутренней переработки, что

формирует модель преимущественно сырьевого экспортера с частичной переработкой.

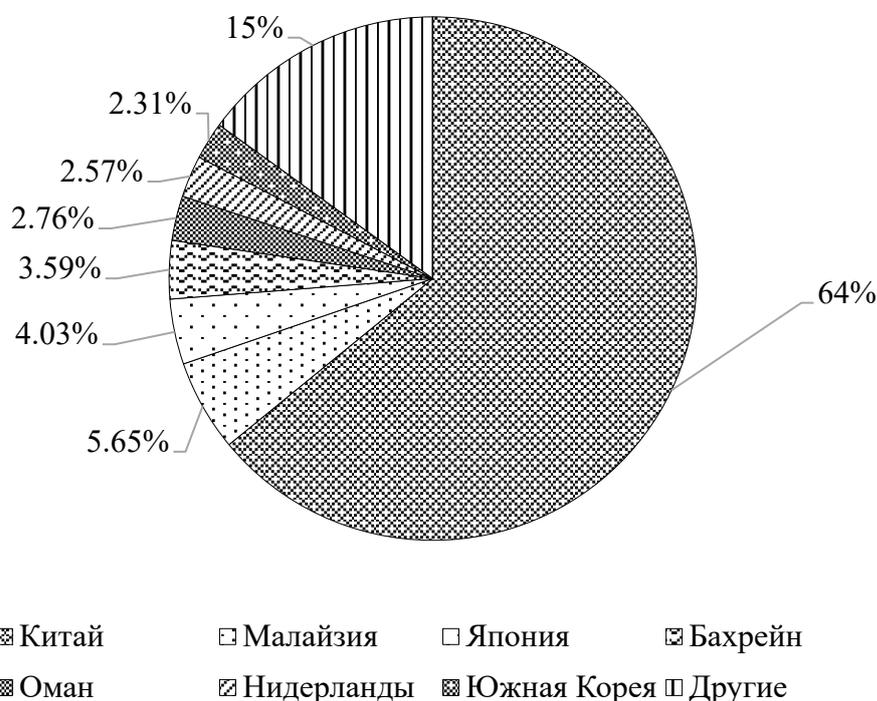


Рисунок 2.20 – Направления экспорта бразильской железной руды, %

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основе данных сайта TrendEconomy [115].

Пятый кластер объединяет 92 страны, среди которых наиболее значимыми по объему производства стали являются Германия (37,2 млн тонн, седьмое место в мире) и Турция (36,9 млн тонн, восьмое место). При этом ни Германия, ни Турция не обладают существенными запасами железной руды.

В Германии преобладает кислородно-конвертерный способ производства стали, тогда как в Турции доминирует электропечной метод. Несмотря на заметную роль в мировой металлургии, страны данного кластера не занимают лидирующих позиций ни в добыче железной руды, ни в масштабах производства стали, что позволяет отнести их к группе средних и малых производителей с различной степенью импортной зависимости.

В целом проведенная кластеризация демонстрирует структурную неоднородность мировой металлургической системы и позволяет выделить

функциональные типы стран в глобальной цепочке создания стоимости: глобальные производители стали, сырьевые экспортеры, индустриально ориентированные переработчики, страны с интегрированным циклом и страны с ограниченным присутствием на рынке.

Разработка научно обоснованного статистического подхода к кластеризации стран – участников мирового рынка стали и железной руды – обеспечивает более глубокое понимание их роли в глобальной металлургической системе, позволяет выявлять устойчивые структурные позиции и формировать прогнозы трансформации мирового рынка в долгосрочной перспективе.

Проведенный статистический анализ динамики развития мировой металлургической промышленности и кластеризация стран – производителей стали и железной руды позволяет сделать ряд принципиальных выводов.

Во-первых, мировая металлургическая система носит выражено полицентричный характер с доминированием азиатского центра, прежде всего Китая и Индии. Китай сформировал модель глобального производителя стали, сочетающую масштабное производство, технологическую модернизацию и активную внешнеэкономическую стратегию. Индия демонстрирует модель ускоренной индустриализации с опорой на внутренний спрос и развитие технологий прямого восстановления железа, что формирует долгосрочный потенциал роста.

Во-вторых, наблюдается институционально закрепленное разделение стран на функциональные типы в глобальной цепочке создания стоимости.

В-третьих, устойчивость позиций стран на мировом рынке определяется не только объемами производства стали, но и структурой технологического уклада (доля электропечного способа, развитие DRI), обеспеченностью сырьевой базой, диверсификацией экспортных потоков и уровнем развития металлоемких отраслей с высокой добавленной стоимостью.

В-четвертых, усиливается тренд экологической и технологической трансформации отрасли. Рост доли электропечного производства и прямого восстановления железа свидетельствует о переходе к менее углеродоемким

моделям производства стали. Это формирует новые конкурентные преимущества для стран, активно внедряющих соответствующие технологии.

Полученные результаты имеют принципиальное значение для оценки стратегического потенциала металлургических предприятий Российской Федерации. Россия относится к группе стран крупных индустриальных производителей, однако характеризуется высокой экспортной зависимостью и ограниченной долей продукции с высокой добавленной стоимостью в структуре экспорта.

2.2 Статистический анализ влияния макроэкономических факторов на производство стали: методологический подход

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Статистический анализ влияния макроэкономических факторов на мировое производство стали» [135].

Тест причинности по Грейнджеру представляет собой статистический инструмент проверки гипотезы о наличии направленной прогностической связи между временными рядами. В основе метода лежит принцип, установленный лауреатом Нобелевской премии Клайвом Грейнджером, согласно которому временной ряд X считается причиной временного ряда Y , в смысле Грейнджера, если включение лагированных значений X статистически значимо улучшает прогнозирование Y по сравнению с моделью, включающей только собственные лаги Y [136]. Следует подчеркнуть, что причинность по Грейнджеру не

тождественна строгой каузальной связи в философском или экономическом смысле. Она отражает наличие направленной прогностической зависимости, основанной на временном предшествовании переменных и их статистической значимости [137]. Таким образом, речь идет о выявлении информационного содержания одного временного ряда относительно другого.

Метод широко применяется в экономических исследованиях для анализа взаимосвязей между ключевыми макроэкономическими индикаторами. В частности, причинность по Грейнджеру используется при изучении связей между экспортом и ВВП, инвестициями и экономическим ростом, динамикой цен и промышленным производством [138]. Это делает данный инструмент релевантным для анализа факторов, влияющих на производство стали как один из базовых показателей промышленной активности.

Современные исследования демонстрируют расширение методологического применения теста причинности по Грейнджеру за счет его интеграции с инструментами моделирования сложных систем, в том числе с нечеткими когнитивными картами (НКК). НКК позволяют формализовать структуру причинно-следственных взаимосвязей в условиях неопределенности, а включение статистически подтвержденных направленных связей, полученных на основе теста Грейнджера, повышает обоснованность и устойчивость когнитивных моделей [139, 140, 141]. Подобные гибридные подходы обеспечивают более глубокое понимание динамики сложных экономических систем, включая металлургическую отрасль, функционирующую в условиях высокой волатильности внешней среды.

Тест причинности по Грейнджеру является одним из базовых инструментов эконометрического анализа временных рядов и широко применяется для выявления направленных взаимосвязей между макроэкономическими и отраслевыми показателями. Его использование особенно актуально при исследовании факторов, определяющих динамику производства стали и смежных рынков.

В экономических исследованиях тест Грейнджера активно используется при анализе финансовой и денежно-кредитной политики. Так, Л.Г. Гадий,

Е.Д. Джаохадзе, А.М. Киюцевская и М.Е. Чембулатова применяют его для оценки факторов финансовой стабильности в деятельности Банка России [142]. Е.А. Леонтьева исследует влияние инструментов денежно-кредитной политики на рыночные процентные ставки [143], а А.А. Золотарев и А.Ю. Румянцева используют тест Грейнджера в рамках VAR-моделей для анализа взаимосвязи между ключевой ставкой, инфляцией и разрывом выпуска [144].

Широкое распространение тест получил и в исследованиях динамики финансовых и товарных рынков. Е.А. Федорова и М.П. Лазарев применяют его для анализа влияния цен на нефть марки Brent на финансовый рынок России [145]. О.Н. Салманов исследует взаимосвязи между фондовыми рынками России, США и стран Европы, выявляя эффекты двунаправленной волатильности [146]. Р.А. Григорьев обобщает подходы к модификации классической модели Грейнджера при анализе временных рядов стоимости активов на мировых биржах, что отражает эволюцию методологического инструментария [147].

Корректность применения теста причинности по Грейнджеру предполагает предварительную проверку стационарности временных рядов. В эконометрике разработан ряд инструментов для выявления единичных корней, среди которых наиболее распространенными являются расширенный тест Дики – Фуллера (ADF) и тест Квятковского – Филлипса – Шмидта – Шина (KPSS).

Тест ADF основан на нулевой гипотезе о наличии единичного корня, что свидетельствует о нестационарности временного ряда [148, 149]. В отличие от него тест KPSS формулирует нулевую гипотезу стационарности, что делает данные методы методологически комплементарными [150]. Их совместное применение позволяет повысить надежность выводов о свойствах временных рядов и минимизировать риск ошибочной классификации процессов.

Проблема стационарности имеет фундаментальное значение для эконометрического моделирования. Использование нестационарных временных рядов в регрессионном анализе может приводить к ложной регрессии и статистически значимым, но экономически несодержательным результатам. Поэтому разграничение стационарных и нестационарных процессов является

необходимым условием корректного построения моделей временных рядов и проведения теста Грейнджера.

Современные исследования демонстрируют развитие методов диагностики стационарности. В частности, Р. Беккер и соавторы предложили модифицированный тест типа KPSS с учетом плавных структурных сдвигов [151]. Подходы на основе преобразований Фурье также применяются при анализе финансовых временных рядов, включая данные стран БРИКС [152], что свидетельствует о расширении инструментального аппарата.

Совместное использование тестов ADF и KPSS образует устойчивый инструментальный комплекс для диагностики временных рядов. При этом исследователи подчеркивают, что размер и мощность тестов могут существенно варьироваться в зависимости от характеристик выборки, длины временного ряда и выбранной спецификации модели [153, 154, 155, 156].

Тест Дики – Фуллера широко применяется в эмпирических исследованиях, особенно в финансовой сфере, где наличие единичных корней является типичным свойством данных [148, 157, 158, 159].

Тест ADF представляет собой расширение классического теста Дики–Фуллера и включает лагированные значения зависимой переменной, что позволяет учитывать авторегрессионные процессы более высокого порядка и устранять проблему автокорреляции остатков [160]. Тест KPSS основан на альтернативной логике: его нулевая гипотеза предполагает стационарность временного ряда вокруг детерминированного тренда, в то время как альтернативная гипотеза – наличие единичного корня [160, 161]. Таким образом, совместное применение тестов ADF и KPSS формирует методологически обоснованный инструментальный комплекс для диагностики временных рядов, обеспечивающий корректность последующего эконометрического анализа причинно-следственных взаимосвязей.

Методологический подход к анализу взаимосвязей между мировым производством стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами основан на статистической инструментальной анализе временных рядов (рисунок 2.21).



Рисунок 2.21 – Методологический подход к статистическому анализу взаимосвязей между глобальным производством стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Применение данного алгоритма позволило исследовать направленность и устойчивость взаимосвязей между реальным производственным сектором и агрегированными макроэкономическими показателями.

Все расчеты выполнены в среде Wolfram Mathematica 13.3.0. Реализация осуществлялась на основе программы для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации № 2025680128 «Программа для расчета теста причинности Грейнджера», А.А. Курилова, Л.Д. Савенков). В исследовании были использованы годовые данные по мировому производству стали (в млн тонн) (с сайта Всемирной

Ассоциации стали [162]) и мировому ВВП (в долларах, агрегированно) (с сайта Всемирного банка [163]) за период с 2000 по 2023 год. Использование показателя ВВП на душу населения (GDP per capita, current US\$) [164] представляется менее релевантным для целей данного анализа, поскольку он характеризует уровень экономического благосостояния в расчете на одного человека и зависит от демографических факторов. Данный показатель целесообразен при исследовании уровня жизни или производительности, однако при анализе глобальных производственных и инвестиционных процессов, определяющих спрос на металлопродукцию, предпочтительным является использование агрегированного объема ВВП.

Как показано ранее (разд. 2.1), объемы мирового производства стали варьируются в диапазоне 850–1890 млн тонн, демонстрируя устойчивый рост до 2013 года, после чего наблюдаются колебания с признаками стагнации.

Динамика мирового ВВП (рисунок 2.22) характеризуется ростом с 33 898 млрд долл. США в 2000 году до 106 741 млрд долл. США в 2023 году при наличии краткосрочных спадов в периоды глобальных кризисов.

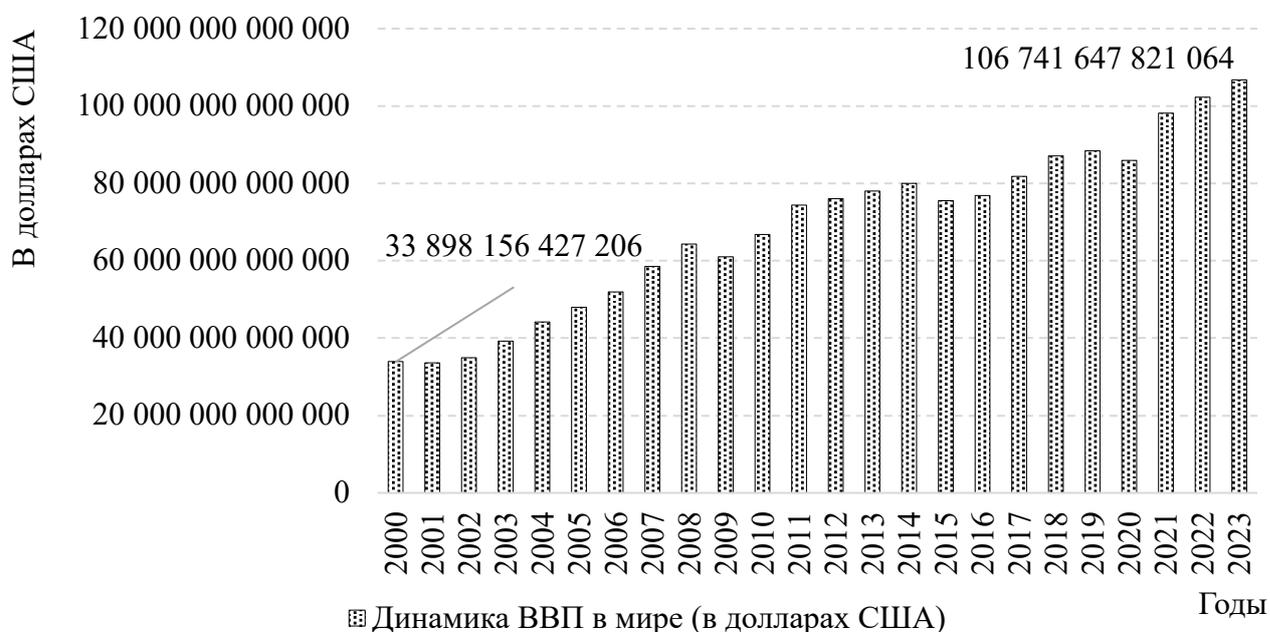


Рисунок 2.22 – Динамика мирового ВВП с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [163].

Для оценки стационарности временных рядов применены тесты ADF и KPSS.

Результаты ADF-теста (таблицы 2.2 и 2.3) показывают:

- для мирового ВВП р-значения находятся в диапазоне 0,997–0,999 при всех порядках лагов, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о наличии единичного корня;

- для мирового производства стали значения р варьируются от 0,003 до 0,866 в зависимости от лага, что указывает на нестабильность выводов и отсутствие устойчивой стационарности на уровне ряда.

Таким образом, ряд ВВП является явно нестационарным, а ряд производства стали демонстрирует признаки нестационарности.

Таблица 2.2 – Результаты теста Дики – Фуллера для показателей ВВП в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,998
2	0,999
3	0,999
4	0,998
5	0,998
6	0,997

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 2.3 – Результаты теста Дики – Фуллера для показателей объемов производства стали в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,501
2	0,061
3	0,342
4	0,003
5	0,343
6	0,866

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS (таблицы 2.4 и 2.5) подтверждают полученные выводы. Значения статистики на малых лагах превышают критические значения уровня значимости 5%, что свидетельствует против гипотезы стационарности. На более высоких лагах значения снижаются, однако не формируют устойчивого

подтверждения стационарности. Следовательно, оба ряда рассматриваются как интегрированные первого порядка $I(1)$.

Таблица 2.4 – Результаты KPSS теста для показателей объемов производства стали в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,289
2	0,191
3	0,169
4	0,161
5	0,161
6	0,164
7	0,161
8	0,154
9	0,149
10	0,151
11	0,159

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 2.5 – Результаты KPSS-теста для показателей ВВП в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,251
2	0,157
3	0,128
4	0,113
5	0,105
6	0,103
7	0,105
8	0,112
9	0,123
10	0,140
11	0,163

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В связи с выявленной нестационарностью временных рядов для корректного применения теста причинности по Грейнджеру было выполнено их преобразование путем взятия первых разностей, что позволило привести данные к стационарному виду.

Результаты теста причинности по Грейнджеру для первых разностей мирового ВВП и мирового производства стали представлены в таблицах 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали в мире и мирового ВВП

Порядок лага	р-значение
1	0,277
2	0,358
3	0,604
4	0,800
5	0,802

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные значения р-критерия при проверке гипотезы о влиянии изменений мирового ВВП на изменения объемов производства стали превышают уровень значимости 0,05 при всех рассматриваемых лагах (от 1 до 5). Это не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии причинной зависимости. Следовательно, статистически значимого прогностического влияния изменений мирового ВВП на динамику производства стали выявлено не было.

При проверке обратной гипотезы – о влиянии изменений объемов производства стали на изменения мирового ВВП – статистическая значимость наблюдается на лагах первого и второго порядка ($p = 0,010$ и $p = 0,035$ соответственно). Однако при увеличении числа лагов значимость исчезает ($p > 0,05$), что свидетельствует об отсутствии устойчивой причинной зависимости. Таким образом, выявленная связь носит краткосрочный и нестабильный характер.

Таблица 2.7 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей мирового ВВП и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,010
2	0,035
3	0,091
4	0,187
5	0,537

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Здесь наблюдается два значимых значения на лаге 1 и 2, но они не поддерживаются другими лагами.

Результаты регрессионного анализа, лежащего в основе теста Грейнджера, представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей мирового ВВП и объема мирового производства стали

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	p-значение
1	{65,544; 0,467; -1,307*10 ⁻¹¹ }	{17,042; 0,247; 4,537*10 ⁻¹² }	0,010
2	{61,177; 0,611; -0,576; -1,240*10 ⁻¹¹ ; 8,659*10 ⁻¹² }	{22,993; 0,287; 0,326; 4,758*10 ⁻¹² ; 5,992*10 ⁻¹² }	0,035
3	{76,846; 0,601; -0,591; -0,242; -1,383*10 ⁻¹¹ ; 9,353*10 ⁻¹² ; 4,501*10 ⁻¹³ }	{31,848; 0,350; 0,363; 0,455; 5,762*10 ⁻¹² ; 6,543*10 ⁻¹² ; 9,291*10 ⁻¹² }	0,091
4	{101,796; 0,347; -0,576; -0,628; -0,292; -1,070*10 ⁻¹¹ ; 6,977*10 ⁻¹² ; 1,052*10 ⁻¹¹ ; -3,442*10 ⁻¹² }	{41,216; 0,402; 0,400; 0,542; 0,490; 6,241*10 ⁻¹² ; 7,206*10 ⁻¹² ; 1,159*10 ⁻¹¹ ; 9,523*10 ⁻¹² }	0,188
5	{118,118; 0,172; -0,632; -0,713; -0,515; -0,234; -9,133*10 ⁻¹² ; 6,622*10 ⁻¹² ; 1,115*10 ⁻¹¹ ; 2,190*10 ⁻¹² ; 1,172*10 ⁻¹³ }	{61,909; 0,550; 0,486; 0,642; 0,730; 0,600; 7,835*10 ⁻¹² ; 8,383*10 ⁻¹² ; 1,371*10 ⁻¹¹ ; 1,477*10 ⁻¹¹ ; 1,140*10 ⁻¹¹ }	0,537
Примечание – Составлено автором с помощью программы Wolfram Mathematica 13.3.0.			

Наиболее предпочтительной является модель с лагом первого порядка, поскольку она характеризуется меньшим числом параметров и более низкими стандартными ошибками оценок, что повышает ее интерпретируемость и снижает риск переобучения при ограниченном объеме выборки.

Полученная регрессионная модель, описывающая зависимость первых разностей объемов мирового производства стали от первого приращения (разности) ВВП в мире, имеет вид:

$$\Delta Steel_t = 65,544 + 0,467 * \Delta GDPpc_t - 1,307 * 10^{-11} * \Delta GDPpc_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (2.1)$$

где $\Delta Steel_t$ – первая разность объемов мирового производства стали в момент t ;

$\Delta GDPpc_t$ – первая разность мирового ВВП в момент времени t ($\Delta GDPpc_t = GDPpc_t - GDPpc_{t-1}$);

$\Delta GDPpc_{t-1}$ – первая разность мирового ВВП в предыдущем периоде (лаг 1);

ε_t – случайная ошибка модели.

Экономическая интерпретация модели указывает на наличие краткосрочной взаимосвязи между динамикой экономической активности и изменениями объемов производства стали. Однако полученные результаты не подтверждают существование устойчивой долгосрочной направленной зависимости между рассматриваемыми показателями.

Снижение чувствительности между динамикой производства стали и мировым ВВП в долгосрочной перспективе отражает структурную трансформацию глобальной экономики – переход от индустриальной модели к постиндустриальной, в рамках которой сырьевые и базовые промышленные отрасли утрачивают доминирующую роль в формировании макроэкономических показателей. Возрастающее значение сектора услуг, финансовых рынков и цифровой экономики приводит к ослаблению прямой зависимости агрегированного ВВП от динамики базовых индустриальных производств.

В рамках дальнейшего исследования была протестирована гипотеза о наличии статистически значимой взаимосвязи между объемом производства стали в Российской Федерации (млн тонн) и величиной валового внутреннего продукта Российской Федерации (в долларах США) за период 2000–2023 годов.

Динамика ВВП России представлена на рисунке 2.23. В 2000 году показатель составлял 259,7 млрд долл. США, после чего наблюдался устойчивый рост с выраженными пиками в 2008, 2013 и 2022 годах. Максимальные значения – свыше 2291 млрд долл. США – были зафиксированы в 2013 и 2022 годах. Колебания показателя отражают влияние внешнеэкономической конъюнктуры, сырьевой зависимости и валютных факторов.

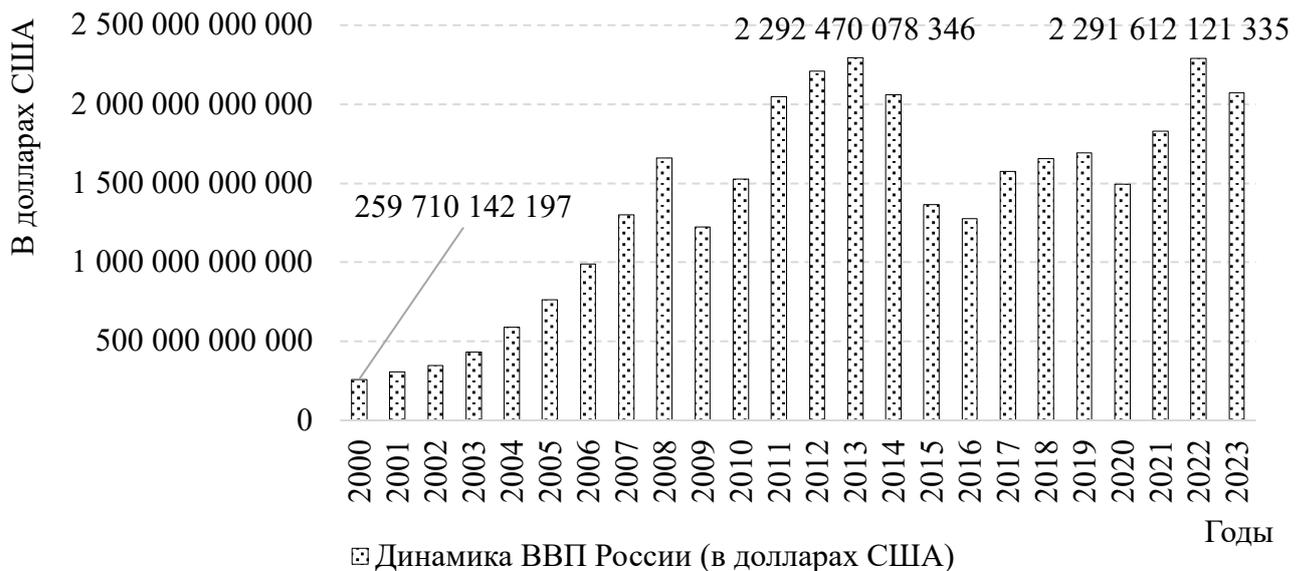


Рисунок 2.23 – Динамика ВВП России с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [164].

Результаты теста Дики–Фуллера для ряда объемов производства стали в России (таблица 2.9) демонстрируют неоднозначную картину. При низких порядках лагов наблюдаются статистически значимые результаты ($p < 0,05$), однако при увеличении числа лагов значения p достигают 1,000, что свидетельствует о нестабильности выводов. Это указывает на возможную интегрированность ряда и необходимость учета трендовой компоненты.

Таблица 2.9 – Результаты теста Дики – Фуллера для показателей объемов производства стали в России

Порядок лага	p-значение
1	0,050
2	0,007
3	$8,4 \cdot 10^{-9}$
4	$6,9 \cdot 10^{-16}$
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста ADF для ряда ВВП России (таблица 2.10) преимущественно указывают на нестационарность ($p > 0,05$), за исключением спецификации с шестым лагом. Однако единичный значимый результат при высоком лаге не позволяет говорить о стабильной стационарности ряда.

Таблица 2.10 – Результаты теста Дики-Фуллера для показателей ВВП России

Порядок лага	p-значение
1	0,708
2	0,291
3	0,693
4	0,326
5	0,455
6	$4,79 \cdot 10^{-12}$

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Дополнительная проверка с использованием теста KPSS (таблицы 2.11 и 2.12) подтверждает вывод о нестационарности обоих временных рядов. Значения статистики превышают критические уровни на большинстве лагов, что указывает на отклонение от гипотезы стационарности.

Таким образом, ряды производства стали в России и ВВП России рассматриваются как интегрированные первого порядка и требуют перехода к первым разностям для корректного применения теста причинности по Грейнджеру.

Таблица 2.11 – Результаты теста KPSS для показателей объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,104
2	0,082
3	0,079
4	0,085
5	0,093
6	0,109
7	0,128
8	0,144
9	0,164
10	0,181
11	0,196

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 2.12 – Результаты теста KPSS для показателей ВВП России

Порядок лага	р-значение
1	0,367
2	0,212
3	0,163
4	0,140
5	0,128
6	0,122
7	0,121
8	0,123
9	0,131
10	0,142
11	0,157

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Тест причинности был проведен для первых разностей показателей при лагах от 1 до 5. Результаты проверки гипотезы о влиянии изменений объемов производства стали в России на изменения ВВП России представлены в таблице 2.13.

Во всех случаях полученные р-значения превышают уровень значимости 0,05. Минимальное значение наблюдается при лаге первого порядка ($p = 0,208$),

однако оно также не является статистически значимым. Следовательно, оснований для отклонения нулевой гипотезы об отсутствии грейнджеровской причинности не имеется. Таким образом, статистически значимая предсказательная зависимость изменений ВВП России от динамики производства стали в рассматриваемом периоде не выявлена.

Таблица 2.13 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей ВВП России и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,208
2	0,622
3	0,861
4	0,961
5	0,967

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Наименьшее значение р-уровня наблюдается при лаге первого порядка ($p = 0,102$), однако оно превышает стандартный уровень статистической значимости ($p > 0,05$). Следовательно, оснований для отклонения нулевой гипотезы об отсутствии грейнджеровской причинности не имеется. Статистически значимая предсказательная зависимость между изменениями объемов производства стали в России и изменениями ВВП России на рассматриваемых лагах не выявлена. Результаты представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали в России и ВВП России

Порядок лага	р-значение
1	0,102
2	0,650
3	0,775
4	0,807
5	0,850

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии статистически значимой направленной зависимости в обоих направлениях. Ни гипотеза о влиянии динамики производства стали на ВВП России, ни гипотеза о влиянии динамики

ВВП на производство стали не подтверждаются в рамках теста причинности по Грейнджеру при рассматриваемых лагах.

Отсутствие выявленной зависимости может быть обусловлено рядом структурных особенностей российской экономики. Во-первых, динамика ВВП России в значительной степени определяется факторами, не связанными непосредственно с выпуском стали: ценовой конъюнктурой на энергоносители, валютным курсом, инфляционными шоками, бюджетной и денежно-кредитной политикой, а также изменениями в потребительском спросе. Во-вторых, несмотря на экспортную значимость металлургической отрасли, ее вклад в совокупный объем добавленной стоимости недостаточен для формирования статистически устойчивого эффекта на агрегированный показатель ВВП, который отражает результаты деятельности всех секторов экономики. В-третьих, производство стали в России во многом ориентировано на внешние рынки. Соответственно, его динамика определяется мировой конъюнктурой, строительными циклами и логистическими ограничениями, что не всегда синхронизируется с внутренней макроэкономической динамикой. Таким образом, результаты тестирования подтверждают отсутствие устойчивой краткосрочной направленной зависимости между агрегированным ВВП России и производством стали.

Дополнительно был проведен анализ взаимосвязи между объемами мирового производства стали и долей населения мира, имеющего доступ к электроэнергии (%), по данным Всемирного банка [165].

Несмотря на логически ожидаемую взаимосвязь (расширение инфраструктуры требует металлоемкой продукции), анализ временных рядов позволяет сделать вывод о структурной независимости данных процессов.

Рисунок 2.24 демонстрирует динамику глобального уровня электрификации населения за 2000–2023 годы.

В 2000 году доля населения с доступом к электроэнергии составляла 78,22%. В 2001–2003 годах наблюдался устойчивый рост показателя до 79,96%. В 2005–2007 годах уровень электрификации увеличился с 80,7% до 81,97%, что отражает активное развитие энергетической инфраструктуры в развивающихся странах.

В 2008–2011 годах рост продолжился – с 82,67% до 84,51%. В 2012–2015 годах показатель увеличился с 84,94% до 86,92%, демонстрируя стабильный ежегодный прирост. В 2016–2019 годах темпы роста ускорились: уровень электрификации достиг 88,93% в 2017 году и 90,11% в 2019 году, что связано с реализацией глобальных программ устойчивого развития и инициатив по обеспечению универсального доступа к энергии.

В 2020–2023 годах прирост замедлился, однако положительная динамика сохранилась: показатель увеличился до 91,6% к 2023 году. При этом динамика мирового производства стали характеризуется иными фазами роста и стагнации, что указывает на отсутствие синхронности между инфраструктурным расширением электроснабжения и объемами производства стали. Это подтверждает вывод о том, что в условиях зрелой глобальной экономики базовые инфраструктурные процессы уже не выступают ключевым драйвером спроса на сталь в мировом масштабе.

На рисунке 2.24 представлена динамика доли населения мира, имеющего доступ к электроэнергии (% от населения), с 2000 по 2023 год.



Рисунок 2.24 – Динамика доли населения мира, имеющего доступ к электроэнергии (% от населения), с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [165].

Результаты теста Дики – Фуллера для временного ряда доли населения мира, имеющего доступ к электроэнергии, также не позволяют сделать вывод о его устойчивой стационарности (таблица 2.15). В большинстве спецификаций р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о наличии единичного корня. Единичное статистически значимое значение при пятом лаге носит эпизодический характер и не формирует устойчивого вывода о стационарности ряда.

Таблица 2.15 – Результаты ADF-теста для показателей доли населения мира с доступом к электроэнергии

Порядок лага	р-значение
1	0,236
2	0,342
3	0,282
4	1
5	$8,589 \cdot 10^{-12}$
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Тест KPSS подтверждает полученные результаты. Значения статистики на малых лагах (например, 0,224 при лаге 1) превышают критические значения уровня значимости 5%, что указывает на отклонение от гипотезы стационарности.

Таблица 2.16 – Результаты теста KPSS для показателей доли населения мира с доступом к электроэнергии

Порядок лага	р-значение
1	0,224
2	0,147
3	0,120
4	0,106
5	0,101
6	0,102
7	0,106
8	0,114
9	0,125
10	0,139
11	0,158

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

При увеличении числа лагов значения снижаются, однако остаются на уровнях, не позволяющих уверенно утверждать стационарность временного ряда (таблица 2.16).

Таким образом, ряд доли населения мира с доступом к электроэнергии рассматривается как интегрированный первого порядка и требует перехода к первым разностям для проведения анализа причинности.

После дифференцирования временных рядов был проведен тест причинности по Грейнджеру на лагах от 1 до 5 в обоих направлениях.

Результаты проверки гипотезы о влиянии изменений объемов производства стали на изменения доли населения мира с доступом к электроэнергии (таблица 2.17) показывают, что все р-значения значительно превышают уровень значимости 0,05. Следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии грейнджеровской причинности не отвергается.

Таблица 2.17 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объема производства стали и доли населения мира с доступом к электроэнергии

Порядок лага	р-значение
1	0,360
2	0,418
3	0,686
4	0,677
5	0,963

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Аналогичные результаты получены при проверке обратной зависимости (таблица 2.18). Ни при одном из рассматриваемых лагов не выявлено статистически значимой предсказательной связи.

Таким образом, в рамках проведенного анализа не обнаружено направленной зависимости между динамикой мирового производства стали и динамикой уровня глобальной электрификации населения.

Несмотря на кажущуюся логическую взаимосвязь (развитие инфраструктуры требует металлоемкой продукции), статистический анализ свидетельствует об

отсутствии устойчивой предсказательной зависимости. Данный результат может быть объяснен несколькими факторами.

Таблица 2.18 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей доли населения мира с доступом к электроэнергии и мирового объема производства стали

Порядок лага	p-значение
1	0,306
2	0,628
3	0,170
4	0,330
5	0,520

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во-первых, современный этап электрификации в развивающихся странах часто реализуется посредством малых распределенных решений – солнечных панелей, автономных установок и микроэнергосетей, – которые характеризуются значительно меньшей металлоемкостью по сравнению с традиционными централизованными энергетическими проектами. Во-вторых, мировое производство стали определяется преимущественно глобальными инвестиционными циклами в строительстве, транспортной инфраструктуре, машиностроении и тяжелой промышленности, а также структурными изменениями в крупнейших экономиках (Китай, Индия). Бытовой уровень доступа к электроэнергии не является доминирующим драйвером совокупного спроса на сталь. В-третьих, доля электрифицированного населения в мире приближается к насыщению (более 91%), что означает снижение вариативности показателя и ограничение его способности выступать фактором динамических изменений промышленного производства.

Аналогичный анализ, проведенный для временных рядов объемов производства стали в Российской Федерации и уровня электрификации населения России за 2000–2023 годы, также не выявил статистически значимой взаимосвязи между показателями. Несмотря на визуальную стабильность и логическую сопряженность данных процессов, эконометрическая проверка подтверждает их структурную независимость в рассматриваемом периоде.

Рисунок 2.25 иллюстрирует динамику уровня электрификации населения Российской Федерации в 2000–2023 годах.



Рисунок 2.25 – Динамика доли населения России с доступом к электроэнергии (% от населения)

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [165].

В начале рассматриваемого периода доступ к электроэнергии находился на стабильно высоком уровне: в 2000–2003 годах доля электрифицированного населения варьировалась в диапазоне 97,8–100%. В 2004–2008 годах наблюдался плавный рост показателя – с 98% в 2004 году до 98,3% в 2008 году, что отражает завершение модернизации инфраструктуры и повышение надежности энергоснабжения.

К 2009 году уровень электрификации достиг 98,4%. В 2010–2011 годах зафиксирован скачкообразный рост до 99,3% с последующей стабилизацией на уровне 99,2%. В 2012–2014 годах показатель достиг значения 100%, что свидетельствует о практически полном охвате населения электроэнергетической инфраструктурой.

Единственное существенное отклонение наблюдается в 2015 году, когда показатель снизился до 95,5%. Однако уже в 2016 году произошло восстановление

до 99,4%, а с 2017 года уровень вновь стабилизировался вблизи 100%. В 2018–2023 годах показатель колебался в узком диапазоне 99,8–100%, что указывает на завершенность процесса электрификации и низкую вариативность ряда.

Результаты ADF-теста для показателя доли населения России с доступом к электроэнергии (таблица 2.19) демонстрируют неоднозначную картину. При первых трех лагах наблюдаются статистически значимые значения ($p < 0,05$), однако начиная с четвертого лага p -значения равны 1,0. Такая нестабильность указывает на смешанные свойства ряда и возможное наличие структурного разрыва (вероятно, связанного с 2015 годом).

Таблица 2.19 – Результаты ADF-теста для показателя доли населения России с доступом к электроэнергии

Порядок лага	p -значение
1	0,004
2	$9,64952 \cdot 10^{-6}$
3	$5,141 \cdot 10^{-17}$
4	1,000
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS (таблица 2.20) показывают, что при малых лагах значения статистики близки к критическим уровням ($p \approx 0,039–0,047$), что не позволяет уверенно говорить о стационарности. При увеличении порядка лага p -значения возрастают (до 0,248 на одиннадцатом лаге), что дополнительно подтверждает нестабильность характеристик ряда.

Для проверки наличия направленной зависимости был проведен тест причинности по Грейнджеру при лагах от 1 до 5 для первых разностей показателей.

При проверке гипотезы о влиянии изменений объемов производства стали в России на изменения доли населения с доступом к электроэнергии (таблица 2.21) полученные p -значения во всех случаях превышают стандартный уровень значимости 0,05.

Таблица 2.20 – Результаты теста KPSS для показателя доли населения России с доступом к электроэнергии

Порядок лага	р-значение
1	0,039
2	0,040
3	0,047
4	0,062
5	0,079
6	0,107
7	0,141
8	0,177
9	0,104
10	0,229
11	0,248

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 2.21 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли населения России с доступом к электроэнергии

Порядок лага	р-значение
1	0,173
2	0,240
3	0,553
4	0,678
5	0,698

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии грейнджеровской причинности не отвергается. Статистически значимых доказательств того, что динамика производства стали в России оказывает предсказательное влияние на уровень электрификации населения, не выявлено.

Проверка влияния первых разностей показателей доли населения России с доступом к электроэнергии на первые разности показателей производства стали в России выявила р-значения, представленные в таблице 2.22.

Все полученные значения существенно превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимой предсказательной зависимости в обратном направлении также не выявлено.

Несмотря на логичную гипотезу о том, что расширение доступа к электроэнергии может сопровождаться развитием инфраструктуры и, как

следствие, ростом спроса на сталь, эмпирические данные такую зависимость не подтверждают. Это объясняется рядом факторов.

Таблица 2.22 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей доли населения России с доступом к электроэнергии и объема производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,316
2	0,662
3	0,711
4	0,618
5	0,683

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во-первых, уровень электрификации в России уже к началу рассматриваемого периода был предельно высоким и демонстрировал крайне низкую вариативность.

Во-вторых, производство стали в России в большей степени определяется внешним спросом, экспортной конъюнктурой, динамикой мировых цен и макроэкономическими условиями, чем внутренними инфраструктурными показателями.

В-третьих, электрификация в России представляет собой заверченный и инерционный процесс, не формирующий дополнительных инвестиционных циклов, способных существенно влиять на динамику производства стали. Таким образом, производство стали и уровень электрификации населения в России в 2000–2023 гг. являются структурно независимыми процессами.

Далее был проведен анализ взаимосвязи между объемом мирового производства стали и долей валового накопления основного капитала в ВВП (Gross Capital Formation, % of GDP) по данным Всемирного банка [166]. Рисунок 2.26 иллюстрирует динамику данного показателя за 2000–2023 гг.

В 2000 году доля валового накопления составляла 24,46%, после чего наблюдалось незначительное снижение до 23,03% в 2002 году. В период до 2008 года показатель колебался в диапазоне 23–24%. В 2008 году был зафиксирован пик – 25,38%. Несмотря на мировой финансовый кризис, доля

инвестиций в ВВП оставалась относительно высокой и в 2009–2011 годах стабилизировалась около 25%.

Начиная с 2012 года прослеживается умеренная восходящая тенденция, достигшая 27,41% в 2022 году, с последующим незначительным снижением до 26,53% в 2023 году.

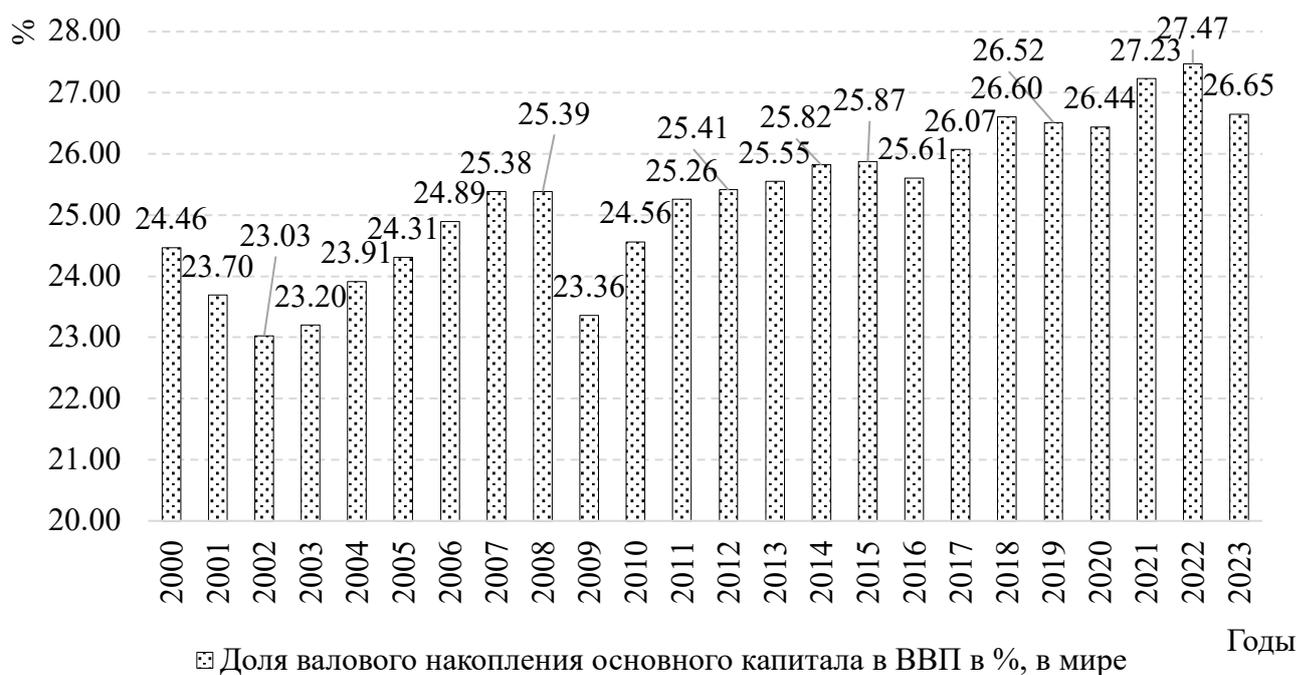


Рисунок 2.26 – Динамика доли валового накопления основного капитала в ВВП в мире с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [166].

Результаты ADF-теста (таблица 2.23) демонстрируют неоднозначную картину. При лагах 1–3 р-значения находятся ниже уровня значимости 0,05, что позволяет отвергнуть гипотезу о наличии единичного корня. Однако начиная с четвертого лага р-значения равны 1,0, что указывает на чувствительность теста к спецификации лаговой структуры и возможную нестабильность выводов. Это свидетельствует о неоднозначных свойствах ряда и потенциальном наличии структурных сдвигов.

Таблица 2.23 – Результаты ADF-теста для показателя доли валового накопления основного капитала в ВВП в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,025
2	$1,004 \cdot 10^{-8}$
3	$1,037 \cdot 10^{-16}$
4	1,000
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS (таблица 2.24) также указывают на проблемы со стационарностью. При малых лагах значения близки к критическим уровням (0,040–0,047), а начиная с пятого лага значения статистики превышают критическое значение на уровне 5%, что свидетельствует о нестационарности ряда в отдельных спецификациях.

Таблица 2.24 – Результаты теста KPSS для показателя доли валового накопления основного капитала в ВВП в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,046
2	0,040
3	0,047
4	0,064
5	0,093
6	0,164
7	0,248
8	0,195
9	0,155
10	0,168
11	0,195

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В совокупности результаты двух тестов позволяют сделать вывод о том, что временной ряд доли валового накопления основного капитала в мировом ВВП не демонстрирует устойчивой стационарности и требует преобразования (перехода к первым разностям) для корректного применения теста причинности по Грейнджеру.

Анализ причинно-следственной связи между первыми разностями показателей «Объемы производства стали в мире» и «Валовое накопление

основного капитала (GCF, % от ВВП)» с использованием теста Грейнджера при лагах от 1 до 5 дал результаты, представленные в таблице 2.25.

Таблица 2.25 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП)

Порядок лага	р-значение
1	0,000
2	0,001
3	0,026
4	0,155
5	0,352

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистически значимой грейнджеровской причинности на лагах 1–3 ($p < 0,05$). Это позволяет сделать вывод о том, что изменения в объеме мирового производства стали предшествуют и статистически объясняют краткосрочную динамику валового накопления капитала.

Проверка наличия обратной причинной связи (GCF → объемы производства стали) дала следующие р-значения, представленные в таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей показателей валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП) и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,002
2	0,023
3	0,114
4	0,231
5	0,300

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В данном случае статистически значимая зависимость выявлена на лагах 1–2 ($p < 0,05$). Таким образом, между переменными наблюдается двунаправленная краткосрочная грейнджеровская причинность.

Согласно результатам регрессионного анализа (таблица 2.27), статистически значимой является модель с лагом 1 ($p = 0,022$). Более высокие лаги демонстрируют снижение статистической значимости.

Таблица 2.27 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей объема мирового производства стали и валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП)

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	p-значение
1	{-0,120; -0,594; 0,007}	{0,168; 0,294; 0,003}	0,022
2	{0,095; -0,651; 0,105; 0,007; -0,003}	{0,219; 0,310; 0,393; 0,003; 0,004}	0,093
3	{0,142; -0,879; 0,022; -0,345; 0,008; -0,004; 0,001}	{0,270; 0,348; 0,425; 0,395; 0,003; 0,004; 0,004}	0,132
4	{0,200; -0,960; -0,004; -0,212; -0,358; 0,008; -0,004; -0,001; 0,001}	{0,374; 0,397; 0,565; 0,460; 0,456; 0,003; 0,005; 0,005; 0,005}	0,263
5	{0,227; -0,933; -0,243; -0,449; -0,242; -0,851; 0,006; -0,003; 0,001; -0,003; 0,007}	{0,493; 0,425; 0,704; 0,582; 0,498; 0,536; 0,005; 0,006; 0,006; 0,006; 0,005}	0,671

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученная модель может быть записана следующим образом:

$$\Delta GCF_t = -0,120 - 0,594 * \Delta Steel_t + 0,007 * \Delta Steel_{t-1} + \epsilon_t, \quad (2.2)$$

где $\Delta Steel_t$ – первая разность объемов мирового производства стали в момент t ;
 ΔGCF_t – первая разность валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП);

$\Delta Steel_{t-1}$ – первая разность объемов мирового производства стали в предыдущем периоде (лаг 1);

ϵ_t – случайная ошибка модели.

Статистическая значимость модели на первом лаге указывает на краткосрочную взаимосвязь между инвестиционной активностью и динамикой производства стали.

Аналогичный анализ (таблица 2.28) показывает, что модель с лагом 1 также является статистически значимой ($p = 0,020$). При увеличении числа лагов статистическая значимость снижается.

Таблица 2.28 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП) и мирового производства стали

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	p-значение
1	{31,530; 0,553; -76,548}	{17,292; 0,290; 30,180}	0,020
2	{48,160; 0,527; -0,285; -73,320; 8,146}	{24,744; 0,348; 0,442; 35,064; 44,384}	0,145
3	{51,748; 0,592; -0,282; 0,060; -91,329; -0,178; -20,528}	{32,445; 0,377; 0,527; 0,481; 41,823; 51,162; 47,525}	0,222
4	{79,109; 0,660; -0,235; -0,440; 0,105; -116,248; -15,181; 9,205; -74,274}	{35,426; 0,324; 0,517; 0,462; 0,445; 37,590; 53,492; 43,608; 43,156}	0,082
5	{109,857; 0,177; -0,012; -0,377; -0,463; 0,523; -103,894; -70,318; -8,211; -50,040; -102,312}	{39,360; 0,375; 0,487; 0,457; 0,447; 0,406; 33,904; 56,200; 46,401; 39,718; 42,783}	0,062

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученная модель может быть представлена следующим образом:

$$\Delta Steel_t = 31,530 + 0,553 * \Delta GCF_t - 76,548 * \Delta GCF_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (2.3)$$

где ΔGCF_t – первая разность валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП);

$\Delta Steel_t$ – первая разность объемов мирового производства стали в момент t ;

$\Delta Steel_{t-1}$ – первая разность валового накопления основного капитала (GCF, % от ВВП) в предыдущем периоде (лаг 1);

ε_t – случайная ошибка модели.

Анализ результатов теста Грейнджера показывает наличие двусторонней краткосрочной зависимости между динамикой мирового производства стали и динамикой инвестиционной активности (GCF). Статистическая значимость сохраняется преимущественно на первом лаге, частично – на втором и третьем.

При увеличении числа лагов влияние утрачивает значимость, что позволяет сделать вывод об отсутствии устойчивой долгосрочной причинно-следственной связи. Рост инвестиционной активности стимулирует спрос на металлоемкую продукцию, что отражается в увеличении производства стали. В то же время рост производства стали может выступать индикатором расширения производственных мощностей и инвестиционного цикла, что предшествует росту валового накопления капитала. Однако влияние носит краткосрочный характер и не формирует устойчивой долгосрочной динамической зависимости.

Таким образом, производство стали и валовое накопление основного капитала находятся в фазовой синхронизации в рамках инвестиционного цикла, но не демонстрируют устойчивой структурной зависимости в долгосрочном периоде.

Далее проведен анализ взаимосвязи между объемами производства стали в России и долей валового накопления основного капитала в ВВП России (GCF, % от ВВП).

Рисунок 2.27 иллюстрирует динамику показателя за период 2000–2023 годов. Наибольшие значения доли валового накопления наблюдаются в 2008 и 2023 годах, когда показатель превышает 25%. Минимальное значение зафиксировано в 2000 году (18,69%). В целом динамика отражает инвестиционные циклы российской экономики, включая предкризисный подъем 2006–2008 годов, спад 2009 года, последующее восстановление и адаптацию к внешним шокам.



Рисунок 2.27 – Динамика доли валового накопления основного капитала в ВВП в России (с 2000 по 2023 г.)

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [166].

По результатам ADF-теста (таблица 2.29) на лагах 1–4 р-значения меньше 0,05, что позволяет отвергнуть гипотезу о наличии единичного корня. Однако на

лагах 5–6 р-значения превышают 0,05, что свидетельствует о чувствительности результатов к спецификации модели и возможной нестабильности свойств ряда.

Таблица 2.29 – Результаты ADF-теста для показателя доли валового накопления основного капитала в ВВП в России

Порядок лага	р-значение
1	0,005
2	$9,475 \cdot 10^{-7}$
3	$0,902 \cdot 10^{-7}$
4	0,015
5	0,065
6	0,170

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Тест KPSS (таблица 2.30) показывает значения, превышающие критический уровень на большинстве лагов, что указывает на отклонение от гипотезы стационарности. Поскольку ADF и KPSS формулируют противоположные нулевые гипотезы, совокупность результатов свидетельствует о смешанных свойствах ряда и вероятном наличии трендовой компоненты или структурных сдвигов.

Таблица 2.30 – Результаты теста KPSS для показателя доли валового накопления основного капитала в ВВП в России

Порядок лага	р-значение
1	0,098
2	0,098
3	0,119
4	0,134
5	0,128
6	0,121
7	0,117
8	0,120
9	0,136
10	0,147
11	0,162

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

С учетом полученных результатов для дальнейшего анализа использованы первые разности показателей.

Проверка направленной зависимости первых разностей показателей «объем производства стали в России» → «валовое накопление основного капитала GCF (%)

от ВВП) России» дала следующие р-значения для лагов от 1 до 5, представленные в таблице 2.31.

Таблица 2.31 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объема производства стали в России и валового накопления основного капитала GCF (% от ВВП) России

Порядок лага	р-значение
1	0,031
2	0,043
3	0,294
4	0,474
5	0,722

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистически значимой грейнджеровской причинности на лагах 1–2 ($p < 0,05$). При увеличении лага статистическая значимость зависимости исчезает, что указывает на краткосрочный характер выявленной предсказательной связи. Следует отметить, что выраженность эффекта ниже по сравнению с результатами глобального анализа.

Проверка обратного направления первых разностей показателей «GCF (Россия) → объем производства стали (Россия)» дала р-значения, представленные в таблице 2.32. Во всех случаях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности в данном направлении.

Таблица 2.32 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей показателей валового накопления основного капитала GCF и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,117
2	0,074
3	0,149
4	0,289
5	0,417

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех спецификациях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности в направлении $GCF \rightarrow$ объем производства стали.

Таким образом, в отличие от мировой выборки, где фиксировалась двусторонняя краткосрочная связь, для России выявляется асимметричная и слабая зависимость: динамика производства стали статистически значимо предсказывает изменения GCF лишь на лагах 1–2 (см. таблицу 2.31), тогда как обратная направленность не подтверждается.

Как видно из таблицы 2.33, для всех спецификаций моделей значения р-уровня превышают 0,05, что не позволяет считать соответствующие регрессионные модели статистически значимыми. Следовательно, в рамках данной регрессионной спецификации устойчивой предсказательной зависимости между первыми разностями рассматриваемых показателей не выявлено.

Таблица 2.33 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей объемов производства стали в России и валового накопления основного капитала GCF (% от ВВП) России

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	р-значение
1	{0,190; -0,402; 0,102}	{0,447; 0,250; 0,147}	0,498
2	{0,136; -0,677; -0,752; 0,107; 0,285}	{0,424; 0,272; 0,256; 0,141; 0,163}	0,240
3	{0,186; -0,757; -1,017; -0,362; 0,031; 0,290; 0,012}	{0,445; 0,289; 0,319; 0,328; 0,144; 0,167; 0,189}	0,413
4	{0,300; -0,798; -1,167; -0,480; -0,281; 0,007; 0,288; -0,019; 0,071}	{0,531; 0,333; 0,405; 0,497; 0,386; 0,166; 0,196; 0,226; 0,210}	0,668
5	{0,432; -0,860; -1,205; -0,620; -0,297; -0,136; 0,032; 0,266; 0,006; 0,028; -0,018}	{0,672; 0,407; 0,528; 0,664; 0,714; 0,492; 0,220; 0,238; 0,294; 0,278; 0,265}	0,911

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, несмотря на выявленную в тесте Грейнджера статистическую значимость на лагах 1–2 (см. таблицу 2.31), регрессионная оценка не подтверждает устойчивость модели при расширении лаговой структуры. Это указывает на слабый и нестабильный характер выявленной краткосрочной связи. В целом для российской экономики взаимосвязь между объемами производства стали и долей валового накопления основного капитала носит ограниченный и неустойчивый характер. В отличие от мировой выборки, где наблюдалась более

выраженная двусторонняя зависимость, в России статистически надежной и устойчивой причинно-следственной связи в рассматриваемом периоде не выявлено.

Далее проведем анализ причинности по Грейнджеру между показателями мирового производства стали и долей экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта (по данным Всемирного банка [167]). Рисунок 2.28 отражает динамику данного показателя за период 2000–2023 годов.



Рисунок 2.28 – Доля экспорта руд и металлов в структуре мирового товарного экспорта в мире (с 2000 по 2023 г.)

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [167].

В начале исследуемого периода доля экспорта руд и металлов составляла 3,04% (2000 год). В 2001–2003 годах наблюдалось снижение показателя до 2,79–2,81%, что указывает на временное ослабление роли сырьевой группы в структуре мировой торговли на фоне расширения экспорта промышленной и высокотехнологичной продукции.

Начиная с 2004 года прослеживается рост доли руд и металлов: в 2004–2006 годах показатель увеличился с 3,21% до 4,11%, что отражает усиление

мирового спроса на сырье, обусловленное ускорением промышленного роста в крупнейших экономиках. В 2009 году зафиксировано снижение до 3,49%, что соответствует общему падению мировой торговли в период глобального финансового кризиса. В 2010–2012 годах показатель вновь вырос – с 4,26% до 4,43%, отражая восстановление мировой промышленной активности. В 2013–2016 годах динамика была более умеренной: доля колебалась в диапазоне 3,54–4,03%, демонстрируя относительную стабилизацию сырьевого сектора. В 2017–2020 годах наблюдалось постепенное восстановление показателя, достигшего 4,28% в 2020 году. Наиболее значительный рост пришелся на 2021 год, когда доля увеличилась до 4,84% – максимального значения за весь период наблюдения. Это связано с ростом мировых цен на сырье и восстановлением глобальных производственных цепочек после пандемийных ограничений.

В 2022–2023 годах показатель несколько снизился и стабилизировался на уровне 4,03–4,21%.

Результаты теста Дики – Фуллера (таблица 2.34) демонстрируют неоднозначную картину стационарности ряда доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта. При отдельных лагах (2 и 4) р-значения оказываются ниже уровня значимости 5%, однако при других спецификациях (1, 3, 5 и 6 лаги) нулевая гипотеза о наличии единичного корня не отвергается.

Такая нестабильность результатов указывает на чувствительность теста к выбору лаговой структуры и не позволяет сделать однозначный вывод о стационарности ряда на уровне.

Таблица 2.34 – Результаты ADF-теста для ряда показателей доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта

Порядок лага	р-значение
1	0,412
2	0,042
3	0,293
4	0,006
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS (таблица 2.35) дополняют полученные выводы. На первом лаге значение статистики составляет 0,223, что превышает критический уровень значимости 5%, на последующих лагах значения также остаются относительно высокими. Это указывает на отсутствие устойчивой стационарности ряда.

Таблица 2.35 – Результаты теста KPSS для ряда показателей доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта

Порядок лага	р-значение
1	0,223
2	0,141
3	0,119
4	0,110
5	0,105
6	0,106
7	0,110
8	0,117
9	0,130
10	0,147
11	0,169

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

С учетом противоречивых результатов ADF и KPSS для дальнейшего анализа использованы первые разности временных рядов. Результаты теста Грейнджера для оценки направленного влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли экспорта руд и металлов (таблица 2.36) показывают, что на всех лагах р-значения превышают уровень значимости 0,05.

Таблица 2.36 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта

Порядок лага	р-значение
1	0,410
2	0,445
3	0,707
4	0,797
5	0,518

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, статистически значимая грейнджеровская причинность в данном направлении не выявлена. Иными словами, изменения объемов мирового производства стали не оказывают предсказательного воздействия на динамику доли руд и металлов в структуре мирового экспорта.

Это свидетельствует о том, что структура мирового товарного экспорта определяется более широкими факторами – ценовой конъюнктурой сырьевых рынков, валютной динамикой, торговой политикой и структурой глобального спроса – а не непосредственно динамикой производства стали.

Аналогичные результаты были получены при проверке гипотезы о наличии направленного влияния доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта на объем производства стали. Значения р-уровня при лагах 1–5 представлены в таблице 2.37.

Таблица 2.37 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,834
2	0,635
3	0,851
4	0,738
5	0,712

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Во всех случаях р-значения существенно превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимая взаимосвязь в данном направлении также не выявлена.

Рисунок 2.29 отображает динамику доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта России за период 2000–2023 годов.

В 2000 году показатель составлял 9,14%. В 2001–2003 годах наблюдалось снижение до 6,79%, что свидетельствует о временном сокращении удельного веса данной товарной группы в экспортной структуре. В 2004–2007 годах произошел умеренный рост показателя до 8,14%, что отражает благоприятную конъюнктуру

сырьевых рынков. В 2008–2009 годах на фоне глобального финансового кризиса доля резко сократилась до 5,46%. В 2010–2014 годах динамика носила колебательный характер с минимумом 4,58% в 2013 году и частичным восстановлением до 5,90% в 2014 году. В 2015–2019 годах показатель стабилизировался в диапазоне 5,66–6,17%. Существенный рост наблюдался в 2020 году (8,64%), что может быть связано с ценовой конъюнктурой сырьевых рынков. В 2021 году показатель снизился до 7,40%. В связи с отсутствием официальных данных за 2022–2023 годы значения были экстраполированы для формирования непрерывного временного ряда.



Рисунок 2.29 – Доля экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [167].

Результаты ADF-теста (таблица 2.38) показывают, что при всех лагах р-значения превышают 0,05, что указывает на наличие единичного корня и нестационарность ряда на уровне.

Таблица 2.38 – Результаты ADF-теста для ряда показателей доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России

Порядок лага	р-значение
1	0,483
2	0,638
3	0,881
4	0,914
5	0,924
6	0,861

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Тест KPSS подтверждает данный вывод: на первом лаге значение статистики составляет 0,416, что существенно превышает критический уровень значимости 5%, а на последующих лагах остается повышенным (таблица 2.39).

Таблица 2.39 – Результаты теста KPSS для ряда показателей доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России

Порядок лага	р-значение
1	0,416
2	0,260
3	0,203
4	0,172
5	0,154
6	0,144
7	0,138
8	0,137
9	0,139
10	0,146
11	0,156

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста Грейнджера для проверки влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли экспорта руд и металлов представлены в таблице 2.40.

Таблица 2.40 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли экспорта руд и металлов в России

Порядок лага	р-значение
1	0,569
2	0,981
3	0,991
4	0,986
5	0,994

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех спецификациях р-значения существенно превышают 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии причинности. Таким образом, изменения в производстве стали не оказывают статистически значимого предсказательного влияния на долю экспорта руд и металлов в структуре внешней торговли России.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что структура экспортной корзины формируется под воздействием более широких макроэкономических факторов – ценовой динамики сырьевых рынков, валютного курса, внешнеторговых ограничений и структуры мирового спроса.

В случае обратного направления – влияния первых разностей доли экспорта руд и металлов на объемы производства стали – были получены следующие р-значения (таблица 2.41).

Таблица 2.41 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей экспорта руд и металлов и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,015
2	0,041
3	0,067
4	0,194
5	0,473

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистически значимой грейнджеровской причинности на лагах 1–2 ($p < 0,05$). При увеличении лага статистическая значимость снижается, что указывает на краткосрочный характер выявленной зависимости. Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 2.42.

Модель с лагом 1 характеризуется наименьшим р-значением (0,015), что указывает на ее статистическую значимость и относительную простоту по сравнению с более высокими лаговыми спецификациями.

Таблица 2.42 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей доли экспорта руд и металлов в России и объема производства стали в России

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	p-значение
1	{1,116; -0,389; 1,771}	{0,692; 0,195; 0,661}	0,015
2	{0,950; -0,284; -0,089; 1,663; -0,839}	{0,780; 0,243; 0,234; 0,730; 0,817}	0,042
3	{1,114; -0,427; -0,038; -0,302; 1,547; -0,930; -0,874}	{0,805; 0,254; 0,253; 0,246; 0,739; 0,865; 0,840}	0,067
4	{0,919; -0,494; -0,108; -0,291; 0,072; 1,799; -0,669; -0,549; -0,458}	{0,963; 0,336; 0,310; 0,279; 0,291; 0,868; 1,011; 1,000; 1,152}	0,194
5	{1,197; -0,487; -0,338; -0,467; 0,094; -0,264; 1,628; -0,471; -0,271; -0,730; -0,892}	{1,131; 0,381; 0,402; 0,346; 0,334; 0,325; 0,957; 1,188; 1,126; 1,353; 1,330}	0,473

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученная регрессионная модель может быть представлена следующим образом:

$$\Delta Steel_t = 1,116 - 0,389 * \Delta Export_t + 1,771 * \Delta Export_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (2.4)$$

где $\Delta Steel_t$ – первая разность объемов производства стали в России в момент t ;
 $\Delta Export_t$ – первая разность доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России в момент t ;
 $\Delta Export_{t-1}$ – первая разность доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России в предыдущем периоде;
 ε_t – случайная ошибка модели.

При использовании лага 2 модель включает большее число параметров и характеризуется более высоким p-значением (0,041), что указывает на снижение степени статистической устойчивости по сравнению со спецификацией с лагом 1. С учетом принципа парсимонии и более высокой статистической значимости, для анализа краткосрочного влияния доли экспорта руд и металлов на объемы производства стали целесообразно использовать модель (2.4) с лагом 1.

Далее проведен анализ причинности по Грейнджеру между объемами производства стали в мире и долей импорта руд и металлов в структуре мирового товарного импорта (по данным World Bank [168]).

Рисунок 2.30 отражает динамику доли импорта руд и металлов в общем объеме мирового товарного импорта за период 2000–2023 гг.



Рисунок 2.30 – Динамика доли импорта руд и металлов от общего объемов товарного импорта в мире

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [168].

В начале рассматриваемого периода показатель находился в диапазоне 3,26–3,35%. В 2002 году зафиксировано снижение до 3,03%, что соответствует одному из минимальных значений за весь интервал наблюдений. С 2003 года начинается устойчивый рост, и к 2008 году доля достигает 4,96%, что совпадает с фазой активного расширения мировой промышленности.

В 2009 году на фоне глобального финансового кризиса показатель снижается до 4,16%, однако уже в 2010 году наблюдается восстановление, а в 2014 году фиксируется локальный максимум – 5,04%. В последующие годы доля колеблется в диапазоне 4–5%, с пиковыми значениями в 2015 году (5,29%) и 2020 году (4,74%). К 2023 году показатель стабилизируется на уровне 4,48%, что свидетельствует о сохранении относительной устойчивости структуры мирового импорта.

Результаты теста ADF при лагах от 1 до 5 показали следующие р-значения, представленные в таблице 2.43.

На первом лаге р-значение (0,636) существенно превышает 0,05, что указывает на наличие единичного корня и нестационарность ряда. Несмотря на

снижение р-значения на одном из лагов, в целом результаты не позволяют сделать вывод о стационарности уровня ряда.

Таблица 2.43 – Результаты теста ADF доли импорта руд и металлов в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,636
2	0,207
3	0,343
4	0,001
5	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Дополнительно проведен тест KPSS, проверяющий нулевую гипотезу стационарности.

Таблица 2.44 – Результаты теста KPSS доли импорта руд и металлов в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,267
2	0,157
3	0,124
4	0,108
5	0,101
6	0,101
7	0,105
8	0,113
9	0,126
10	0,145
11	0,170

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Значения статистики на малых лагах превышают критический уровень 5%, что дополнительно подтверждает нестационарность ряда на уровнях. В связи с этим для дальнейшего анализа были использованы первые разности показателей.

Для оценки возможной направленной взаимосвязи между динамикой производства стали и долей импорта руд и металлов был проведен тест причинности Грейнджера при лагах 1–5 для первых разностей переменных.

Результаты проверки влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли импорта руд и металлов представлены в таблице 2.45.

Таблица 2.45 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли импорта руд и металлов в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,634
2	0,730
3	0,726
4	0,902
5	0,927

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Во всех спецификациях р-значения существенно превышают 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимая направленная зависимость между динамикой производства стали и долей импорта руд и металлов не выявлена. Таким образом, изменения в объемах производства стали не оказывают систематического предсказательного воздействия на структуру мирового импорта руд и металлов. Это может свидетельствовать о том, что торговая структура формируется под влиянием более широких макроэкономических и ценовых факторов, тогда как динамика производства стали отражает преимущественно внутренние производственные и инвестиционные процессы.

Аналогичный анализ направленного влияния первых разностей импорта руд и металлов на первые разности объемов производства стали дал результаты, представленные в таблице 2.46.

Таблица 2.46 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей импорта руд и металлов и объемов производства стали в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,298
2	0,538
3	0,887
4	0,898
5	0,787

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Во всех спецификациях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимая направленная зависимость

между динамикой импорта руд и металлов и объемом производства стали в мире не выявлена.

Результаты тестов причинности и анализа стационарности свидетельствуют о том, что между объемами производства стали и долей импорта руд и металлов в структуре мирового товарного импорта отсутствует устойчивая предсказательная взаимосвязь. Несмотря на общую тенденцию к росту обоих показателей в рассматриваемый период, изменения одного из них не обладают статистически значимой способностью объяснять или прогнозировать изменения другого.

Отсутствие выявленной зависимости может быть обусловлено тем, что динамика производства стали определяется совокупностью факторов – внутренним и инвестиционным спросом, технологическими изменениями, промышленной политикой стран-производителей и глобальными производственными цепочками. В то же время структура мирового импорта руд и металлов формируется под влиянием конъюнктуры сырьевых рынков, ценовой динамики, внешнеторговых ограничений и макроэкономических циклов. Эти процессы не демонстрируют прямой и синхронной связи в рамках исследуемого временного интервала.

Следующим этапом проведен анализ взаимосвязи между объемом производства стали в России и долей импорта руд и металлов в структуре товарного импорта Российской Федерации (таблица 2.47 и 2.48). Рисунок 2.31 отражает динамику доли импорта руд и металлов в общем объеме товарного импорта в России за период 2000–2023 гг.

В начале рассматриваемого периода показатель составлял 6,37%, что является максимальным значением за весь анализируемый интервал. Уже к 2002 году доля сократилась до 4,78%, после чего снижение продолжилось, достигнув минимального уровня 1,34% в 2010–2011 годах.

С 2012 года наблюдается постепенное восстановление показателя, который достиг локального максимума 3,08% в 2019 году. В 2020–2023 годах динамика характеризуется стабилизацией на уровне около 2,9%, что свидетельствует о формировании относительно устойчивой структуры импорта по данной товарной группе.



Рисунок 2.31 – Динамика доли импорта руд и металлов от общего объемов товарного импорта в России (2000–2023 гг.)

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [168].

Для временного ряда доли импорта руд и металлов результаты теста Дики–Фуллера свидетельствуют о наличии единичного корня. Так, на первом лаге р-значение составило 0,594, что превышает уровень значимости 0,05 и указывает на нестационарность ряда. Аналогичные результаты получены и для других лаговых спецификаций (см. таблицу 2.47), что подтверждает устойчивый нестационарный характер временного ряда на уровнях.

Таблица 2.47 – Результаты теста Дики – Фуллера показателей импорта руд и металлов в России

Порядок лага	р-значение
1	0,594
2	0,690
3	0,846
4	0,920
5	0,782
6	0,845

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что временной ряд доли импорта руд и металлов в России является нестационарным на уровнях: во всех лаговых спецификациях р-значения превышают 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о наличии единичного корня. Аналогичные выводы были получены ранее для ряда объемов производства стали. Таким образом, оба исследуемых показателя характеризуются нестационарностью и требуют приведения к стационарному виду посредством взятия первых разностей для обеспечения корректности дальнейшего эконометрического анализа.

Результаты теста KPSS также подтверждают отсутствие стационарности на уровнях, особенно при малых лагах (см. таблицу 2.48).

Таблица 2.48 – Результаты теста KPSS показателей импорта руд и металлов в России

Порядок лага	р-значение
1	0,475
2	0,288
3	0,222
4	0,188
5	0,166
6	0,153
7	0,146
8	0,143
9	0,144
10	0,148
11	0,156

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

На первом лаге значение статистики KPSS (0,475) существенно превышает критический уровень 5%, что указывает на отклонение нулевой гипотезы о стационарности. Несмотря на постепенное снижение значений статистики при увеличении лага, ряд в целом демонстрирует признаки нестационарности на уровнях.

В связи с этим дальнейший анализ причинности осуществлялся для первых разностей исследуемых показателей.

С целью выявления возможной направленной зависимости между динамикой объемов производства стали и долей импорта руд и металлов (в процентах от

общего объема импорта) был проведен тест причинности по Грейнджеру при лагах от 1 до 5.

Результаты проверки гипотезы о наличии статистически значимого влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли импорта руд и металлов представлены в таблице 2.49.

Таблица 2.49 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и импорта руд и металлов в России

Порядок лага	р-значение
1	0,064
2	0,187
3	0,193
4	0,311
5	0,008

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

На лагах 1–4 р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет сделать вывод о наличии статистически значимой краткосрочной зависимости. Значение $p = 0,064$ на первом лаге приближается к пороговому уровню, однако формально не достигает статистической значимости.

Вместе с тем на пятом лаге р-значение составляет 0,008, что указывает на наличие статистически значимого отложенного эффекта. Данный результат свидетельствует о возможной среднесрочной (запаздывающей) взаимосвязи между динамикой производства стали и изменениями в структуре импорта. Однако выявленная зависимость требует дополнительной проверки на устойчивость и осторожной интерпретации с учетом экономической логики, объема выборки и особенностей лаговой структуры модели.

Аналогичный анализ направленного влияния первых разностей импорта руд и металлов на первые разности объемов производства стали представлен в таблице 2.50.

Во всех спецификациях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимое направленное влияние импорта руд и металлов на объемы производства стали в России не выявлено.

Таблица 2.50 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей импорта руд и металлов и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,186
2	0,598
3	0,238
4	0,256
5	0,308

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, в рамках российского анализа односторонняя зависимость проявляется только в направлении «объемы производства стали → доля импорта руд и металлов» и лишь на пятом лаге (см. таблицу 2.49).

Результаты регрессионного анализа (таблица 2.51) показывают статистическую значимость модели при лаге 5 ($p = 0,017$). Это указывает на наличие запаздывающего эффекта, проявляющегося на горизонте пяти лет.

Таблица 2.51 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей объема производства стали и импорта руд и металлов в России

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	р-значение
1	{-0,051; 0,355; 0,040}	{0,085; 0,155; 0,023}	0,101
2	{-0,084; 0,122; -0,005; 0,042; 0,033}	{0,091; 0,238; 0,193; 0,026; 0,029}	0,235
3	{-0,011; 0,203; -0,138; 0,147; 0,023; 0,027; -0,049}	{0,091; 0,238; 0,257; 0,186; 0,026; 0,029; 0,029}	0,187
4	{-0,006; 0,259; -0,036; 0,398; -0,051; 0,021; 0,037; -0,055; -0,013}	{0,097; 0,280; 0,275; 0,283; 0,206; 0,028; 0,030; 0,032; 0,033}	0,265
5	{0,036; 0,471; -0,326; 0,386; -0,541; 0,424; 0,051; 0,044; -0,079; 0,034; -0,027}	{0,067; 0,201; 0,199; 0,189; 0,210; 0,147; 0,021; 0,021; 0,022; 0,026; 0,023}	0,017

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Статистическая значимость на пятом лаге свидетельствует о наличии среднесрочного запаздывающего эффекта, при котором изменения в динамике производства стали могут отражаться в структуре импорта через несколько лет.

Однако отсутствие значимости на лагах 1–4 указывает на отсутствие краткосрочной устойчивой зависимости.

Полученная регрессионная модель:

$$\begin{aligned} \Delta Import_t = & 0,036 + 0,471 * \Delta Import_{t-1} - 0,326 * \Delta Import_{t-2} + 0,386 * \\ & * \Delta Import_{t-3} - 0,541 * \Delta Import_{t-4} + 0,424 * \Delta Import_{t-5} + 0,051 * \\ & * \Delta Steel_{t-1} + 0,044 * \Delta Steel_{t-2} - 0,079 * \Delta Steel_{t-3} + 0,034 * \Delta Steel_{t-4} - \\ & - 0,027 * \Delta Steel_{t-5} + \varepsilon_t, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $\Delta Import_t$ – первая разность доли импорта руд и металлов в структуре товарного импорта в России в момент времени t ;

$\Delta Steel_t$ – первая разность объемов производства стали в России в момент времени t ;

ε_t – случайная ошибка модели;

$\Delta Import_{t-k}$, $\Delta Steel_{t-k}$ – лаговые значения соответствующих первых разностей, $i = 1, \dots, 5$;

ε_t – случайная ошибка модели.

Положительные коэффициенты при лаговых значениях $\Delta Steel_t$ свидетельствуют о том, что увеличение объемов производства стали в предшествующие периоды ассоциировано с ростом первой разности доли импорта руд и металлов. Отрицательные коэффициенты, напротив, указывают на обратное направление влияния, то есть на снижение доли импорта при увеличении производства стали в соответствующих периодах.

Следует отметить, что выявленная статистическая значимость наблюдается преимущественно на пятом лаге, тогда как на более коротких лагах устойчивой зависимости не обнаружено. Это позволяет говорить о наличии запаздывающего (среднесрочного) эффекта, а не о стабильной краткосрочной взаимосвязи.

Модель может рассматриваться как инструмент анализа динамических зависимостей между показателями, однако ее использование в целях прогнозирования требует дополнительной проверки устойчивости оценок и диагностического анализа остатков. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии ограниченной и отложенной зависимости между динамикой объемов производства стали и изменениями доли импорта руд и металлов в России. При этом выявленная взаимосвязь не носит устойчивого

характера на коротких временных интервалах и должна интерпретироваться с учетом возможных структурных и институциональных факторов.

Далее проведен анализ взаимосвязи между объемами производства стали в России и официальным обменным курсом (LCU per US\$, среднее за период) [169].

Рисунок 2.32 отражает динамику курса рубля к доллару США за период 2000–2023 годов. В начале рассматриваемого интервала курс демонстрирует умеренные колебания: к 2003 году значение достигает 31,35 руб. за доллар, после чего наблюдается укрепление рубля до 27,19 руб. за доллар в 2007 году.

С 2008 года на фоне мирового финансового кризиса происходит резкое ослабление национальной валюты: в 2009 году курс составляет 31,74 руб. за доллар. В последующий период фиксируется повышенная волатильность и постепенная девальвация рубля, особенно в 2014–2015 годах, когда курс достигает 60,94 руб. за доллар.

В 2016–2023 годах динамика характеризуется дальнейшим ослаблением рубля, и в 2023 году курс достигает 85,16 руб. за доллар, что является одним из максимальных значений за рассматриваемый период.

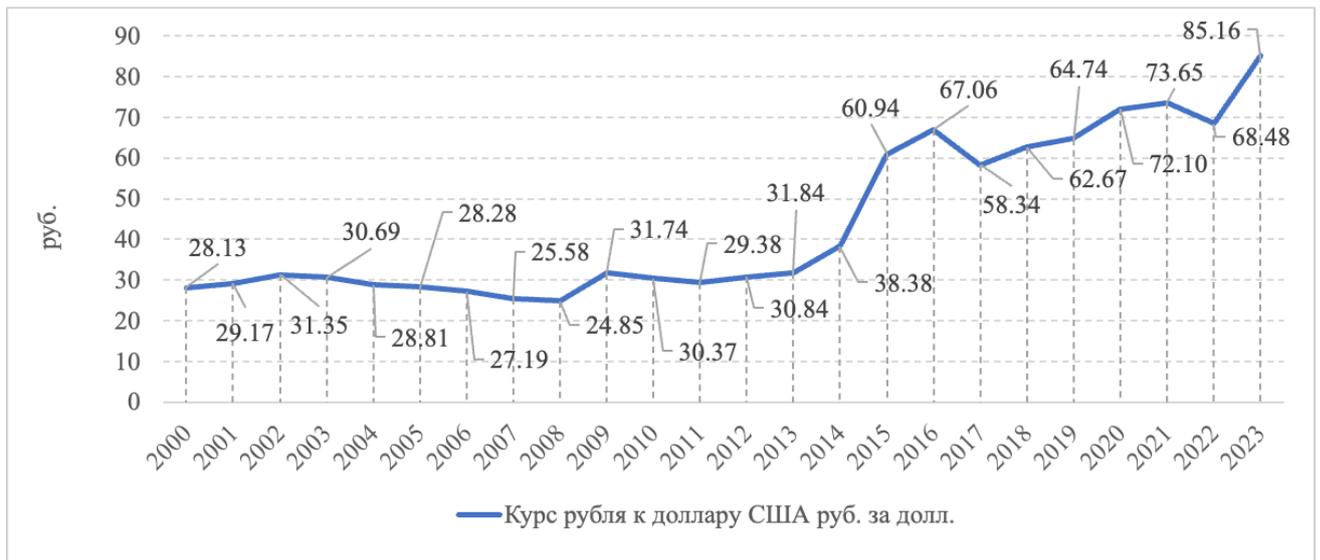


Рисунок 2.32 – Динамика официального обменного курса (LCU per US\$, среднее за период), с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [169].

Результаты теста Дики – Фуллера (таблица 2.52) свидетельствуют о наличии единичного корня. На первом лаге р-значение составляет 0,752, что существенно превышает уровень значимости 0,05 и указывает на нестационарность временного ряда на уровнях.

Таблица 2.52 – Результаты теста Дики – Фуллера для показателей официального обменного курса

Порядок лага	р-значение
1	0,752
2	0,596
3	0,816
4	0,645
5	0,764
6	0,134

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS (таблица 2.53) подтверждают данный вывод: на малых лагах значения статистики превышают критический уровень 5% (например, 0,427 на первом лаге), что также свидетельствует о нестационарности ряда на уровнях.

Таблица 2.53 – Результаты теста KPSS для показателей официального обменного курса

Порядок лага	р-значение
1	0,427
2	0,254
3	0,193
4	0,164
5	0,147
6	0,138
7	0,134
8	0,133
9	0,137
10	0,144
11	0,155

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, временной ряд обменного курса, как и ряд объемов производства стали, является нестационарным на уровнях, что обосновывает использование первых разностей в дальнейшем анализе.

При проверке гипотезы о наличии статистически значимого влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности обменного курса получены р-значения, представленные в таблице 2.54.

Таблица 2.54 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и официального обменного курса

Порядок лага	р-значение
1	0,559
2	0,217
3	0,568
4	0,740
5	0,921

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Во всех спецификациях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимая направленная зависимость между динамикой производства стали и обменным курсом не выявлена.

Иными словами, изменения объемов производства стали не обладают предсказательной способностью в отношении динамики обменного курса в рассматриваемом временном интервале.

В обратном направлении при оценке возможного влияния первых разностей обменного курса на первые разности объемов производства стали – получены результаты, представленные в таблице 2.55.

Таблица 2.55 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей обменного курса и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,058
2	0,195
3	0,300
4	0,423
5	0,337

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

На первом лаге р-значение (0,058) приближается к пороговому уровню 0,05, однако формально не достигает статистической значимости. На последующих лагах значимость отсутствует.

В целом полученные результаты не подтверждают устойчивой направленной зависимости между динамикой обменного курса и объемами производства стали. Следовательно, в рамках исследуемого периода статистически значимая грейнджеровская причинность между рассматриваемыми показателями не установлена.

Далее была исследована взаимосвязь между объемом производства стали в мире и долей добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в мировом ВВП (по данным Всемирного банка [170]) за период с 2000 по 2023 год. Рисунок 2.33 отражает динамику доли промышленной добавленной стоимости в мировом ВВП. В начале рассматриваемого периода показатель находился в диапазоне 26,29–27,73%, после чего в 2002 году снизился до 26,29%, что является одним из минимальных значений за анализируемый интервал.



Рисунок 2.33 – Динамика доли добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в мировом ВВП с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [170].

Начиная с 2004 года наблюдается постепенное восстановление: к 2007–2008 годам доля промышленности достигает 27,74–28,07%. В 2009 году, на фоне мирового финансового кризиса, фиксируется заметное сокращение показателя до 26,55%.

В 2010–2012 годах происходит восстановление до уровня 27,50–28,05%, что отражает оживление мировой промышленной активности. После 2013 года вновь прослеживается тенденция к снижению: к 2016 году доля уменьшается до 26,17%, что может быть связано со структурными сдвигами в глобальной экономике и ростом сектора услуг.

В последующие годы динамика характеризуется умеренной волатильностью: в 2018 году показатель достигает 27,13%, в 2020 году снижается до 26,00% на фоне пандемии COVID-19, затем краткосрочно восстанавливается до 27,22% в 2021–2022 годах, после чего вновь сокращается до 26,12% в 2023 году.

Результаты теста Дики – Фуллера представлены в таблице 2.56. На первом лаге р-значение составляет 0,203, что превышает уровень значимости 0,05 и не позволяет отвергнуть гипотезу о наличии единичного корня.

Следует отметить, что на отдельных лагах (например, лаг 2 и лаг 5) р-значения оказываются ниже 0,05. Однако отсутствие устойчивой значимости при варьировании лаговой структуры не позволяет сделать вывод о стационарности ряда на уровнях. В целом результаты ADF указывают на вероятную нестационарность временного ряда.

Таблица 2.56 – Результаты теста Дики-Фуллера для показателей доли добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП

Порядок лага	р-значение
1	0,203
2	0,031
3	0,208
4	0,119
5	0,000
6	0,120
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.	

Результаты теста KPSS (таблица 2.57) подтверждают вывод о нестационарности: уже на малых лагах значения статистики превышают критический уровень 5% (например, 0,213 на первом лаге). Это свидетельствует об отсутствии стационарности ряда на уровнях.

Таблица 2.57 – Результаты теста KPSS для показателей доли добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП

Порядок лага	р-значение
1	0,213
2	0,147
3	0,131
4	0,123
5	0,120
6	0,121
7	0,123
8	0,124
9	0,130
10	0,143
11	0,162

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, временной ряд доли промышленной добавленной стоимости, как и ранее рассмотренные макроэкономические показатели, характеризуется нестационарностью на уровнях, что обосновывает использование первых разностей в дальнейшем анализе причинности.

Для анализа возможной направленной взаимосвязи между объемом производства стали и долей добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП был проведен тест причинности по Грейнджеру с лаговой структурой от 1 до 5.

р-значения, полученные при проверке гипотезы о наличии направленного влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли добавленной стоимости промышленности, представлены в таблице 2.58.

На первом и третьем лагах р-значения (0,039 и 0,036 соответственно) оказываются ниже уровня значимости 0,05, что формально указывает на наличие краткосрочной грейнджеровской причинности. Однако на остальных лагах

статистическая значимость отсутствует, что свидетельствует о нестабильности выявленного эффекта и ограниченном характере взаимосвязи.

Таблица 2.58 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей доли добавленной стоимости промышленности и объемов производства стали в мире

Порядок лага	р-значение
1	0,039
2	0,127
3	0,036
4	0,113
5	0,157

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для дополнительной проверки устойчивости результатов был проведен регрессионный анализ с включением соответствующей лаговой структуры (таблица 2.59).

Таблица 2.59 – Результаты регрессионного анализа для первых разностей доли добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП и объемов производства стали

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	р-значение
1	{24,546; 0,449; -65,116}	{20,059; 0,295; 31,620}	0,053
2	{65,506; 0,590; -0,833; -65,424; 70,617}	{27,089; 0,309; 0,384; 32,744; 39,251}	0,061
3	{50,344; 0,707; -0,904; 0,192; -76,391; 74,733; -42,442}	{45,442; 0,363; 0,421; 0,508; 37,716; 44,330; 52,108}	0,121
4	{89,888; 0,600; -0,934; -0,238; -0,201; 82,118; 70,248; 5,219; -31,144}	{73,051; 0,359; 0,519; 0,547; 0,576; 38,316; 49,960; 60,652; 56,355}	0,154
5	{108,279; 0,335; -1,384; -0,312; -0,778; 0,926; -71,027; 93,947; 47,843; 1,728; -106,750}	{123,278; 0,578; 0,630; 0,747; 0,844; 0,684; 50,026; 56,888; 85,196; 81,964; 71,806}	0,270

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Как следует из таблицы 2.59, во всех спецификациях р-значения моделей превышают уровень значимости 0,05. Следовательно, регрессионные оценки не подтверждают устойчивость выявленного в тесте Грейнджера краткосрочного эффекта.

Таким образом, несмотря на формальное наличие статистической значимости на отдельных лагах в тесте причинности, регрессионный анализ не

позволяет говорить о стабильной и экономически интерпретируемой зависимости между динамикой добавленной стоимости промышленности и объемами производства стали в мире. Выявленный эффект носит эпизодический характер и не является устойчивым при расширении лаговой структуры модели.

При обратной проверке гипотезы – о наличии направленного влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП – были получены р-значения, представленные в таблице 2.60.

Таблица 2.60 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли добавленной стоимости промышленности в мировом ВВП

Порядок лага	р-значение
1	0,782
2	0,134
3	0,137
4	0,210
5	0,251

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Во всех случаях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. Следовательно, статистически значимого направленного влияния динамики производства стали на долю промышленной добавленной стоимости в мировом ВВП выявлено не было.

Далее была исследована взаимосвязь между объемом производства стали в России и долей добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в ВВП России за период 2000–2023 годов.

Рисунок 2.34 отражает динамику доли промышленной добавленной стоимости в ВВП России. В начале рассматриваемого периода показатель находился в диапазоне 31–33 %, однако к 2003 году снизился до 28,65%, что является одним из минимальных значений за анализируемый интервал.



Рисунок 2.34 – Динамика доли добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в ВВП России, 2000–2023 гг.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных Worldbank [170].

В 2004–2008 гг. доля промышленности частично восстановилась и колебалась в пределах 31–33 %, однако после 2009 года вновь снизилась до уровня около 29–30 %.

Несмотря на отдельные эпизоды роста (например, в 2017–2018 гг., когда показатель достигал 32,55 %), в целом динамика характеризуется умеренной волатильностью без выраженного долгосрочного тренда к устойчивому росту.

Результаты теста Дики–Фуллера (таблица 2.61) указывают на отсутствие устойчивой стационарности ряда на уровнях. На первом лаге p -значение составляет 0,226, что превышает уровень значимости 0,05. Хотя на отдельных лагах (2 и 5) p -значения оказываются ниже 0,05, отсутствие стабильного результата при изменении лаговой структуры не позволяет сделать вывод о стационарности временного ряда.

Результаты теста KPSS (таблица 2.62) подтверждают вывод о нестационарности: уже на малых лагах значения статистики превышают критический уровень 5 % (например, 0,228 на первом лаге), что свидетельствует об отсутствии стационарности ряда на уровнях.

Таблица 2.61 – Результаты теста Дики – Фуллера для доли добавленной стоимости промышленности в ВВП России

Порядок лага	р-значение
1	0,226
2	0,006
3	0,381
4	0,416
5	0,037
6	0,416

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 2.62 – Результаты теста KPSS для доли добавленной стоимости промышленности в ВВП России

Порядок лага	р-значение
1	0,228
2	0,153
3	0,139
4	0,134
5	0,129
6	0,127
7	0,128
8	0,132
9	0,141
10	0,155
11	0,172

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, временной ряд доли промышленной добавленной стоимости в ВВП России характеризуется нестационарностью на уровнях, что обосновывает использование первых разностей в дальнейшем анализе причинности.

Результаты теста причинности по Грейнджеру для проверки влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности доли добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в ВВП России представлены в таблице 2.63.

Во всех случаях р-значения значительно превышают стандартный уровень статистической значимости (0,05), что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии направленной зависимости. Следовательно, статистически значимого направленного влияния динамики производства стали на долю промышленной добавленной стоимости в ВВП России не выявлено.

Таблица 2.63 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и доли добавленной стоимости промышленности в ВВП России

Порядок лага	р-значение
1	0,350
2	0,865
3	0,864
4	0,886
5	0,957

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Аналогичная проверка была проведена для обратного направления — влияния первых разностей доли добавленной стоимости промышленности на первые разности объемов производства стали (таблица 2.64).

Таблица 2.64 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей доли добавленной стоимости промышленности в ВВП России и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,356
2	0,282
3	0,260
4	0,066
5	0,060

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

На большинстве лагов р-значения превышают уровень значимости 0,05. На лагах 4 и 5 значения (0,066 и 0,060 соответственно) приближаются к пороговому уровню, однако формально не достигают статистической значимости.

Таким образом, устойчивой направленной зависимости между рассматриваемыми показателями в российской экономике также не выявлено. Возможные слабые эффекты на более длительных лагах носят пограничный характер и не позволяют говорить о статистически надежной причинно-следственной связи.

Далее был проведен анализ статистической взаимосвязи между динамикой производства стали в России и количеством корпоративных санкций, введенных в отношении страны за период 2000–2023 годов.

В анализ были включены ежегодные данные по объему производства стали в России (млн тонн) и числу корпоративных санкций, введенных в соответствующем году. Данные по санкциям получены из базы SanctionsExplorer [171]. Рисунок 2.35 отражает динамику числа корпоративных санкций, введенных в отношении России в рассматриваемый период. Начиная с 2014 года наблюдается резкий рост санкционной активности, который усиливается после 2016 года. Максимальные значения приходятся на 2021–2022 годы, что связано с обострением международной политико-экономической ситуации.



Рисунок 2.35 – Динамика числа корпоративных санкций в отношении России, 2000–2023 гг.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования на основании данных SanctionsExplorer [171].

Результаты теста Дики – Фуллера для показателя числа корпоративных санкций представлены в таблице 2.65.

Полученные результаты носят неоднозначный характер. На отдельных лагах (2–4 и 6) р-значения ниже 0,05, что формально позволяет отвергнуть гипотезу о наличии единичного корня. Однако отсутствие устойчивости результатов при

изменении лаговой структуры (например, значение 1,000 на лаге 5) не позволяет сделать однозначный вывод о стационарности ряда на уровнях.

Таблица 2.65 – Результаты теста Дики – Фуллера для показателя числа корпоративных санкций

Порядок лага	р-значение
1	0,050
2	0,007
3	$8,400 \cdot 10^{-9}$
4	$6,878 \cdot 10^{-16}$
5	1,000
6	0,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS представлены в таблице 2.66.

Таблица 2.66 – Результаты теста KPSS для показателя числа корпоративных санкций

Порядок лага	р-значение
1	0,223
2	0,153
3	0,140
4	0,140
5	0,144
6	0,152
7	0,156
8	0,158
9	0,161
10	0,165
11	0,172

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты KPSS указывают на отсутствие устойчивой стационарности на уровнях при малых лагах. С учетом противоречивых результатов тестов ADF и KPSS, для дальнейшего анализа причинности целесообразно использовать первые разности временного ряда.

р-значения, полученные при оценке влияния первых разностей объемов производства стали на первые разности числа корпоративных санкций, представлены в таблице 2.67.

Таблица 2.67 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и числа корпоративных санкций

Порядок лага	р-значение
1	0,055
2	0,190
3	0,276
4	0,395
5	0,514

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

На первом лаге р-значение составляет 0,055, что близко к уровню статистической значимости 0,05, однако формально не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности. На последующих лагах р-значения существенно превышают порог 0,05, что указывает на отсутствие устойчивой направленной зависимости. Таким образом, статистически значимого влияния динамики производства стали на изменение числа корпоративных санкций выявлено не было.

В обратном направлении – при проверке гипотезы о влиянии первых разностей числа корпоративных санкций на первые разности объемов производства стали – получены следующие результаты (таблица 2.68).

Таблица 2.68 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей числа корпоративных санкций и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,070
2	0,273
3	0,347
4	0,528
5	0,249

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Результаты тестов Грейнджера не позволяют сделать вывод о наличии статистически подтвержденной причинно-следственной связи между производством стали в России и корпоративными санкциями в рассматриваемом периоде.

Следует отметить, что р-значения на первом лаге в обоих направлениях оказываются близкими к 0,05, что может указывать на возможный краткосрочный

эффект. Однако данный эффект носит пограничный характер и не является устойчивым при расширении лаговой структуры модели.

Отдельные эпизоды (например, 2014 и 2022 годы), характеризующиеся одновременным ростом санкционной нагрузки и снижением производства, могут отражать кратковременные адаптационные реакции экономики. Тем не менее, статистический анализ временных рядов не подтверждает наличие системной и устойчивой причинности.

Таким образом, влияние санкционного фактора на динамику производства стали, если и присутствует, носит эпизодический и краткосрочный характер и не проявляется в виде стабильной предсказательной зависимости в рамках примененной модели.

Проведем анализ взаимосвязи между объемами производства стали в России и мировыми ценами на железную руду (данные получены с сайта Market Index [172]). Рисунок 2.36 демонстрирует динамику цен на железную руду за период 2000–2023 годов, отражая изменения конъюнктуры сырьевого рынка.



Рисунок 2.36 – Динамика мировых цен на железную руду за период с 2000 по 2023 г.

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В начале периода цены на железную руду остаются относительно низкими и стабильными. Существенное ускорение роста начинается с 2005 года: цена

повышается примерно до 28 долл., а в 2006–2007 годах достигает 33–37 долл., что соответствует усилению глобального спроса со стороны быстрорастущих экономик и расширению металлургического производства. В 2008–2010 годах наблюдается резкое повышение цен (до порядка 170 долл. в 2010 году), после чего в середине 2010-х годов начинается фаза коррекции: в 2014–2015 годы стоимость снижается (примерно до 43 долл. в 2015 году). В 2016–2018 годах рынок демонстрирует восстановление и относительную стабилизацию цен. В 2020 году фиксируется очередной скачок, связанный с постпандемийным восстановлением и логистическими ограничениями; в 2021–2023 годах наблюдается корректировка и колебательная динамика цен.

Для оценки стационарности временного ряда цен на руду был применен ADF-тест. Полученные р-значения (таблица 2.69) демонстрируют чувствительность результатов к выбору числа лагов: на лагах 1–4 нулевая гипотеза о единичном корне отвергается (или находится на границе отклонения на лаге 1), тогда как на лагах 5–6 р-значения равны 1,000, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу. Следовательно, ADF-тест дает неустойчивые результаты, и вопрос стационарности ряда не может считаться однозначно решенным только на его основе.

Таблица 2.69 – Результаты ADF-теста для показателей цен на железную руду

Порядок лага	р-значение
1	0,050
2	0,007
3	$8,3999 \cdot 10^{-9}$
4	$6,87821 \cdot 10^{-16}$
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Дополнительно был использован тест KPSS, проверяющий нулевую гипотезу стационарности. Значения статистики KPSS (таблица 2.70) превышают критический уровень на ранних лагах (например, 0,245 на лаге 1), что указывает в пользу нестационарности ряда. В совокупности результаты ADF и KPSS

свидетельствуют о том, что ряд цен на железную руду обладает признаками нестационарности, поэтому для последующего анализа целесообразно использовать первые разности.

Таблица 2.70 – Результаты KPSS-теста для показателей цен на железную руду

Порядок лага	р-значение
1	0,245
2	0,145
3	0,113
4	0,099
5	0,094
6	0,097
7	0,106
8	0,118
9	0,134
10	0,156
11	0,181

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

р-значения, полученные при проверке гипотезы о наличии направленного влияния первых разностей объемов производства стали в России на первые разности цен на железную руду, представлены в таблице 2.71.

Таблица 2.71 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали в России и цен на железную руду

Порядок лага	р-значение
1	0,550
2	0,044
3	0,125
4	0,176
5	0,004

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

На лагах 2 и 5 р-значения оказываются ниже уровня значимости 0,05 (0,044 и 0,004 соответственно), что формально указывает на наличие грейнджеровской причинности на отдельных временных сдвигах. Это может свидетельствовать о возможном запаздывающем эффекте, при котором изменения в объемах производства стали ассоциированы с последующими изменениями цен на руду.

Однако на остальных лагах статистическая значимость отсутствует, что указывает на нестабильность выявленного эффекта и отсутствие устойчивой зависимости при варьировании лаговой структуры.

Для дополнительной проверки устойчивости результатов был проведен регрессионный анализ (таблица 2.72).

Таблица 2.72 – Результаты регрессионного анализа с применением теста причинности Грейнджера по лагам для первых разностей объемов производства стали в России и цен на железную руду

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	p-значения
1	{8,176;-0,072;-3,819}	{6,601;0,219;1,887}	0,057
2	{6,309;0,016;0,011;-3,309;1,770}	{7,991;0,269;0,255;2,321;2,533}	0,223
3	{5,005;0,005;0,036;0,112; -3,221;1,619;0,987}	{9,570;0,299;0,308;0,285;2,561;2,930; 2,902}	0,495
4	{7,803;-0,002;0,091;0,057;-0,175; -4,120;1,411;0,913;-1,951}	{12,093;0,336;0,359;0,371;0,371; 3,193;3,378;3,334;3,653}	0,660
5	{2,708;-0,062;0,213;-0,102;0,331; -0,801;-4,461;1,278;2,973;-0,347;4,573}	{8,700;0,227;0,239;0,258;0,288;0,249; 2,195;2,468;2,279;2,453;2,472}	0,225
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.			

Как следует из таблицы 2.72, во всех спецификациях регрессионных моделей p-значения уравнений превышают уровень значимости 0,05. Это означает, что при расширении лаговой структуры и оценке полной динамической модели статистическая значимость не сохраняется.

Таким образом, несмотря на формальное выявление грейнджеровской причинности на отдельных лагах (2 и 5), регрессионный анализ не подтверждает устойчивости данной зависимости. Выявленный эффект носит эпизодический характер и не может рассматриваться как стабильная и экономически интерпретируемая причинно-следственная связь. Теоретически сталь не должна устойчиво определять мировые цены на руду, так как Россия не является доминирующим глобальным ценовым игроком по сравнению с Китаем.

В обратном направлении – при проверке гипотезы о наличии влияния первых разностей цен на железную руду на первые разности объемов производства стали в России – были получены следующие p-значения (таблица 2.73).

Таблица 2.73 – Результаты теста причинности на железную руду и объемов производства стали в России

Порядок лага	р-значение
1	0,118
2	0,352
3	0,580
4	0,675
5	0,706

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех случаях значения превышают уровень статистической значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии грейнджеровской причинности.

Следовательно, статистически значимого направленного влияния динамики цен на железную руду на объемы производства стали в России в рассматриваемом периоде выявлено не было.

Проведенный статистический анализ взаимосвязей между производством стали, валовым внутренним продуктом (ВВП), уровнем электрификации населения, валовым накоплением капитала, долей экспорта и импорта сырья, валютными курсами, корпоративными санкциями и ценами на сырьевые ресурсы был осуществлен как для мировой экономики, так и для экономики России за период 2000–2023 годов (таблица 2.74).

Результаты тестов на стационарность (ADF и KPSS) показали, что большинство временных рядов характеризуются нестационарностью на уровнях. В связи с этим дальнейшие процедуры – тесты причинности по Грейнджеру и регрессионное моделирование – проводились на стационарных преобразованиях, а именно на первых разностях исследуемых показателей.

«Да» означает наличие статистически значимой грейнджеровской причинности при уровне значимости $p < 0,05$; в скобках указаны лаги, на которых связь значима.

Таблица 2.74 – Результаты тестов причинности по Грейнджеру (на основе регрессионных моделей)

Переменная 1	Переменная 2	Грейнджер: 1→2	Грейнджер: 2→1
Объемы производства стали (мир)	ВВП (мир)	Нет	Да (лаги 1–2)
Объемы производства стали (Россия)	ВВП (Россия)	Нет	Нет
Объемы производства стали (мир)	Доля населения с доступом к электроэнергии, % от населения (мир)	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Доля населения с доступом к электроэнергии, % от населения (Россия)	Нет	Нет
Объемы производства стали (мир)	Доля валового накопления основного капитала (% от ВВП)	Да (лаг 1)	Да (лаг 1)
Объемы производства стали (Россия)	Доля валового накопления основного капитала (% от ВВП) (Россия)	Нет	Нет
Объемы производства стали (мир)	Доля экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта (мир)	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Доля экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта (Россия)	Нет	Да (лаги 1–2)
Объемы производства стали (мир)	Доля импорта руд и металлов как доля от общего объема товарного импорта (мир)	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Доля импорта руд и металлов как доля от общего товарного импорта (Россия)	Да (лаг 5)	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Официальный обменный курс	Нет	Нет
Объемы производства стали (мир)	Доля добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в мировом ВВП	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Доля добавленной стоимости промышленности (включая строительство) в ВВП России	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Число корпоративных санкций в отношении России	Нет	Нет
Объемы производства стали (Россия)	Мировая цена на руду	Нет	Нет

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В работе был реализован комплексный статистический анализ взаимосвязей между объемами мирового и российского производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами в долгосрочной динамике за период 2000–2023 годов. Исследование основано на инструментарии анализа временных рядов, включая тесты на стационарность (ADF, KPSS), тесты причинности по Грейнджеру и регрессионное моделирование с лаговой структурой.

Полученные результаты свидетельствуют о преимущественно слабой и нестабильной направленной взаимосвязи между динамикой производства стали и большинством рассмотренных макроэкономических показателей. В ряде случаев выявлялась краткосрочная грейнджеровская причинность на отдельных лагах, однако такие эффекты носили эпизодический характер и не подтверждались как устойчивые при расширении лаговой структуры моделей.

Таким образом, проведенный комплексный анализ позволяет сделать вывод о том, что производство стали – как на мировом уровне, так и в российской экономике – демонстрирует ограниченную предсказательную зависимость от большинства исследованных макроэкономических факторов в рамках примененной модели. Это указывает на сложный, многофакторный и циклический характер функционирования отрасли, а также на необходимость учета структурных и институциональных особенностей при интерпретации выявленных статистических взаимосвязей.

В работе Ф. Раваццо и Дж. Веспианьи мировое производство стали рассматривается как опережающий индикатор реальной экономической активности, позволяющий повышать точность прогнозирования ВВП по сравнению с традиционными авторегрессионными моделями [173]. Авторы показывают, что колебания объемов производства стали отражают более широкие экономические процессы, что усиливает взаимосвязь между промышленной динамикой и макроэкономическим состоянием.

П. Сринивасан и соавторы выявили двустороннюю причинно-следственную связь по Грейнджеру между производством стали и экономическим ростом [174]. Их результаты свидетельствуют о том, что изменения объемов производства стали не только реагируют на колебания ВВП, но и сами оказывают влияние на экономическую динамику, подчеркивая взаимозависимый характер данных процессов.

Исследование П. Пола и П. Митры, посвященное индийской экономике, демонстрирует устойчивую положительную связь между потреблением стали и ВВП на душу населения [175]. Авторы связывают выявленные закономерности с

индустриализацией и инвестиционной активностью, что подтверждает роль металлургического сектора как индикатора экономического развития.

Полученные в настоящем исследовании результаты частично согласуются с указанными работами. В частности, для мировой выборки была выявлена обратная грейнджеровская причинность от ВВП к объемам производства стали на первом и втором лагах, что соответствует гипотезе о чувствительности отрасли к фазам экономического цикла. Однако устойчивой двусторонней связи, подобной обнаруженной в ряде зарубежных исследований, выявлено не было.

З. Хан и соавторы, применяя модель ARDL и тесты причинности по Грейнджеру, исследовали взаимосвязи между индустриализацией, потреблением энергии и экономическим производством в Пакистане [176]. Их выводы подчеркивают значимость энергетического фактора для промышленного роста, особенно в энергоемких секторах, к которым относится и металлургия.

Аналогичные результаты представлены в исследовании И. Альсаеди и Г. Туларамы, использовавших VAR-моделирование для анализа взаимосвязей между потреблением электроэнергии, ВВП и пиковой нагрузкой в Саудовской Аравии [177]. Авторы обнаружили одностороннюю причинно-следственную связь от ВВП к потреблению электроэнергии, что подтверждает зависимость промышленной активности от энергетической обеспеченности.

В то же время проведенный в настоящей работе анализ не выявил статистически значимой взаимосвязи между объемами производства стали и долей населения с доступом к электроэнергии как на мировом уровне, так и в России. Это может быть связано с тем, что рассматриваемый показатель отражает уровень инфраструктурного развития в целом, но не чувствителен к краткосрочной динамике промышленного производства.

Таким образом, сопоставление результатов настоящего исследования с существующей научной литературой показывает, что производство стали действительно связано с макроэкономической динамикой, однако характер и устойчивость этих взаимосвязей существенно различаются в зависимости от страны, структуры экономики и временного интервала анализа.

Полученные результаты могут быть использованы для выявления потенциальных опережающих индикаторов инвестиционной и промышленной активности, а также для формирования сценариев индустриального развития.

Осуществив статистический анализ влияния макроэкономических факторов на производство стали, далее целесообразно перейти к рассмотрению комплексного подхода к прогнозированию развития российского металлургического комплекса.

2.3 Комплексный статистический подход к прогнозированию развития металлургического комплекса

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Прогнозирование производства стали и мирового торгового баланса руды и металлов с использованием метода ARIMA» [178].

Модель авторегрессии интегрированного скользящего среднего (ARIMA) является одним из базовых инструментов прогнозирования временных рядов и может рассматриваться как методологически обоснованная альтернатива более сложным эконометрическим конструкциям благодаря относительной простоте, прозрачности спецификации и высокой интерпретируемости результатов [179]. Широкое применение ARIMA в экономике, энергетике, медицине и аграрном секторе подтверждает универсальность данного инструмента [180, 181]. Модель ARIMA (p, d, q) основана на использовании прошлых значений временного ряда и

лагированных ошибок прогнозирования. Здесь p обозначает порядок авторегрессии, d – степень интегрирования (число разностей для достижения стационарности), q – порядок компоненты скользящего среднего. Корректный выбор параметров определяет способность модели адекватно отражать внутреннюю структуру временного ряда и обеспечивает точность прогноза [180].

Надежность прогнозирования требует статистической валидации результатов. Для оценки точности используются показатели средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратической ошибки (RMSE), позволяющие количественно сопоставить прогнозные и фактические значения [182]. Эмпирические исследования показывают, что при корректной параметризации ARIMA обеспечивает устойчивые краткосрочные и среднесрочные прогнозы [182].

Практическая применимость модели подтверждена в отраслевых исследованиях металлургии. Л. Чжан использует ARIMA для прогнозирования импорта и экспорта стали, подчеркивая ее эффективность при моделировании линейной динамики торговых потоков [183]. Б. Гайдзик и Р. Вольняк анализируют реакцию производства стали на внешние шоки, включая пандемию COVID-19, с применением ARIMA-моделей [184]. Т. Малыса отмечает значимость ARIMA для прогнозирования объемов производства в условиях отраслевой нестабильности [185], С. Рахмаван подтверждает универсальность модели при анализе экспортной стоимости железа и стали [186].

В условиях высокой цикличности металлургического сектора и волатильности внешнеторговых показателей применение ARIMA-моделирования позволяет выявлять внутренние закономерности динамики производства стали и формировать статистически обоснованные прогнозные сценарии. Это создает аналитическую основу для оценки инвестиционной активности и принятия стратегических управленческих решений в рамках комплексной модели стратегического потенциала.

Качество прогнозирования требует обязательной статистической валидации. Для оценки точности прогнозов целесообразно использовать метрики средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратической ошибки (RMSE),

позволяющие количественно сопоставить прогнозные и фактические значения. Эмпирические исследования подтверждают, что при корректной параметризации модель ARIMA обеспечивает надежные краткосрочные и среднесрочные прогнозы [187]. В условиях высокой цикличности металлургического сектора и значительной волатильности внешнеторговых показателей применение ARIMA-моделирования позволяет выявить внутренние закономерности динамики производства стали и сформировать статистически обоснованные прогнозные сценарии развития отрасли. Это, в свою очередь, создает основу для более точной оценки инвестиционной активности и стратегического планирования развития металлургического комплекса.

Сравнительные исследования демонстрируют, что модели ARIMA нередко обеспечивают более высокую точность прогнозирования по сравнению с альтернативными методами анализа временных рядов. В частности, С. Фатима и А. Рахими отмечают преимущество ARIMA при моделировании производственной динамики в обрабатывающих отраслях [188]. Способность модели учитывать как восходящие, так и нисходящие фазы производственного цикла делает ее особенно релевантной для отраслей с выраженной цикличностью, включая металлургию.

Методологические основы применения ARIMA в экономическом анализе подробно разработаны в трудах С.А. Айвазяна, В.С. Мхитаряна и Г.Г. Канторовича [189, 190], где рассматриваются вопросы идентификации структуры модели, оценки параметров и диагностики качества спецификации. Данные положения формируют теоретическую основу корректного построения прогностических моделей.

Практика применения ARIMA охватывает различные уровни экономического анализа. На макроэкономическом уровне модель используется для прогнозирования динамики товарных и финансовых рынков (А.Д. Лебедева – цены на золото [191].; Н.Д. Трифонова и В.В. Карасев – доходность биржевых активов [192]; А.В. Трегуб и И.В. Трегуб – финансовые временные ряды [193]). На региональном уровне ARIMA применяется для прогнозирования индекса потребительских цен и внешнеторговых показателей (Е.Ю. Шабанова [194];

Ж.Г. Нурсултанова [195]). На микроэкономическом уровне модель используется при анализе финансовых результатов предприятий и компаний (Г.Г. Мингазова [196]; З.П. Айдынов и соавторы [197]).

Таким образом, эмпирические исследования подтверждают универсальность и прогностическую состоятельность ARIMA-моделирования в различных секторах экономики. С учетом выраженной цикличности и чувствительности металлургической отрасли к внешним шокам применение ARIMA в рамках комплексного анализа стратегического потенциала является методологически оправданным и позволяет формировать статистически обоснованные прогнозные сценарии развития отрасли.

В рамках настоящего исследования разработана и апробирована методика прогнозирования ключевых статистических показателей развития мировой и российской сталелитейной промышленности на основе моделей временных рядов ARIMA. Методика ориентирована на формирование количественных ориентиров, которые могут использоваться в качестве сценарных предпосылок при статистическом анализе, оценке потенциала отрасли и разработке стратегических решений.

Этапы реализации методики прогнозирования ключевых показателей развития сталелитейной промышленности представлены на рисунке 2.37 и включают следующие элементы:

1. Сбор и структурирование исторических данных. В качестве информационной базы использованы открытые данные Всемирной ассоциации стали, Всемирного банка, а также статистические сведения о динамике мировых цен на железную руду за период 2000–2023 годов. Данные были приведены к сопоставимому виду и агрегированы по единым временным интервалам.

2. Предобработка временных рядов. Данный этап включал логарифмирование, выявление и корректировку выбросов, нормализацию показателей, а также дифференцирование рядов для достижения стационарности. Проверка стационарности осуществлялась с использованием тестов ADF и KPSS.

3. Построение моделей ARIMA (p, d, q). Для каждого показателя индивидуально подбиралась оптимальная спецификация модели на основе информационных критериев (AIC, BIC). Дополнительно проводилась диагностика остатков модели и оценка прогностической точности с использованием показателей MAE, MSE и RMSE.

4. Формирование прогнозных траекторий. Прогнозирование осуществлялось на 15-летний горизонт, что позволило выявить долгосрочные тенденции развития отрасли, включая устойчивый рост, фазу стабилизации либо затухающие колебания.

5. Интерпретация и интеграция в стратегический контекст. Полученные прогнозные значения рассматриваются как входные параметры для оценки устойчивости отрасли, ресурсной обеспеченности, экспортного потенциала и ценовой чувствительности. Результаты также используются при построении сценариев в рамках когнитивного моделирования стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса России.

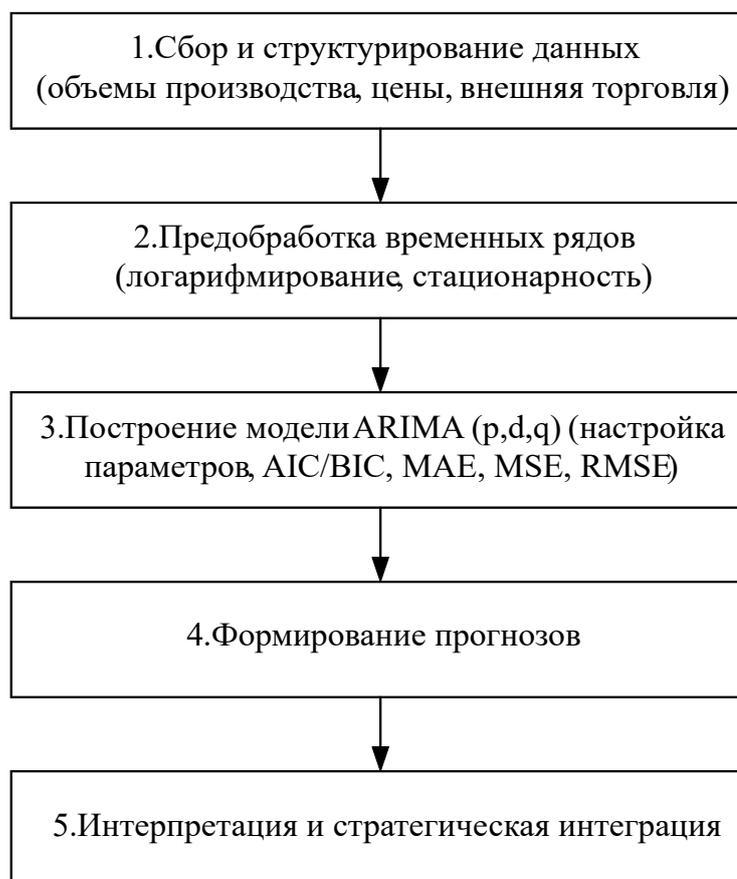


Рисунок 2.37 – Этапы методики прогнозирования статистических ключевых показателей развития сталелитейной мировой и российской промышленности

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В отличие от стандартной процедуры идентификации ARIMA-моделей, предложенная методика ориентирована на отраслевую адаптацию параметров и интеграцию результатов прогнозирования в систему стратегического и когнитивного анализа металлургического комплекса. Отличительные особенности предложенного комплексного статистического подхода к прогнозированию ключевых параметров развития сталелитейной промышленности России заключаются в следующем:

- учет отраслевой специфики металлургического комплекса (высокая капиталоемкость, цикличность, волатильность сырьевых рынков, зависимость от внешнеторговой конъюнктуры и санкционных факторов);

- адаптивность модели к структуре конкретного временного ряда и индивидуальный подбор параметров ARIMA;

- интеграция количественного прогнозирования с качественными методами анализа (в частности, с нечеткими когнитивными картами), что повышает системность и обоснованность стратегических управленческих решений.

Прогнозирование всех показателей осуществлялось на основе данных Всемирного банка и Всемирной ассоциации стали, представленных в разд. 2.2 настоящей диссертации. Обработка данных и построение моделей выполнялись в программной среде Wolfram Mathematica 13.3.0 с использованием зарегистрированной программы для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы № 2024669747, Российская Федерация. «Прогнозирование данных на основе модели ARIMA», № 2024668970, А.А. Курилова, Л.Д. Савенков).

Предварительный анализ включал стандартные процедуры предобработки временных рядов: логарифмирование показателей, корректировку выбросов и приведение данных к допустимому диапазону значений, исключающему нулевые и аномально малые наблюдения. Данные преобразования обеспечили устойчивость оценок и корректность параметризации модели.

Для прогнозирования мирового объема производства стали была выбрана модель ARIMA (0,1,0). Данная спецификация соответствует интегрированному процессу первого порядка без авторегрессионной и скользящей компонент и

отражает динамику ряда с устойчивым трендом и отсутствием выраженной автокорреляционной структуры в разностях. По сути, модель описывает динамику как случайное блуждание с дрейфом, что адекватно характеру долгосрочного развития мирового производства стали.

Построенный прогноз на 15-летний горизонт (рисунок 2.38) демонстрирует продолжение положительной динамики: ожидается прирост объема производства стали в мире на 15–25 млн тонн ежегодно, что может привести к достижению уровней выше 2,1 млрд тонн к середине 2030-х годов. Точностные характеристики модели, включая среднюю абсолютную и среднеквадратичную ошибки, свидетельствуют о приемлемом уровне достоверности полученных оценок (Mean Absolute Error (MAE): 0,712; Mean Squared Error (MSE): 0,514; Root Mean Squared Error (RMSE): 0,717; AIC модели: -140,568; BIC модели: -130,946).

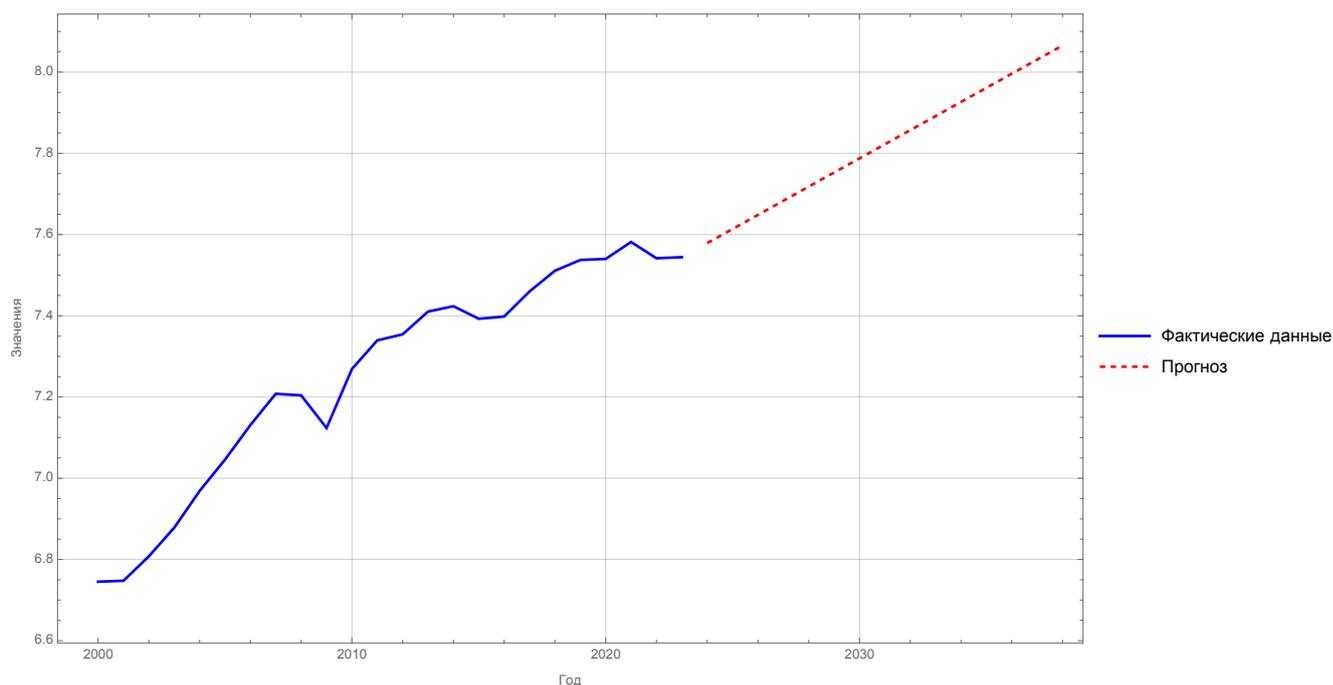


Рисунок 2.38 – График прогноза производства стали в мире, построенный с использованием метода ARIMA

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Низкие значения MAE и RMSE свидетельствуют о незначительном среднем отклонении прогнозных значений от фактических наблюдений, а близость этих показателей указывает на отсутствие существенных выбросов и экстремальных

ошибок. Значение MSE подтверждает устойчивость модели с точки зрения квадратичной функции потерь.

Информационные критерии AIC и BIC отражают оптимальное соотношение между качеством аппроксимации и сложностью модели. Отрицательные значения данных критериев указывают на высокую степень соответствия модели исходным данным при минимальной параметрической нагрузке, что подтверждает корректность выбора спецификации ARIMA (0,1,0).

Таким образом, совокупность диагностических показателей свидетельствует об адекватности построенной модели и позволяет использовать ее для формирования долгосрочных прогнозных сценариев развития мирового производства стали.

Таким образом, мировой сталелитейный сектор сохраняет долгосрочную устойчивость, а его рост обусловлен в первую очередь структурным спросом, индустриализацией развивающихся стран и масштабными инфраструктурными программами. Представленный прогноз может быть использован как ориентир при разработке стратегий в области металлургии, логистики и энергетической политики.

Прогноз динамики объемов производства стали в России (рисунок 2.39) построен на основе временного ряда за период с 2000 по 2023 год. Характер движения ряда отражает умеренно волатильную, но в целом стабильную траекторию развития отрасли, без резких спадов или взлетов, что типично для зрелых промышленных сегментов, адаптированных к колебаниям спроса и макроэкономическим вызовам.

В отличие от мировой динамики, для российского временного ряда оптимальной оказалась модель ARIMA (1,1,1), включающая компоненту интегрирования, а также авторегрессионную и скользящую составляющие. Такая спецификация учитывает как необходимость дифференцирования ряда для достижения стационарности, так и наличие краткосрочной зависимости между текущими значениями показателя, его предыдущими уровнями и ошибками прогнозирования. Это свидетельствует о более сложной внутренней динамике

российской сталелитейной отрасли, вероятно обусловленной влиянием макроэкономических циклов, внутреннего спроса и экспортных ограничений.

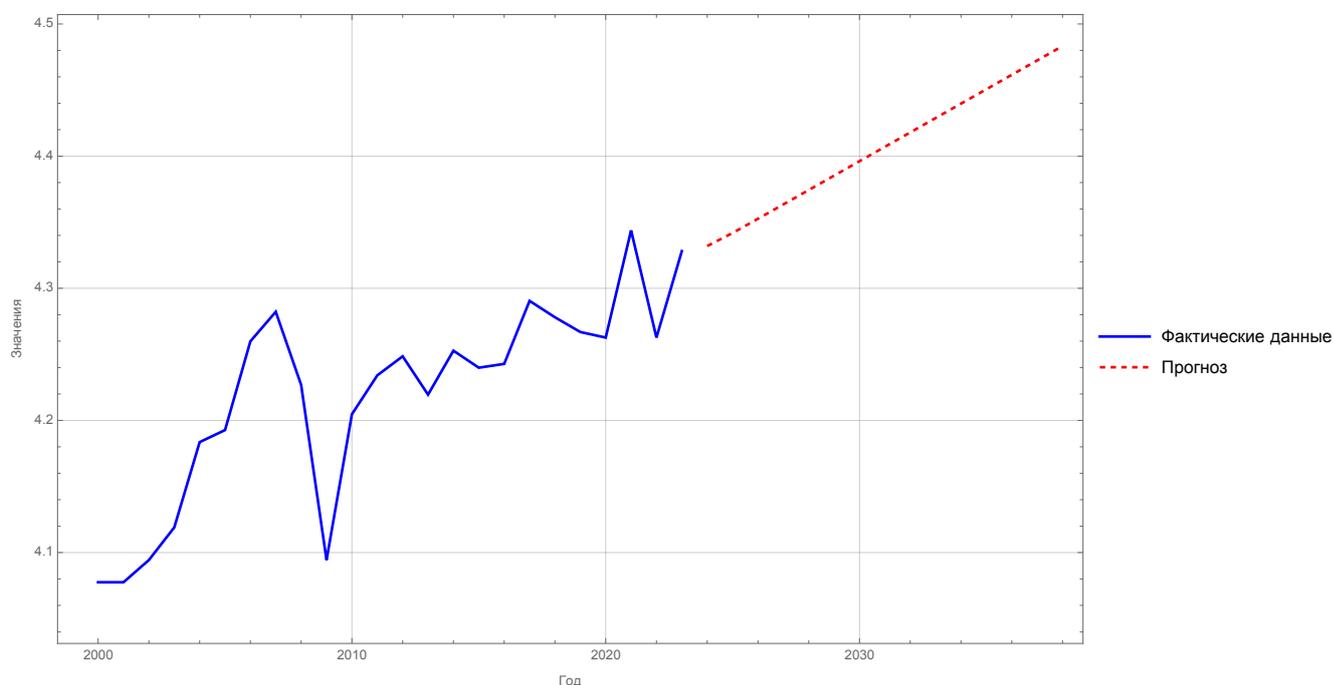


Рисунок 2.39 – График прогноза производства стали в России, построенный с использованием метода ARIMA

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Прогноз на 15-летний горизонт предполагает сохранение текущих объемов производства с умеренными колебаниями. Ожидаемые значения находятся в диапазоне 70–75 млн тонн в год, что соответствует текущему производственному потенциалу страны при условии сохранения существующей инфраструктурной базы и устойчивых экспортных каналов.

Низкие значения ошибок прогнозирования ($MAE = 0,223$; $MSE = 0,052$; $RMSE \approx 0,223$ в логарифмическом масштабе) подтверждают высокую точность модели и ее применимость для кратко- и среднесрочного анализа. Дополнительным подтверждением адекватности спецификации служат информационные критерии: $AIC = -138,52$ и $BIC = -133,782$, указывающие на оптимальное соотношение качества аппроксимации и сложности модели.

Таким образом, российская сталелитейная промышленность характеризуется стабильной и инерционной траекторией развития с ограниченным потенциалом

ускоренного роста в среднесрочной перспективе. Данная динамика может быть обусловлена насыщением внутреннего рынка и действием внешнеэкономических ограничений. Вместе с тем устойчивость прогнозируемых объемов свидетельствует о структурной адаптивности отрасли к текущим условиям функционирования.

Прогноз цен на железную руду (рисунок 2.40) основан на анализе временного ряда за период 2000–2023 годов. Динамика показателя характеризуется высокой волатильностью: от уровней ниже 15 долл. за тонну в начале периода до пиковых значений свыше 170 долл. в 2010-х годах и в постпандемийный период. Среднее значение за анализируемый интервал составило 79 долл., медианное – 72 долл., при стандартном отклонении около 52 долл., что подтверждает значительную вариативность рынка.

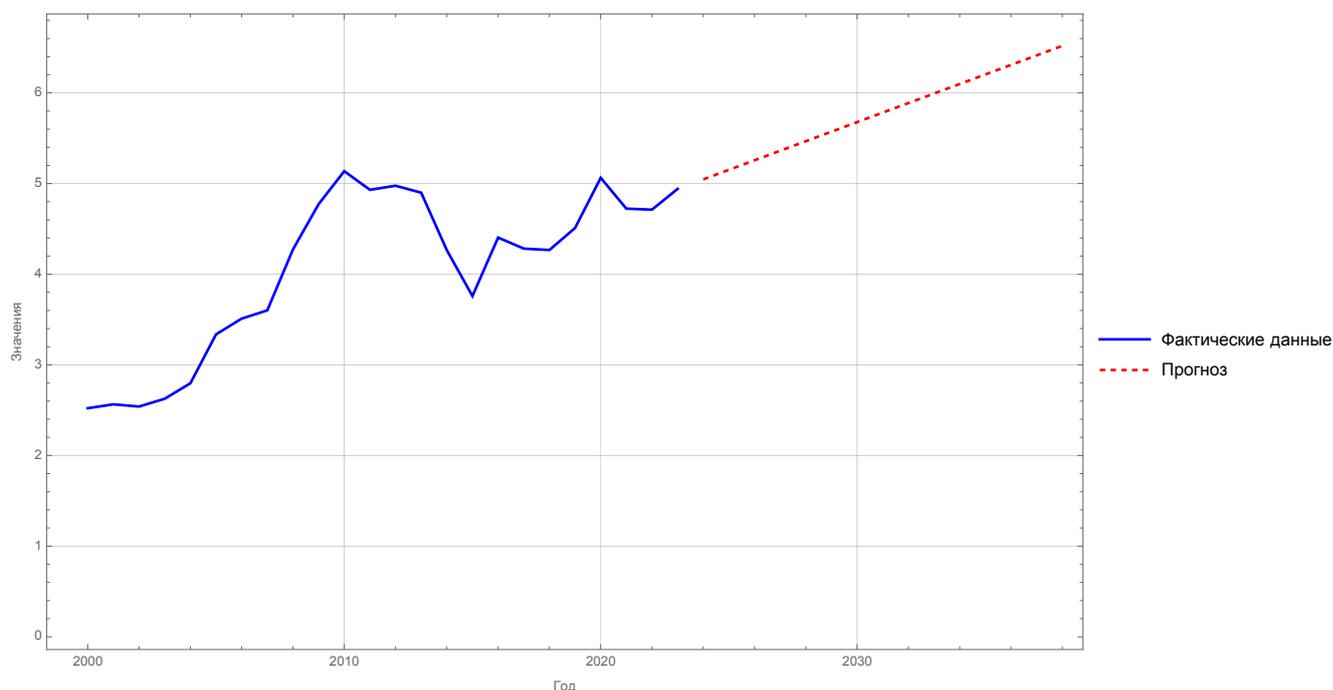


Рисунок 2.40 – Прогноз цен на железную руду, построенный с использованием модели ARIMA

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сложность рассматриваемого временного ряда обусловлена совокупностью факторов: изменением глобального спроса, колебаниями в строительном секторе Китая, сырьевой конъюнктурой, логистическими ограничениями и

геоэкономическими кризисами. После логарифмирования и нормализации данных была достигнута стационарность преобразованного ряда, что позволило корректно применить ARIMA-моделирование.

Для прогнозирования использована модель ARIMA (0,1,0), соответствующая процессу случайного блуждания с дрейфом без авторегрессионной и скользящей компонент. Выбор данной спецификации обусловлен отсутствием устойчивых автокорреляционных зависимостей и выраженных повторяющихся паттернов в исходных данных.

Прогноз на 15-летний горизонт демонстрирует относительно нейтральную траекторию без выраженного устойчивого тренда роста или снижения. Ожидаемые значения находятся в диапазоне 110–140 долл. за тонну, что отражает сценарий сохранения текущей ценовой конъюнктуры при отсутствии значительных внешних шоков.

Качество модели, измеренное через среднюю абсолютную ошибку и корень из среднеквадратичной ошибки в логарифмическом масштабе, свидетельствует о средней точности для этого типа данных. Значение MAE, равное 1,999, и RMSE, составившее 2,087, указывают на приемлемое отклонение предсказанных значений от фактических, что подтверждает стабильность модели. Среднеквадратичная ошибка в размере 4,354 также соответствует адекватному уровню качества модели. Показатели AIC (-48,12) и BIC (-41,6) подтверждают хорошую модельную адаптацию, что делает модель подходящей для анализа и прогнозирования в рамках данной задачи. Полученные значения ошибок указывают на умеренную точность прогнозирования, что является типичным для высоковолатильных сырьевых рынков. Информационные критерии подтверждают приемлемую адаптацию модели к данным при минимальной параметрической сложности.

Вместе с тем следует учитывать, что долгосрочное прогнозирование цен на сырьевые товары характеризуется высокой степенью неопределенности, особенно при отсутствии в модели фундаментальных факторов спроса и предложения. В этой связи представленный прогноз следует интерпретировать как ориентировочную статистическую траекторию при сохранении текущих условий.

Прогноз динамики доли импорта руд и металлов в структуре общего импорта России (рисунок 2.41) построен на основе временного ряда за период 2000–2023 годов. В течение рассматриваемого интервала наблюдалась выраженная нисходящая тенденция – от значений свыше 6% в начале периода до уровня около 2,9% в последние годы. Среднее значение показателя составило 2,87%, медианное – 2,8%, при стандартном отклонении около 1,06 процентного пункта, что свидетельствует о сравнительно умеренной вариативности после фазы начального снижения.

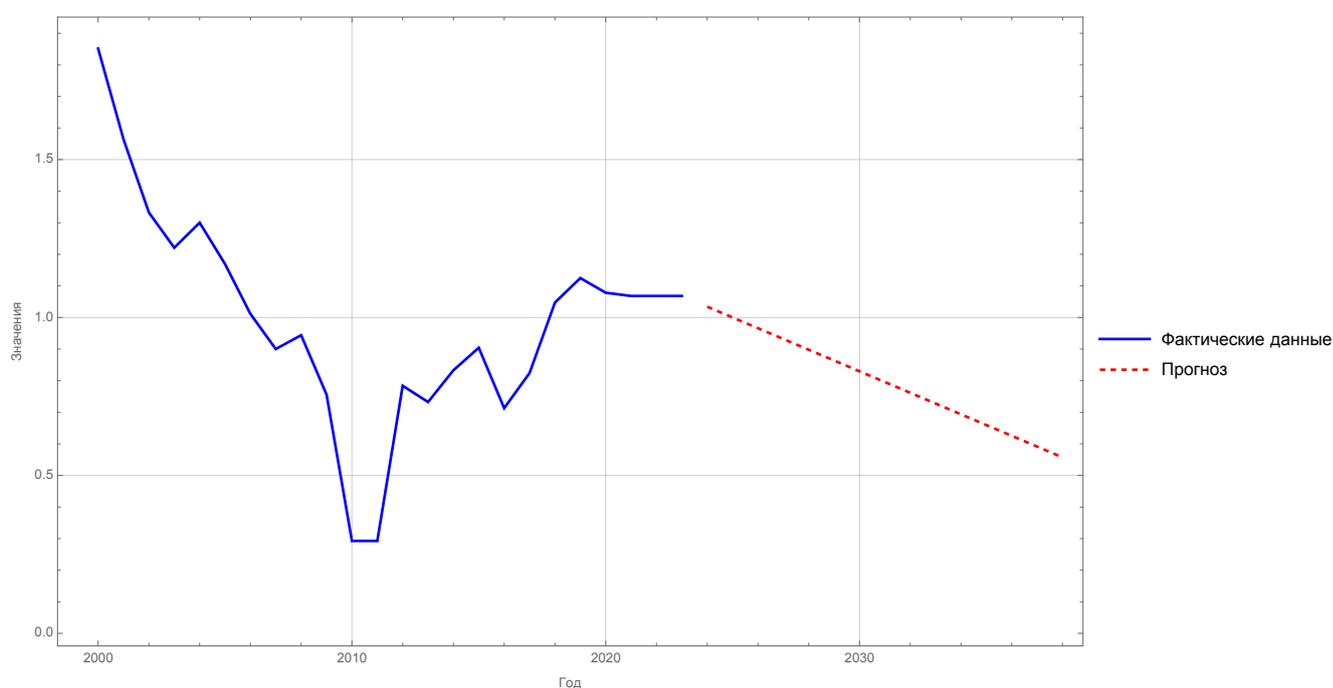


Рисунок 2.41 – Прогноз динамики доли импорта руд и металлов в структуре общего импорта России, построенный с использованием модели ARIMA

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для построения прогноза использована модель ARIMA (0,1,0), соответствующая процессу случайного блуждания без выраженной автокорреляционной структуры. Выбор данной спецификации обусловлен отсутствием устойчивых зависимостей между соседними наблюдениями и постепенным затуханием трендовой компоненты.

Прогноз на 15-летний горизонт не выявляет выраженных колебаний и предполагает сохранение показателя вблизи текущего уровня – порядка 2,9%. Это

указывает на вероятную стабилизацию структуры импорта по данной товарной группе при условии сохранения действующих экономических и внешнеторговых условий.

Характеристики модели, включая среднюю абсолютную ошибку ($MAE = 0,31$) и корень из среднеквадратичной ошибки ($RMSE = 0,36$), подтверждают достаточную надежность построенного прогноза. Эти результаты свидетельствуют о минимальном отклонении предсказанных значений от фактических, что указывает на хорошую точность модели. Показатели AIC (-76,579) и BIC (-71,967) также подтверждают адекватность модели и ее способность эффективно описывать временной ряд, что делает ее подходящей для дальнейшего анализа и прогнозирования. При этом стоит отметить, что стабильность динамики может отражать завершенность процессов импортозамещения и снижение зависимости от внешних поставок в данной товарной группе.

Таким образом, можно заключить, что в обозримой перспективе существенных структурных сдвигов в доле импорта руд и металлов в экономике России не предвидится. Подобная стабилизация может быть обусловлена внутренними инвестициями в добывающий сектор, переориентацией логистических потоков и формированием устойчивой базы сырьевого самообеспечения. Прогноз может быть полезен при стратегическом планировании сырьевых балансов, разработке торгово-промышленной политики и анализе трансформации внешнеэкономической модели страны.

Прогноз динамики доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России (рисунок 2.42) основан на временном ряде за период 2000–2023 годов. В течение анализируемого интервала показатель демонстрировал следующую динамику: после снижения в первой половине периода с 9,14% до уровней ниже 5,0% в дальнейшем наблюдалась стабилизация в диапазоне 6–7% с отдельными локальными отклонениями. Среднее значение составило 6,55%, медианное – 6,34 %, стандартное отклонение – 1,31 процентного пункта, что свидетельствует о умеренной вариативности показателя.

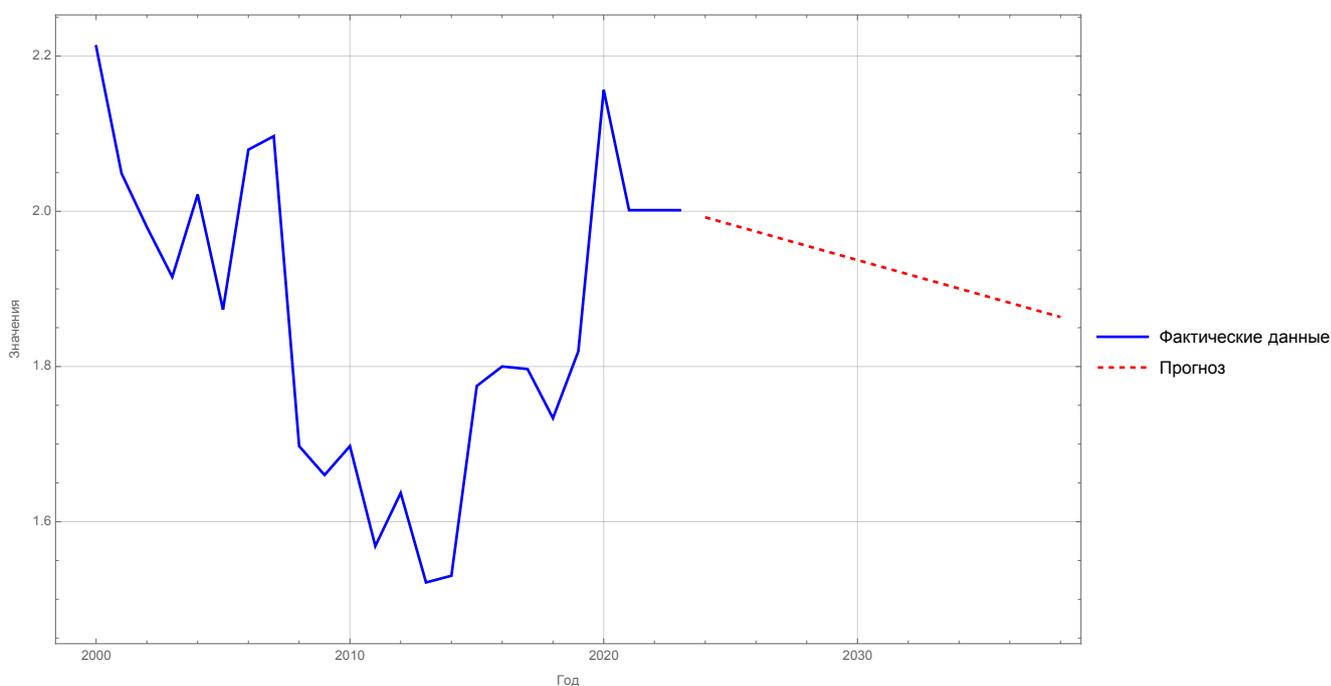


Рисунок 2.42 – Прогноз динамики доли экспорта руд и металлов в структуре товарного экспорта в России, построенный с использованием модели ARIMA

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Прогноз строился на модели ARIMA (0,1,0), аналогичной модели, использованной для оценки динамики импорта. Такая модель соответствует процессу случайного блуждания, подразумевая отсутствие ярко выраженных сезонных и автокорреляционных зависимостей, но отражая тенденцию сохранения текущего уровня в будущем. Построенный прогноз указывает на сохранение доли экспорта руд в структуре внешней торговли на уровне 7,4% в течение как минимум пятнадцати лет, что соответствует завершившемуся периоду стабилизации.

Модель продемонстрировала высокую точность, о чем свидетельствуют значения ошибок: MAE – 0,181, MSE – 0,044; RMSE – 0,211. AIC модели: -87,133; BIC модели: -84,647. Эти показатели подтверждают как адекватность выбора модели, так и качество соответствия прогнозной линии фактическому поведению ряда. Прогноз не фиксирует признаков заметного роста или снижения, что позволяет говорить о консолидации экспортного сектора руд в новых экономико-геополитических условиях.

Таким образом, структура экспортного сырьевого сектора России демонстрирует устойчивость и относительную предсказуемость. Стабильность

доли экспорта руд и металлов может быть связана с постоянным спросом со стороны стран-партнеров, диверсификацией экспортных маршрутов и выравниванием экспортной политики в ответ на международные ограничения. Полученные оценки имеют практическое значение для внешнеторгового прогнозирования, оценки эффективности логистических решений и стратегического планирования в сфере добывающей промышленности.

Предложенная методика прогнозирования ключевых статистических показателей развития мировой и российской сталелитейной промышленности на основе моделей ARIMA апробирована на показателях объемов производства стали, цен на железную руду и внешнеторговых индикаторах. В отличие от описательных или корреляционных методов анализа, предложенная методика обеспечивает формирование количественно обоснованных сценарных траекторий, учитывающих специфику динамики каждого показателя и его стохастическую структуру.

Разработанные модели формируют количественные сценарные параметры для последующего экономического анализа и обеспечивают методическую основу для планирования в капиталоемких отраслях. Методика адаптирована к условиям отраслевой волатильности, макроэкономических циклов и неопределенности внешней среды, что позволяет корректно моделировать временные зависимости и формировать обоснованные прогнозные оценки динамики ключевых показателей сталелитейного комплекса.

Научная новизна предложенного подхода заключается в интеграции формализованного ARIMA-прогнозирования с отраслевой спецификой металлургического комплекса и последующим использованием полученных оценок в рамках стратегического и когнитивного моделирования. В отличие от универсальных макроэкономических моделей, применяемых без учета отраслевой структуры, разработанная методика адаптирована к условиям капиталоемкости, цикличности и внешнеторговой чувствительности сталелитейной промышленности.

Практическая значимость результатов состоит в формировании количественной базы для оценки инвестиционных решений, разработки

внешнеторговой политики, планирования сырьевых балансов и анализа устойчивости отрасли к макроэкономическим и геополитическим шокам. Прогнозные траектории могут использоваться как входные параметры при построении сценариев долгосрочного развития металлургического комплекса Российской Федерации.

В целом реализованный комплексный статистический инструментарий обеспечивает методологически обоснованный переход от ретроспективного анализа динамики показателей к формированию прогнозных сценариев развития отрасли, повышая достоверность стратегических оценок в условиях неопределенности.

Выводы по главе 2

1. Выявлены устойчивые мировые тенденции развития металлургической отрасли, характеризующиеся ростом спроса на продукцию черной металлургии, обусловленным индустриализацией развивающихся стран, демографическим ростом и урбанизационными процессами. Перспективная динамика свидетельствует о сохранении долгосрочного структурного спроса на металлы.

2. Установлено, что мировое производство стали демонстрирует устойчивую восходящую траекторию. Китай сохраняет доминирующее положение на мировом рынке, производя более половины мирового объема стали, что оказывает системное влияние на глобальную металлургическую цепочку и ценовую конъюнктуру.

3. Разработан научно обоснованный статистический подход к кластеризации стран – участников мирового рынка стали и железной руды, позволивший с применением методов многомерной статистической кластеризации выделены пять устойчивых кластеров стран, отражающих межстрановую дифференциацию по масштабу и структуре металлургического производства: глобальный лидер, страны с выраженной сырьевой специализацией, крупные индустриальные производители, страны со значительными объемами добычи и производства, а также страны с ограниченным участием в мировом металлургическом производстве.

4. Разработан и апробирован методологический подход к статистическому анализу взаимосвязей между объемами мирового и российского производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами. Подход основан на применении тестов стационарности (ADF и KPSS), тестов причинности Грейнджера и построении регрессионных моделей на стационарных преобразованиях временных рядов.

5. Получена регрессионная модель, описывающая зависимость первых разностей объемов мирового производства стали от первой разности мирового валового внутреннего продукта, что подтверждает наличие краткосрочной взаимосвязи между промышленной динамикой и экономическим ростом.

6. Построена регрессионная модель, отражающая влияние первой разности валового накопления основного капитала на динамику мирового производства стали, а также модель обратного воздействия, что позволяет выявить элементы двусторонней зависимости инвестиционной активности и промышленного производства.

7. Получена регрессионная модель, описывающая зависимость первых разностей объемов производства стали в России от динамики экспорта руд и металлов, что отражает внешнеторговую чувствительность отрасли.

8. Сформирована регрессионная модель влияния первых разностей объемов производства стали в России на первые разности доли импорта руд и металлов, что позволяет оценить взаимосвязь между внутренним производственным потенциалом и структурой импорта.

9. Разработана и реализована методика прогнозирования ключевых параметров развития мировой и российской сталелитейной промышленности на основе моделей ARIMA. В отличие от стандартной процедуры идентификации ARIMA-моделей, предложенная методика ориентирована на отраслевую адаптацию параметров и интеграцию результатов прогнозирования в систему стратегического и когнитивного анализа металлургического комплекса. Получены количественные прогнозные оценки динамики производства стали, цен на железную руду и внешнеторговых показателей, формирующие сценарную основу для стратегического анализа отрасли.

Глава 3 КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГНИТИВНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

3.1 Комплексный экономический анализ направлений устойчивого развития предприятий металлургической промышленности

Настоящий раздел диссертации, представляющий один из ключевых результатов исследования, частично опубликован в рецензируемых научных изданиях в соответствии с пунктом 11 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, ред. от 18.03.2023) в статьях: «Определение направлений стратегий устойчивого развития сталелитейной промышленности», «Развитие стратегического потенциала металлургических компаний России в контексте ресурсно-ориентированного подхода: современные тенденции и перспективы», «Управление рисками устойчивого развития иностранных металлургических предприятий», «Анализ рейтинговых оценок устойчивого развития предприятий металлургического комплекса» [198, 199, 200, 201].

Мир сталкивается с многочисленными и серьезными экологическими, социальными и экономическими проблемами. Для их решения в сентябре 2015 года Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций приняла резолюцию «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» с установлением 17 целей устойчивого развития (ЦУР) и 169 задач [202].

Металлургическая промышленность как высоко капитало-, ресурсо- и энергоемкий сектор экономики находится в центре трансформационных процессов, связанных с декарбонизацией, ресурсной эффективностью и усилением экологических требований. В условиях роста цен на энергоносители, ужесточения экологического регулирования и усиления глобальной конкуренции предприятия отрасли сталкиваются с необходимостью одновременного решения задач повышения производственной эффективности и обеспечения экологической и социальной ответственности [203].

Система показателей устойчивости, разработанная Всемирной ассоциацией стали (World Steel Association), ориентирована на комплексную оценку деятельности предприятий в экономической, экологической и социальной плоскостях. Данные индикаторы позволяют осуществлять мониторинг ключевых параметров устойчивости и формируют методическую основу для интеграции принципов устойчивого развития в стратегию металлургических компаний [204].

Сталелитейная промышленность обладает значительным потенциалом развития, а системная оценка потенциала ее устойчивости является важной предпосылкой формирования благоприятного инвестиционного климата в отрасли [205]. Теоретико-методические положения анализа ESG-рисков металлургических компаний, разработанные и апробированные автором в ранее опубликованной работе [200], послужили основой для дальнейшей разработки интегративной методики комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности.

В работе автора «Определение направлений стратегий устойчивого развития сталелитейной промышленности» [198] был проведен статистический анализ устойчивого развития сталелитейной отрасли на страновом уровне. Для выявления структурных различий между странами применен метод кластерного анализа с использованием следующих показателей:

- капитализация сталелитейных компаний (по данным Disfold [206]);
- объем выплавки стали;
- объем добычи железной руды.

По результатам кластеризации выделены два устойчивых кластера стран. Первый кластер объединяет государства, оказывающие значительное влияние на мировую сталелитейную промышленность по совокупности производственных и финансовых показателей. Вторым кластером включены одиннадцать стран с ограниченным производственным вкладом в глобальную металлургическую систему. В их число входят Каймановы и Вирджинские острова, Израиль, Португалия и Греция. При этом часть стран, например, Каймановы и Вирджинские острова не осуществляют производство стали, но являются местом регистрации головных компаний крупных металлургических холдингов.

Выявленная структура кластеров демонстрирует различия в моделях участия стран в глобальной металлургической цепочке: от производственно-интегрированных экономик до финансово-административных центров. В связи с этим направления устойчивого развития сталелитейной отрасли должны дифференцироваться с учетом роли страны в мировой системе – для стран-производителей акцент делается на повышение экологической эффективности и ресурсосбережение при сохранении объемов выпуска, тогда как для стран, выполняющих функции финансовых и корпоративных центров, приоритетом выступает повышение прозрачности, инвестиционной устойчивости и корпоративной ответственности.

Страны первого кластера, с целью повышения аналитической точности и более детальной дифференциации их роли в мировой металлургической системе, были дополнительно разделены на пять групп. Оптимальное количество групп определено на основе метода «локтя».

Результаты статистической оценки корректности разбиения представлены в таблице 3.1.

Высокие значения F-статистики (47,15 и 82,63 соответственно) при р-значениях, стремящихся к нулю, подтверждают статистически значимые различия между выделенными группами по показателям рыночной капитализации и объемов производства стали. Это свидетельствует о корректности и обоснованности проведенной кластерной декомпозиции первого кластера.

Таблица 3.1 – Результаты дисперсионного анализа (ANOVA)

Наблюдения	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	Степени свободы (df)	F-статистика	p-значение
Рыночная капитализация (на 1.07.2024) млн долл. США	30,7783	4	5,22165	32	47,1549	$5,63327 \cdot 10^{-13}$
Объемы производства стали в 2023 г, тонн	32,8223	4	3,17772	32	82,631	$2,22045 \cdot 10^{-16}$

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Графическая интерпретация результатов разбиения представлена на рисунке 3.1.

**Рисунок 3.1 – Результаты разбиения первого кластера на дополнительные группы**

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Первая группа включает страны – лидеры мировой сталелитейной отрасли. К ним относятся США, Япония, Китай, Россия и ряд других крупных производителей. Эти страны характеризуются высокими значениями рыночной капитализации металлургических компаний, значительными объемами

производства стали и добычи железной руды, а также высокой степенью интеграции в глобальные производственные цепочки.

Для данной группы стратегический приоритет устойчивого развития заключается в сохранении технологического лидерства, повышении энергоэффективности, снижении углеродной интенсивности производства и внедрении экологически чистых технологий при сохранении конкурентных позиций на мировом рынке.

Во вторую-четвертую группы входят страны, обладающие потенциалом перехода в категорию лидеров отрасли в средне- и долгосрочной перспективе. Наибольшим потенциалом обладает Австралия, занимающая первое место в мире по добыче высококачественной железной руды, значительная часть которой экспортируется без глубокой переработки. Расширение участия Австралии в цепочке создания добавленной стоимости за счет развития собственного металлургического производства способно существенно укрепить ее позиции и вывести страну в число ключевых игроков мирового рынка стали.

Стратегия устойчивого развития для стран данной категории должна быть ориентирована на увеличение объемов производства при одновременном сохранении экологического баланса и поддержании необходимого уровня экономической эффективности. Перспективы этих государств во многом зависят от динамики мирового рынка стали и глобального спроса, который, согласно существующим тенденциям, демонстрирует долгосрочный рост. Это усиливает актуальность формирования устойчивых моделей развития сталелитейной промышленности в странах данной группы.

Пятую группу составляют страны с относительно низкими показателями капитализации и объемов выплавки стали. В их число входят новые или активно развивающиеся участники рынка, в частности, Саудовская Аравия. Особого внимания заслуживает Индия. Несмотря на сравнительно невысокий показатель капитализации – около 17 долларов США в расчете на тонну выпускаемой стали, – страна обладает значительным производственным и сырьевым потенциалом, что

создает предпосылки для ее ускоренного перехода в группу лидеров первого кластера.

Для стран данной группы ключевым направлением устойчивого развития является поддержание баланса между темпами промышленного роста и экологической нагрузкой. В условиях ускоренной индустриализации целесообразным представляется формирование специализированных инвестиционных и экологических фондов, направленных на финансирование мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду и обеспечению долгосрочной устойчивости отрасли.

В основе настоящего исследования лежат оценки устойчивого развития предприятий черной металлургии, сформированные ведущими российскими рейтинговыми агентствами. Используются данные и рейтинги, опубликованные на официальных сайтах агентств RAEX [207] и АО «Рейтинговое агентство АК&М» [208].

На основе указанных источников проведен анализ особенностей устойчивого развития предприятий металлургического комплекса.

ESG-рейтинг выступает важным инструментом информационной поддержки стратегических и тактических решений для различных групп заинтересованных сторон: инвесторов, финансовых институтов, деловых партнеров, органов государственной власти и общественного контроля. Такие рейтинги позволяют оценивать устойчивость бизнес-модели компании, учитывать нефинансовые риски, формировать устойчивые цепочки поставок, а также контролировать соответствие деятельности принципам устойчивого развития. Следует подчеркнуть, что ESG-рейтинг не является кредитным рейтингом и не подпадает под регулирование Банка России, поскольку отражает нефинансовые аспекты деятельности компании – экологические, социальные и управленческие факторы.

В рамках исследования рассматриваются две основные рейтинговые системы оценки устойчивого развития предприятий металлургического комплекса России. В первую очередь анализируется рейтинговая методология агентства RAEX.

Таблица 3.2 – Рейтинговая оценка предприятий металлургического комплекса (черная промышленность) в соответствии с методикой рейтинговой группы RAEX

Название предприятия	SG-рейтинг	E Rank	E-рейтинг	S Rank	S-рейтинг	G Rank	G-рейтинг
ПАО «НЛМК» (Новолипецкий металлургический комбинат)	AA	2	AA	5	AA	20	A
ПАО «Северсталь»	A	5	AA	4	AA	34	BBB
Магнитогорский металлургический комбинат (ПАО «ММК»)	BBB	39	B	7	A	52	BBB
ПАО «Ашинский метзавод»	CCC	96	C	77	CCC	81	B
ПАО «ТМК»	CC	108	C	109	CC	108	B
ПАО «Мечел»	CC	115	C	127	CC	101	B
Источник: raex-rr.com							

Таблица 3.2 отражает ESG-оценки предприятий металлургического комплекса по методологии RAEX. Оценивание проводится по трем ключевым направлениям:

E (Environmental) – экологическая составляющая;

S (Social) – социальная ответственность;

G (Governance) – качество корпоративного управления.

Кроме того, в таблице представлен агрегированный показатель SG-рейтинг, отражающий совокупную оценку социальной и управленческой компонент. Для каждого направления указываются буквенная оценка (от AAA до C) и числовой ранг, демонстрирующий позицию компании относительно других участников рейтинга.

Для интерпретации показателей таблицы 3.2:

- SG-рейтинг – объединенный рейтинг по социальным и управленческим параметрам;

- E Rank / E-рейтинг – рейтинг и ранжирование компании по экологическим показателям;

- S Rank / S-рейтинг – рейтинг и ранжирование по социальным параметрам;

- G Rank / G-рейтинг – рейтинг и ранжирование по открытости управления на предприятиях металлургического комплекса.

Рассмотрим участвующие в рейтинге предприятия металлургического комплекса.

ПАО «НЛМК» (Новолипецкий металлургический комбинат) демонстрирует высокий уровень устойчивого развития. Совокупный SG-рейтинг компании соответствует уровню AA. По экологическим показателям предприятие занимает одну из лидирующих позиций (E-рейтинг AA, ранг 2). Социальные показатели также находятся на высоком уровне. При этом рейтинг корпоративного управления несколько ниже – уровень A (ранг 20), что свидетельствует о наличии потенциала для дальнейшего совершенствования управленческих практик.

ПАО «Северсталь» имеет совокупный SG-рейтинг уровня A. Экологические и социальные показатели оцениваются на уровне AA, что свидетельствует о высокой степени соответствия принципам устойчивого развития в данных сферах. В то же время корпоративное управление имеет рейтинг BBB, что характеризует средний уровень развития управленческих процедур по сравнению с лидерами отрасли.

ПАО «ММК» (Магнитогорский металлургический комбинат) относится к компаниям со средним уровнем ESG-развития. Совокупный SG-рейтинг составляет BBB. Экологическая компонента оценивается на уровне B, что ниже показателей отраслевых лидеров. При этом социальная составляющая имеет рейтинг A, отражающий достаточно высокий уровень социальной политики предприятия. Рейтинг корпоративного управления – BBB (ранг 52), что соответствует среднему уровню по выборке.

ПАО «Ашинский метзавод» характеризуется низкими показателями устойчивого развития (SG-рейтинг CCC). Аналогично невысокие оценки получены по экологическим и социальным параметрам. Это свидетельствует о значительных резервах повышения качества нефинансового управления и совершенствования практик устойчивого развития.

ПАО «ТМК» и ПАО «Мечел» имеют рейтинги уровня CC, что отражает сравнительно низкую оценку по ESG-компонентам. Для данных компаний характерны ограничения в области экологического менеджмента, социальной

ответственности и корпоративного управления, что может повышать нефинансовые риски.

Компании с высокими рейтингами (ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь») демонстрируют сбалансированное развитие по экологическим, социальным и управленческим направлениям, что формирует устойчивую основу для долгосрочной конкурентоспособности.

Компании со средними и низкими рейтингами обладают значительным потенциалом повышения эффективности ESG-политики, что требует системного развития экологического менеджмента, усиления социальной ответственности и совершенствования корпоративного управления.

Рассмотрим результаты рейтинговой оценки, представленной АО «Рейтинговое агентство АК&М».

ПАО «ММК», ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» демонстрируют стабильный и высокий уровень раскрытия нефинансовой отчетности, что свидетельствует о развитых стандартах прозрачности и ответственности перед акционерами, инвесторами и обществом.

В рейтинге социальной эффективности в секторе черной металлургии ПАО «ММК» занимает второе место, незначительно опережая ПАО «Северсталь», находящуюся на третьей позиции. Однако в общем рейтинге крупнейших холдингов обе компании занимают более низкие позиции: ПАО «ММК» – 21-е место, ПАО «Северсталь» – 23-е место. Это указывает на более высокую конкуренцию на межотраслевом уровне.

В рейтинге ответственности перед обществом ПАО «Северсталь» демонстрирует более высокие позиции по сравнению с ПАО «ММК»: второе место против третьего в отраслевом сегменте и 16 место против 18 среди крупнейших холдингов. Это отражает более развитые практики корпоративной социальной ответственности.

В рейтинге углеродного следа ПАО «Северсталь» также опережает ПАО «ММК» как в рамках черной металлургии (второе место против третьего), так и среди крупнейших холдингов (21-е место против 22-го). Полученные результаты

свидетельствуют о более последовательной политике декарбонизации и экологической модернизации.

Методологической основой настоящего исследования выступает комплексный экономический анализ деятельности ведущих металлургических компаний России, базирующийся на изучении их стратегий устойчивого развития, нефинансовой отчетности и практик реализации ресурсно-ориентированного управления.

Ресурсно-ориентированный подход (Resource-Based View, RBV) в металлургическом секторе акцентирует внимание на эффективном управлении ключевыми ресурсами – производственными мощностями, сырьевой базой, технологическими компетенциями и человеческим капиталом – как источниками долгосрочного конкурентного преимущества. Данный подход особенно актуален для металлургической отрасли, характеризующейся высокой капиталоемкостью, ресурсной зависимостью, ужесточением экологических нормативных требований и необходимостью повышения операционной эффективности [209]. В работе автора «Развитие стратегического потенциала металлургических компаний России в контексте ресурсно-ориентированного подхода: современные тенденции и перспективы» [199] представлен комплексный анализ стратегических направлений развития ведущих металлургических компаний России (ПАО «Северсталь», ПАО «ГМК «Норильский никель», ПАО «НМЛК») с позиций ресурсно-ориентированной концепции.

Инвестиционная привлекательность металлургических компаний в современных условиях все в большей степени определяется их экологическими характеристиками. Исследования, анализирующие взаимосвязь между экологическими показателями (уровень выбросов CO₂, повторное использование воды и другие параметры) и финансовыми индикаторами эффективности (выручка, инвестиции в НИОКР), показывают, что компании с системно выстроенной экологической стратегией обладают более высокой инвестиционной привлекательностью [210]. Это отражает тенденцию к интеграции ресурсно-ориентированного подхода с практиками устойчивого развития, когда стремление

к максимизации прибыли сочетается с экологической ответственностью, формируя основу долгосрочной конкурентоспособности.

Существенное значение приобретает стратегическая адаптивность металлургических компаний к внешним и внутренним факторам – волатильности мировых рынков, изменению нормативно-правовой базы, трансформации цепочек поставок. Современные исследования подчеркивают, что неблагоприятные макроэкономические и институциональные условия требуют разработки новых стратегий, позволяющих одновременно эффективно использовать существующие ресурсы и развивать инновационные компетенции [211]. В российских металлургических компаниях ресурсно-ориентированный подход все чаще рассматривается как ключевой инструмент повышения конкурентоспособности и обеспечения устойчивого роста в условиях нестабильной внешней среды. Он предполагает интегрированное управление материальными, технологическими и нематериальными ресурсами с целью создания долгосрочной ценности и минимизации экологических и экономических рисков.

Особую роль в рамках данного подхода играет цифровизация. Цифровые технологии трансформируют традиционные металлургические процессы, способствуя повышению производственной эффективности, оптимизации использования ресурсов и совершенствованию управленческих решений. А.Ю. Анисимов и соавторы отмечают, что цифровизация бизнес-процессов металлургических предприятий приводит к росту рентабельности и снижению операционных рисков, формируя устойчивые конкурентные преимущества на глобальном рынке [212]. Аналогичные выводы представлены в работах М.А. Чешева и Е.С. Замбжицкой, где подчеркивается, что цифровизация способствует повышению качества экономических ресурсов и усилению инновационного потенциала отрасли [213].

Экологическая составляющая в современных условиях все более интегрируется в ресурсно-ориентированный подход к управлению предприятиями. Н.А. Казакова и В.Г. Когденко подчеркивают, что экологическая безопасность становится самостоятельным конкурентным преимуществом. В условиях роста

глобального спроса на устойчивые практики способность компаний оценивать и минимизировать экологические риски приобретает статус стратегического императива, напрямую влияющего на их положение на мировом рынке [214].

Ключевыми компонентами ресурсно-ориентированного подхода выступают производительность труда и инновационный потенциал. Современные исследования указывают на необходимость системного повышения производительности в металлургическом секторе за счет внедрения инновационных технологий и совершенствования управления ресурсами. С.Б. Долженко и Д.С. Малышев отмечают, что учет динамики трудовых ресурсов и формирование культуры непрерывного совершенствования являются критически важными факторами роста эффективности в условиях международной конкуренции [215]. О.А. Великая, в свою очередь, подчеркивает, что механизмы стратегического развития металлургических предприятий должны адаптироваться к современным рыночным вызовам, включая санкционные ограничения и трансформацию глобальных цепочек поставок [216].

Таким образом, предложенные автором компоненты стратегического потенциала и обобщающие частные показатели могут рассматриваться как валидная основа для комплексной оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности.

Российская металлургия демонстрирует положительную динамику в сфере ресурсной эффективности, что способствует снижению экологической нагрузки и укреплению конкурентных позиций на глобальном рынке. Предприятия отрасли инвестируют в экологические проекты, модернизацию оборудования, цифровые системы мониторинга и энергоэффективные технологии, подтверждая стратегическую ориентацию на принципы устойчивого развития.

В глобальном контексте энергетический сектор находится в стадии структурной трансформации, связанной с необходимостью декарбонизации. При этом, как отмечается в ряде исследований, реализуемые дорожные карты зачастую формируются на макроуровне без учета специфики рыночных механизмов электроэнергетики [217]. Европейская стратегия достижения климатической

нейтральности стимулирует разработку комплексных моделей декарбонизации промышленности [218]. Для металлургической промышленности России, являющейся одним из значимых источников выбросов CO₂, политика декарбонизации приобретает стратегическое значение. Крупнейшие компании реализуют программы по повышению энергоэффективности, развитию вторичной переработки, внедрению технологий улавливания и хранения углерода, а также расширению использования возобновляемых источников энергии. Эти меры направлены на снижение углеродной интенсивности производства и повышение экологической устойчивости бизнеса.

Декарбонизация требует существенных инвестиционных ресурсов и технологической модернизации производственных процессов. Однако в долгосрочной перспективе такие преобразования способствуют снижению экологических рисков, повышению инвестиционной привлекательности и укреплению стратегической устойчивости предприятий.

В соответствии с Парижским соглашением 2015 года большинство стран приняли обязательства по достижению углеродной нейтральности к середине XXI века [219]. Концепция «чистого нуля» (net zero) стала доминирующей парадигмой глобальной климатической политики [220]. Для металлургической отрасли это означает необходимость системной трансформации технологической базы и управленческих практик с целью обеспечения баланса между экономической эффективностью и экологической ответственностью.

3.2 Методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности

Настоящий раздел диссертационного исследования, отражающий один из ключевых научных результатов работы, частично опубликован в рецензируемом

научном издании в соответствии с пунктом 11 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, ред. от 18.03.2023) в статье «Моделирование принципов устойчивого развития предприятий металлургического комплекса на основе теории нечетких когнитивных карт» [221].

Современная металлургическая промышленность находится в стадии структурной трансформации, обусловленной необходимостью перехода к экологически ориентированным моделям производства. Усиление международных экологических требований, распространение стандартов ESG, внедрение трансграничного углеродного регулирования и активизация государственной климатической политики требуют пересмотра стратегических приоритетов предприятий отрасли.

В данных условиях особую значимость приобретает разработка инструментов оценки и развития стратегического потенциала металлургических предприятий с учетом факторов устойчивого развития. При этом традиционные методы экономического анализа зачастую оказываются недостаточными для моделирования сложных, взаимосвязанных и характеризующихся высокой степенью неопределенности процессов.

В качестве методологической основы в работе предложено использование теории нечетких когнитивных карт (НКК) как инструмента анализа поведения сложной системы в ответ на изменение ключевых переменных. Данный подход позволяет интегрировать качественные экспертные оценки и количественные методы моделирования, обеспечивая формализацию взаимосвязей между факторами устойчивого развития и оценку их системного воздействия.

Теория нечетких когнитивных карт представляет собой метод моделирования сложных социально-экономических систем, характеризующихся неопределенностью и множественными причинно-следственными связями. НКК функционируют в форме ориентированного графа, в котором вершины соответствуют ключевым концептам (переменным системы), а направленные дуги отражают причинные связи между ними. Весовые коэффициенты дуг

характеризуют силу и направление влияния одного фактора на другой [222]. Применение НКК особенно эффективно в условиях неполной информации и высокой вариативности данных, поскольку данный инструмент основан на принципах нечеткой логики и позволяет учитывать степень неопределенности экспертных оценок [223, 224]. Это обеспечивает возможность анализа динамики системы при различных сценариях воздействия.

Современные исследования направлены на совершенствование базовой модели НКК для решения прикладных задач стратегического анализа. В частности, развитие интуиционистских нечетких когнитивных карт расширяет классическую модель за счет учета степени уверенности и сомнения экспертов относительно причинно-следственных связей, что позволяет более точно интерпретировать неопределенные знания [225].

Теория нечетких когнитивных карт (НКК) получила широкое распространение в экономическом анализе благодаря способности формализовать сложные взаимосвязи между переменными, определяющими стратегические результаты. НКК выступают одновременно когнитивным и аналитическим инструментом, позволяющим визуализировать и количественно оценивать причинно-следственные связи в динамичной и неопределенной стратегической среде. Моделирование петель обратной связи и структур влияния особенно актуально в условиях многомерных рыночных процессов, характеризующихся высокой степенью неопределенности.

Одним из ключевых преимуществ НКК является возможность интеграции экспертных знаний о функционировании социально-экономических систем и бизнес-процессов. Это особенно важно в ситуациях, когда поведение системы определяется сложными механизмами обратной связи и не поддается анализу традиционными эконометрическими методами [226]. Формализация причинно-следственных зависимостей позволяет моделировать альтернативные стратегические сценарии и оценивать их влияние на целевые показатели, что способствует принятию более обоснованных управленческих решений [227].

В управленческой практике НКК используются для интеграции организационных, экономических и экологических факторов в систему стратегического планирования. Методика предполагает одновременное использование качественных экспертных оценок и количественных данных, что обеспечивает более целостное представление о воздействии различных факторов на результаты деятельности предприятия [228].

Важным свойством НКК является их адаптивность и возможность интеграции с другими инструментами анализа неопределенности. Современные исследования направлены на расширение базовой модели посредством включения элементов интуиционистской нечеткой логики [139], а также положений теории [229], что позволяет учитывать степень уверенности и неопределенности в экспертных оценках и повышает аналитическую гибкость модели.

Таким образом, применение нечетких когнитивных карт в экономическом анализе устойчивого развития предприятий формирует методологическую основу для исследования сложных взаимосвязанных систем. НКК обеспечивают визуализацию структуры факторов устойчивости, позволяют выявлять ключевые причинно-следственные связи и проводить сценарное моделирование стратегических решений.

НКК обеспечивают интеграцию экспертных знаний и количественных данных, что делает их эффективным инструментом моделирования устойчивых практик в различных отраслях. Так, И. Перейра и соавторы показали, что комбинирование НКК с методами системной динамики позволяет анализировать влияние энергопотребления на устойчивость малых и средних предприятий, обеспечивая более глубокое понимание системных факторов устойчивого развития [230]. М. Амели и соавторы применили НКК для анализа экспертных оценок достижения Целей устойчивого развития в условиях пандемии COVID-19, продемонстрировав адаптивность метода к быстро меняющимся социально-экономическим условиям [231]. Эти исследования подтверждают универсальность когнитивного картирования как инструмента выявления ключевых факторов устойчивости и анализа их взаимного влияния.

Применение НКК выходит за рамки теоретических разработок. Л. Занон и соавторы использовали данный метод для анализа взаимосвязи между эффективностью цепочек поставок и инициативами в области экономики замкнутого цикла, показав, что НКК позволяют формализовать и визуализировать сложные сети причинно-следственных зависимостей, влияющих на устойчивость организаций [232]. Это особенно актуально в условиях интеграции принципов циркулярной экономики в операционные модели предприятий.

Методические возможности НКК также используются в финансово-экономическом анализе устойчивости. М. Зиоло и соавторы продемонстрировали потенциал НКК при оценке устойчивости бизнес-моделей в различных секторах экономики, обосновывая их применимость для разработки адаптированных стратегий устойчивого развития с учетом отраслевой специфики [233].

В более широком контексте НКК способствуют формированию междисциплинарного подхода к анализу устойчивости предприятий, объединяя экономические, экологические и управленческие аспекты. Как отмечают С. Хан и соавторы, данный инструмент эффективен для стратегического планирования и анализа политики, обеспечивая связь между корпоративными стратегиями и принципами устойчивого развития [234].

Металлургическая отрасль находится в стадии трансформации, обусловленной совокупностью экономических и экологических вызовов. Одним из ключевых факторов долгосрочной устойчивости становится способность предприятий адаптироваться к требованиям низкоуглеродного развития и усилению климатического регулирования. Традиционные методы экономического анализа не в полной мере учитывают динамический характер взаимовлияний и высокую степень неопределенности внешней среды. В этой связи целесообразным представляется применение теории нечетких когнитивных карт (НКК), позволяющей моделировать взаимосвязи между стратегическими переменными и анализировать альтернативные сценарии развития.

Методологической основой исследования выступает теория нечетких когнитивных карт, обеспечивающая возможность количественного и

качественного моделирования факторов устойчивого развития в условиях неопределенности и многокритериальности. Данный подход интегрирует элементы когнитивного моделирования, системного и экономического анализа, а также инструментарий нечеткой логики, что позволяет формализовать сложные причинно-следственные связи и оценивать их влияние на стратегический потенциал предприятий.

На первом этапе были идентифицированы ключевые концепты, отражающие экологические аспекты стратегического потенциала предприятий металлургической отрасли. Концепты выбирались на основе анализа научной литературы, отчетов отраслевых компаний, ESG-рейтингов, а также с привлечением экспертных оценок. Разработанная методика включает шесть взаимосвязанных концептов, характеризующих критически важные направления устойчивого развития предприятий металлургической промышленности России:

- ресурсная эффективность;
- экологическая устойчивость;
- зеленые (экологические) инновации;
- декарбонизация;
- принцип чистого нуля (Net Zero);
- ESG-ориентированное управление.

Взаимосвязь между этими концептами была формализована в виде НКК-модели, позволяющей оценить динамику изменения стратегического потенциала предприятий под влиянием внешних и внутренних факторов. Численные расчеты, статистический анализ данных и построение моделей осуществлялись с применением программного комплекса Wolfram Mathematica 13.3.0. Выбор данного инструментария обусловлен его широкими возможностями в области многомерного статистического анализа, а также высокой вычислительной производительностью.

Для построения матрицы весов использовались экспертные оценки с участием специалистов в области экономического анализа, стратегического планирования и управления производственными системами. Каждый эксперт

заполнял анкету, в которой указывал силу и направление влияния между парами концептов по шкале от -1 до 1 с шагом 0,1 (приложение А).

Разработанная интегративная методика комплексного экономического анализа экологических аспектов для предприятий металлургической промышленности России основана на последовательности этапов, обеспечивающих формализацию экспертных представлений о структуре экологических факторов и характере их взаимовлияния. Методический подход включает использование принципов системного анализа, когнитивного моделирования и элементов нечеткой логики, что позволяет отражать сложность и многокомпонентность процессов экологической трансформации отрасли.

1. Идентификация ключевых концептуальных переменных.

На первом этапе осуществляется выделение базовых экологических принципов, определяющих устойчивое развитие металлургического предприятия. В рамках исследования сформировано множество концептов $C = \{C_1, C_2, \dots, C_6\}$.

Каждый концепт интерпретируется как узел когнитивной карты, отражающий состояние соответствующего экологического аспекта деятельности предприятия.

2. Определение структуры причинно-следственных связей.

На следующем этапе выявляются причинно-следственные взаимосвязи между выбранными концептами. На основе экспертных оценок (также возможно на основе нормативно-отраслевых документов и стратегических экологических программ) формируется ориентированный граф, в котором дуги $i \rightarrow j$ описывают влияние концепта C_i на концепт C_j .

Такой граф отражает системную специфику экологического развития: например, влияние ресурсной эффективности на уровень выбросов или роль ESG-управления в стимулировании зеленых инноваций.

3. Квантификация влияний и формирование матрицы весов.

Каждой причинно-следственной связи присваивается весовой коэффициент w_{ij} , отражающий:

- знак влияния (положительное/отрицательное);

- интенсивность воздействия (от слабого до сильного).

Весовые коэффициенты определяются по основе экспертных оценок, представленной в исследовании, и нормируются в диапазоне $[-1;1]$.

Полученная матрица весов отражает структуру взаимодействий системы и используется в моделировании динамики экологических изменений:

$$W = [w_{ij}]_{6 \times 6}. \quad (3.1)$$

4. Нормализация и функция активации.

Обновление значений концептов производится с использованием нелинейной функции активации. В исследовании применяется сигмоидальная функция вида:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-5(x-0,5)}}, \quad (3.2)$$

обеспечивающая плавный переход между уровнями экологических состояний и устойчивость к колебаниям входных данных.

Использование сигмоидальной функции обусловлено нелинейным характером эколого-экономических взаимодействий в металлургии, где даже малые технологические изменения могут существенно снижать выбросы или увеличивать ресурсную эффективность.

5. Задание начальных условий и сценарное моделирование.

Для имитационного анализа задаются начальные уровни экологических показателей:

$$A(0) = \{a_1(0), a_2(0), \dots, a_6(0)\}, \quad (3.3)$$

которые формируются на основе экспертных оценок.

6. Итеративное обновление состояния системы.

Эволюция экологической системы моделируется по формуле:

$$A(t + 1) = f(A(t) + A(t) * W), \quad (3.4)$$

где $A(t)$ – вектор размерности 1×6 ;

W – матрица 6×6 ;

$f(\cdot)$ – сигмоидальная функция, применяемая покомпонентно.

Итерационный процесс продолжается до достижения: стационарного состояния; циклического режима или устойчивой динамической конфигурации.

Моделирование проводится в диапазоне $t = 1 \dots 10$, что позволяет оценить скорость реакции системы на управленческие воздействия, а также устойчивость экологического развития предприятия.

После агрегирования экспертных оценок применялись процедуры нормализации и согласования:

- медианное агрегирование, обеспечивающее устойчивость к выбросам и экстремальным оценкам;

- коэффициент согласия экспертов (Кендалла) – при этом уровень согласованности экспертов поддерживался не ниже 0,7, что соответствует высокой степени согласия;

- при расхождении индивидуальных оценок более 0,3 проводился повторный раунд с обсуждением (методика Delphi).

Для повышения надежности модели применялись следующие подходы к ее валидации:

1. Структурная валидация – проверка логики и последовательности причинно-следственных связей между концептами.

2. Сценарная чувствительность – анализ изменений в поведении модели при варьировании отдельных весов или начальных условий.

3. Сравнение с фактическими кейсами – сопоставление выходных значений модели с реальными стратегиями крупных металлургических компаний (ПАО «НЛМК»).

Дополнительно была проведена проверка на устойчивость: добавление шума ($\pm 5-10\%$) в веса не должно существенно менять итоговую конфигурацию поведения системы при стабильных сценариях.

Построенная когнитивная карта, основанная на шести базовых концептах экологических аспектов устойчивого развития, формализует сложную систему взаимосвязей, определяющих траекторию экологической трансформации предприятий металлургической промышленности.

В структуре когнитивной карты ключевое место занимает концепт ресурсной эффективности, который отражает способность предприятия минимизировать потребление сырья и энергоресурсов. Согласно матрице весов, данный фактор оказывает значимое воздействие на экологическую устойчивость (0,6), формируя фундамент для сокращения выбросов и оптимизации производственных процессов. Взаимосвязи показывают, что ресурсная эффективность способствует развитию принципов «чистого нуля» и ESG-управления, усиливая стратегическую направленность предприятия на снижение углеродного следа.

Концепт экологической устойчивости проявляет себя как системный интегратор изменений: от него исходят связи с зелеными инновациями (0,7), декарбонизацией (0,4), а также с формированием ESG-подходов (0,3). Это означает, что повышение экологических стандартов и соответствие нормативным требованиям автоматически стимулируют внедрение передовых технологий и трансформацию корпоративного управления. Важно, что экологическая устойчивость также подпитывается обратными влияниями, демонстрируя многоконтурный характер экологических преобразований.

Зеленые инновации в данной модели выступают как зависимая, но не иницирующая переменная: матрица не содержит исходящих связей, что указывает на их характер как результата, а не драйвера. Это подчеркивает, что технологические нововведения возникают как ответ на системный спрос со стороны декарбонизационных инициатив, ESG-управления и требований экологической устойчивости. Подобная роль отражает реальную практику металлургических предприятий, где инновации внедряются преимущественно в рамках стратегических программ трансформации.

Концепт декарбонизации демонстрирует выраженную системообразующую функцию: он влияет на ресурсную эффективность (0,3), экологическую устойчивость (0,4), зеленые инновации (0,3), принцип чистого нуля (0,6) и ESG-управление (0,2). Такое положение отражает критическую значимость снижения выбросов CO₂ для современной металлургии. Декарбонизационные меры формируют комплексные эффекты, приводя к модернизации оборудования,

переходу на низкоуглеродные энергоносители, внедрению цифрового мониторинга и улучшению экологической отчетности.

Принцип чистого нуля (Net Zero) обладает интенсивными обратными и прямыми влияниями: он стимулирует ресурсную эффективность (0,2), устойчивость (0,5), инновации (0,6), декарбонизацию (0,7) и ESG-управление (0,4). Это подтверждает, что ориентир на достижение нулевого баланса выбросов формирует новую парадигму функционирования металлургических предприятий, требующую глубоких структурных реформ.

Наконец, ESG-ориентированное управление служит институциональной рамкой, объединяющей экономические, экологические и социальные аспекты устойчивого развития. В модели оно воздействует на экологическую устойчивость (0,2), зеленые инновации (0,5), декарбонизацию (0,3), принцип чистого нуля (0,2) и ресурсную эффективность. Такой набор взаимосвязей отражает, что ESG-подходы задают стратегическую логику развития, формируя долгосрочные инвестиционные приоритеты и систему корпоративной отчетности, ориентированную на снижение экологических рисков и повышение прозрачности.

Таким образом, когнитивная карта демонстрирует сложную сеть прямых и опосредованных влияний, характерную для современной системы экологического управления в металлургической отрасли. Анализ структуры FCM-модели позволяет выявить центральные драйверы трансформации – декарбонизацию, принцип чистого нуля и ресурсную эффективность, – а также определить концепты-результаты, такие как зеленые инновации. Полученная модель служит основой для количественного сценарного анализа, оценки потенциальных траекторий развития предприятия и выработки научно обоснованных управленческих решений в области устойчивого развития (рисунок 3.2).

Тепловая карта матрицы весов влияния W визуализирует интенсивность причинно-следственных взаимосвязей между шестью ключевыми концептами экологически ориентированного развития металлургического предприятия. Цветовая шкала отражает силу влияния: от слабых (светлые оттенки) к интенсивным (насыщенные оранжевые области). Данная визуализация позволяет

выявить концентраторы системных воздействий, а также определить структурные ядра экологической трансформации предприятия.

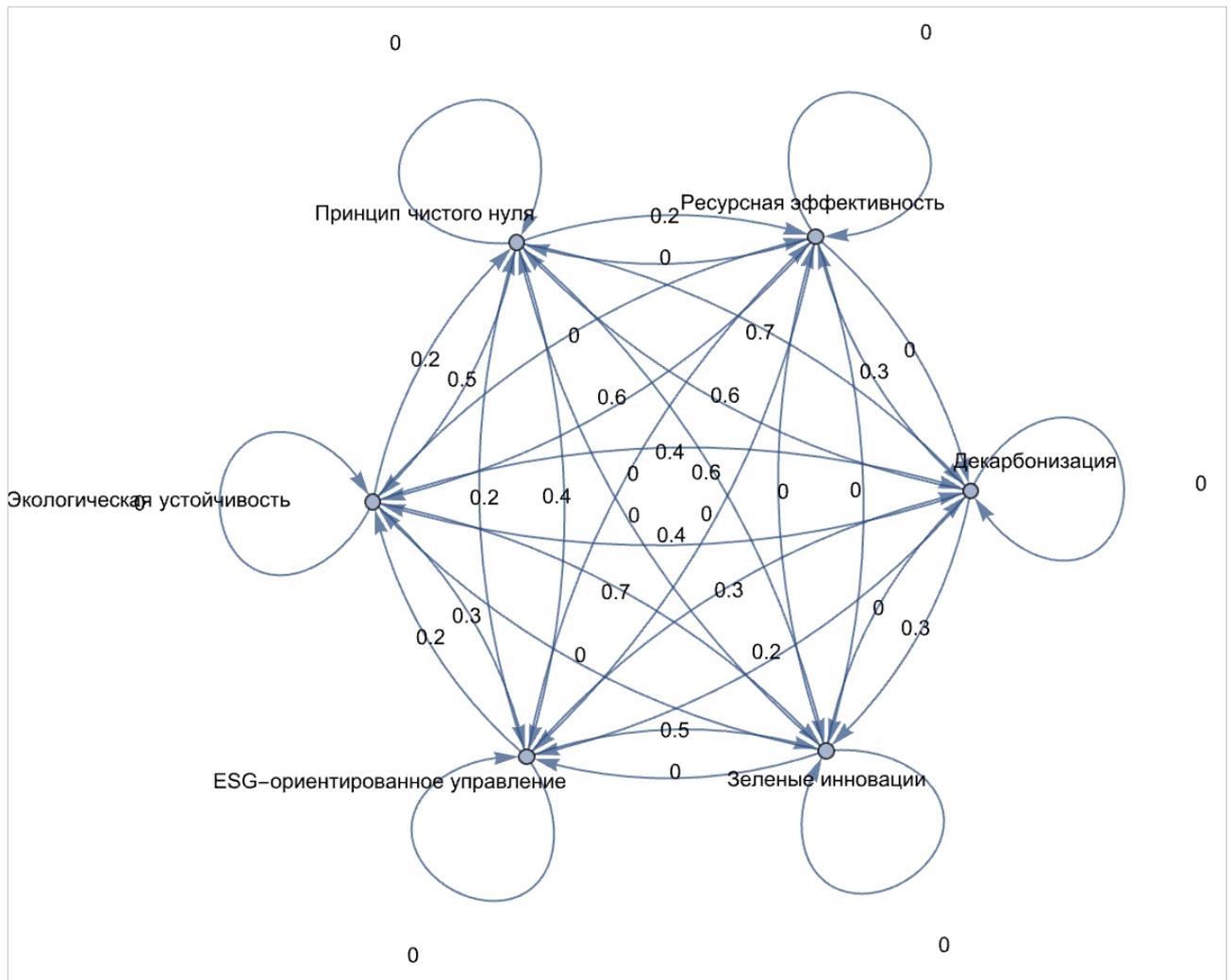


Рисунок 3.2 – Когнитивная карта экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ полученной карты показывает, что экологическая устойчивость, декарбонизация и принцип чистого нуля формируют наиболее насыщенные зоны матрицы, что свидетельствует о высокой плотности исходящих воздействий и их системной значимости. Так, от экологической устойчивости тянутся сильные связи к зеленым инновациям (0,7), технологической модернизации в рамках декарбонизации (0,4) и элементам ESG-управления (0,3). Именно эта концепция

служит регуляторным и технологическим драйвером устойчивых преобразований, что подтверждается высокой яркостью соответствующих ячеек матрицы.

Блок, связанный с концептом декарбонизации, демонстрирует одну из наиболее выраженных структурных концентраций значимых влияний. В частности, ярко выделяются связи к принципу чистого нуля (0,6), зеленым инновациям (0,3), экологической устойчивости (0,4) и ресурсной эффективности (0,3). Такой характер распределения весов отражает центральную роль декарбонизационных мер в стратегии экологической трансформации предприятий металлургической промышленности, где снижение эмиссий CO₂ становится ключевым направлением технологической модернизации.

Сектор, относящийся к принципу чистого нуля, также характеризуется высокой насыщенностью. Значимые веса направлены на экологическую устойчивость (0,5), зеленые инновации (0,6), декарбонизацию (0,7) и ESG-управление (0,4). Эти яркие участки тепловой карты демонстрируют, что целевая ориентация на Net Zero формирует комплексный мультипликативный эффект, стимулирующий преобразования практически по всем направлениям устойчивого развития.

В то же время концепт ресурсной эффективности имеет выраженное, но более локализованное влияние – прежде всего на экологическую устойчивость (0,6). Такое распределение свидетельствует о том, что повышение эффективности использования ресурсов служит фундаментальной, но не единственной предпосылкой экологических сдвигов на предприятии.

Особое внимание привлекает структура влияний ESG-ориентированного управления, отраженная умеренно насыщенными ячейками матрицы. Хотя интенсивность исходящих весов несколько ниже по сравнению с декарбонизацией и принципом чистого нуля, ESG-управление оказывает системный институциональный эффект, воздействуя на ключевые направления устойчивого развития. Это подтверждается видимыми связями к экологической устойчивости (0,2), инновациям (0,5) и декарбонизации (0,3).

Отдельно стоит отметить, что концепт зеленых инноваций в матрице практически не имеет исходящих воздействий, что подтверждает его роль как результирующей переменной. Это визуально выражается в преобладании ярких элементов по строкам других концептов и отсутствии насыщенных элементов в строке инноваций, что полностью согласуется с логикой FCM-моделирования (рисунок 3.3).

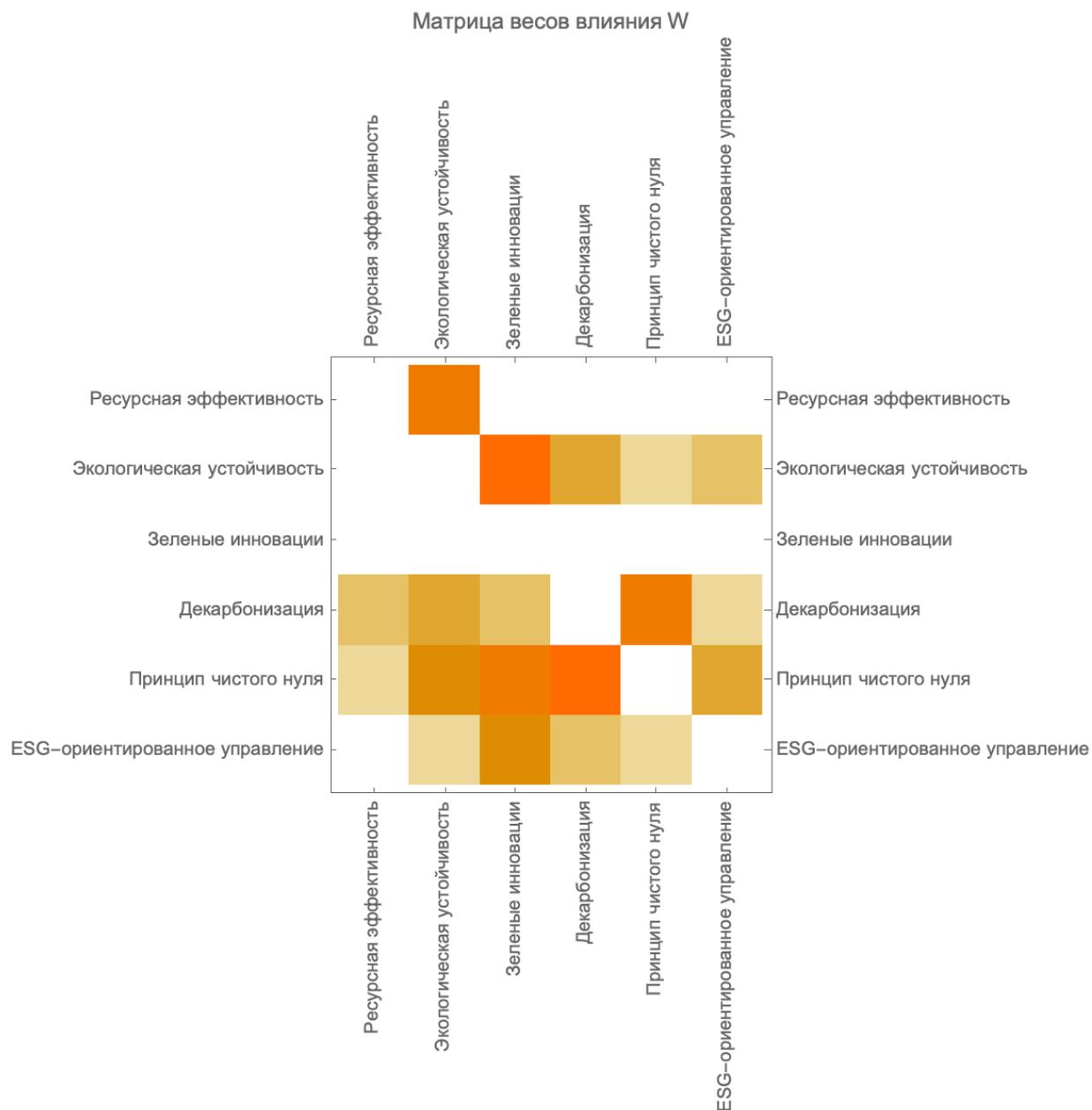


Рисунок 3.3 – Тепловая карта матрицы весов влияния ключевых концептов устойчивого развития

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В целом тепловая карта матрицы W позволяет выявить структурные «узлы влияния», определить приоритеты экологической модернизации и описать латентную архитектуру устойчивых изменений на металлургическом предприятии. Наиболее значимыми системными драйверами выступают декарбонизация, принцип чистого нуля и экологическая устойчивость, тогда как зеленые инновации функционируют как интегративный результат влияния остальных концептов. Такой анализ формирует основу для построения сценарных моделей, разработки управленческих интервенций и оценки потенциальных траекторий экологического развития.

Для анализа устойчивости системы к изменениям внешней среды были разработаны три сценария, различающихся по значению начальных условий и структуре весов между концептами. Каждый сценарий моделируется на интервале из 10 итераций. Оценка проводится по траекториям развития ключевых концептов и уровню их стабилизации. Дополнительно анализируются чувствительность модели и степень влияния отдельных факторов на устойчивость системы в целом. Были реализованы три сценария:

Сценарий 1 – Активная поддержка:

Государство активно инвестирует в зеленые технологии, стимулирует инновации и устанавливает нормативное регулирование. Это усиливает влияние декарбонизации на технологическое обновление и устойчивое развитие.

Сценарий 2 – Медленный переход:

Отрасль медленно адаптируется к экологическим требованиям. Влияние экотрендов ослаблено, технологические изменения происходят фрагментарно, что приводит к стагнации ключевых индикаторов.

Сценарий 3 – Экологический кризис:

Резкое внешнее давление (например, природные катастрофы, санкции, трансграничный углеродный налог) требует немедленных преобразований. Декарбонизация становится доминирующим фактором, резко влияющим на другие стратегические направления.

Первый сценарий (рисунок 3.4) моделирует условия, при которых государственная политика, инвесторы и руководство предприятий активно стимулируют климатически ориентированное развитие. В первом сценарии наблюдается наиболее стремительная и согласованная динамика роста значений всех концептов. Уже после двух итераций модель демонстрирует почти полное насыщение и выход системы на высокостабильный уровень устойчивости. Наиболее выраженное ускорение характерно для таких переменных, как «Экологическая устойчивость», «Зеленые инновации» и «Принцип чистого нуля», что обусловлено усиленными весами их взаимного влияния в матрице W_1 . Декарбонизация выступает в этом сценарии ключевым драйвером: рост ее значения быстро транслируется на технологическое обновление, инициативы Net Zero и ESG-ориентированное управление. Полученная динамика отражает ситуацию, при которой государственные и корпоративные меры по снижению выбросов CO_2 носят выраженный приоритетный характер, обеспечивая комплексный мультипликативный эффект на всю систему устойчивого развития предприятия. Такой сценарий соответствует активной экологической политике, масштабным инвестициям в низкоуглеродные технологии и системе стимулирования инноваций.

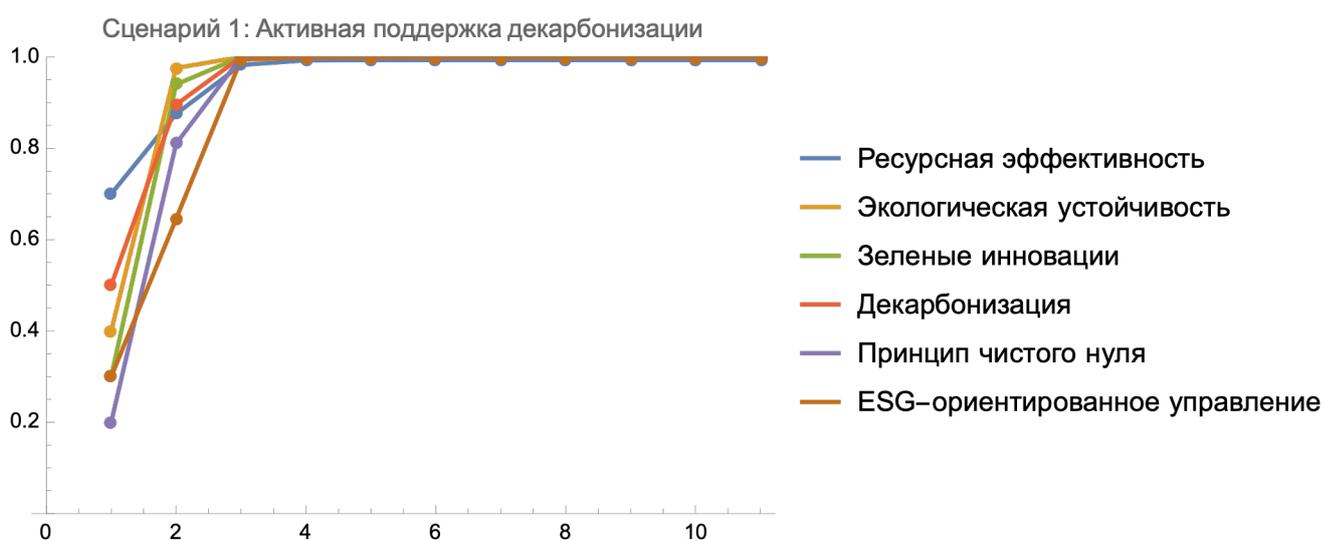


Рисунок 3.4 – Сценарий 1: Активная поддержка декарбонизации

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во втором сценарии (рисунок 3.5) динамика концептов по-прежнему демонстрирует устойчивый рост, однако скорость достижения высокого уровня значительно ниже по сравнению с первым сценарием. Модель показывает, что ослабление влияний, связанных с технологическими инновациями и декарбонизацией, приводит к постепенному насыщению системы. Наиболее чувствительными оказываются «Технологическое обновление» и «Экологическая ответственность», значения которых растут медленнее и достигают стабилизации лишь после нескольких итераций. Это соответствует ситуации, при которой предприятие движется в направлении экологической модернизации, но ограничивается постепенными, эволюционными изменениями – например, из-за недостатка инвестиций, слабой нормативной поддержки или низкой готовности к внедрению передовых технологий. Данный сценарий указывает на уязвимость системы к недостаточной интенсивности «зеленых драйверов», что уменьшает эффект от ESG-инструментов и ограничивает потенциал инновационного развития.

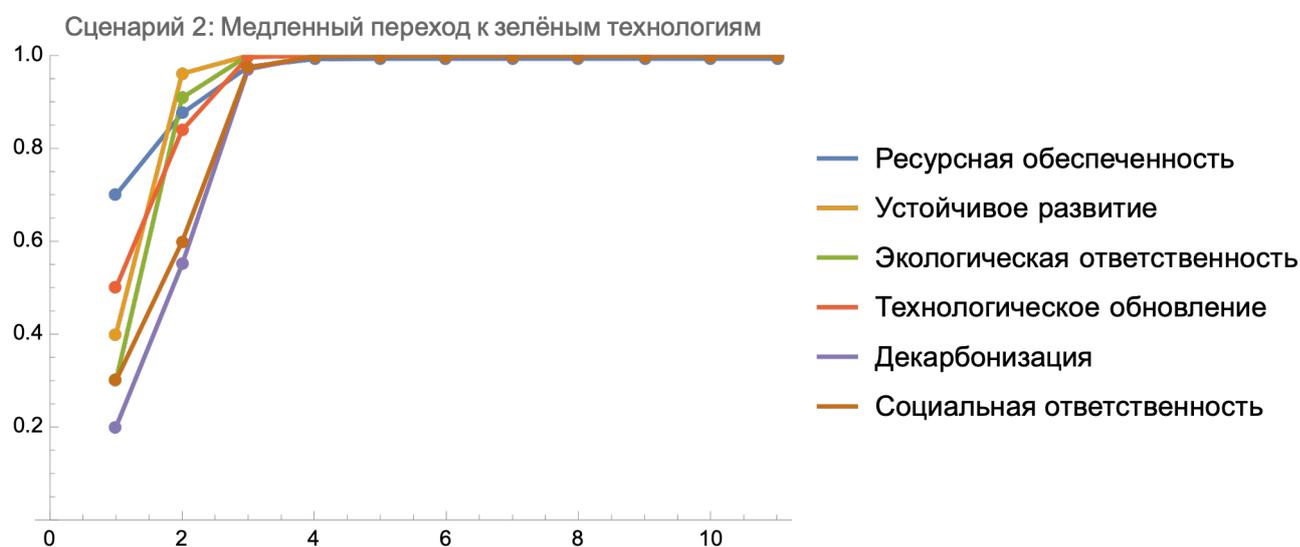


Рисунок 3.5 – Сценарий 2: Медленный переход к зеленым технологиям

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Третий сценарий (рисунок 3.6) моделирует состояние, при котором предприятие сталкивается с сильным внешним экологическим давлением или кризисом, что отражено в повышенных начальных значениях концепта «Принцип чистого нуля». В результате система демонстрирует резкий рост значений

ключевых концептов уже на первой-второй итерации. Особенно быстро увеличиваются показатели «Декарбонизации» и «Принципа чистого нуля», что указывает на форсированное принятие экологических мер в условиях угрозы или ужесточения внешнего регулирования. Несмотря на кризисный характер сценария, система также достигает состояния высокой устойчивости, однако механизмы этого роста отличаются: если в первом сценарии движущей силой были управленческие инициативы, то здесь рост обусловлен внешним давлением, вынуждающим предприятие ускоренно адаптироваться.

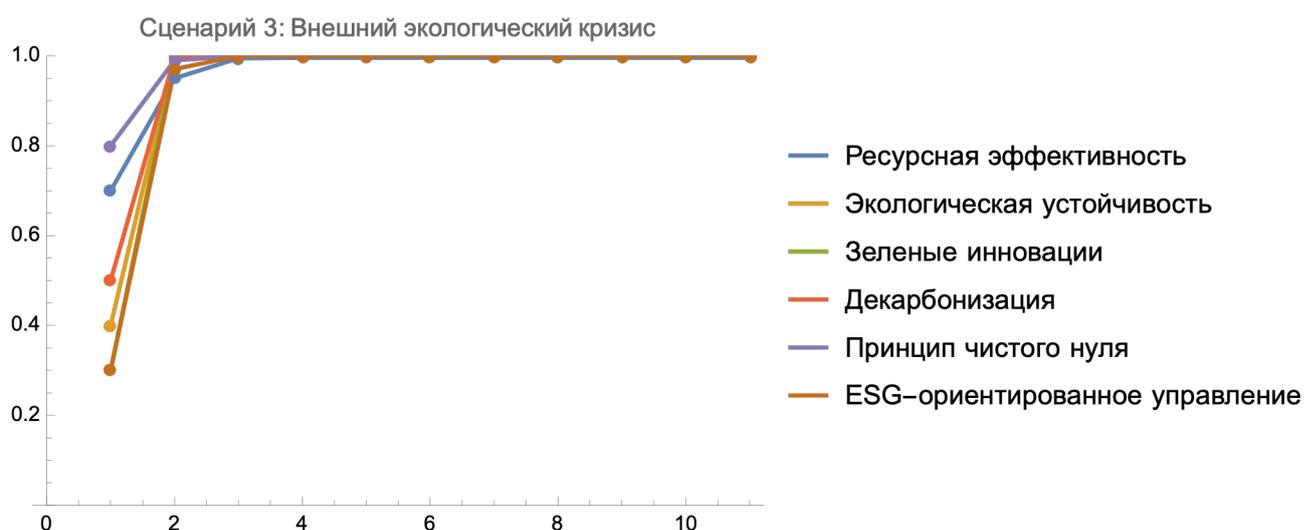


Рисунок 3.6 – Сценарий 3: Внешний экологический кризис

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сравнительная характеристика сценариев представлена в таблице 3.3.

Сравнение трех сценариев демонстрирует, что FCM-модель формирует устойчивую динамику и приводит систему к состоянию высокой экологической зрелости при различных исходных условиях. Однако скорость этих изменений и механизмы перехода существенно различаются:

Сценарий 1 – наиболее эффективный и управляемый: устойчивость достигается быстро благодаря активной поддержке декарбонизационных и инновационных процессов.

Сценарий 2 – умеренный и инерционный: рост устойчивости сохраняется, но его темпы ограничены слабой технологической динамикой.

Сценарий 3 – кризисный и реактивный: система стабилизируется быстро, но за счет вынужденных, а не стратегических преобразований.

Таблица 3.3 – Сравнительная характеристика сценариев развития предприятий металлургической промышленности

Характеристика	Сценарий 1: Активная поддержка декарбонизации	Сценарий 2: Медленный переход к зеленым технологиям	Сценарий 3: Внешний экологический кризис
Интенсивность связей	Высокая и системная	Умеренная, разреженная	Высокая, но неравномерная
Центральный фактор	Декарбонизация	Экологическая устойчивость	Принцип «чистого нуля»
Роль инноваций	Ключевая	Ограниченная	Вспомогательная
Роль ESG-управления	Модератор	Слабый участник	Механизм стабилизации
Устойчивость системы	Высокая	Средняя	Низкая → адаптивная перестройка
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.			

Проведенный анализ демонстрирует значимость FCM-моделирования для поддержки управленческих решений: варьирование весовых коэффициентов позволяет идентифицировать ключевые точки стратегического воздействия и оценивать эффективность альтернативных сценариев экологического развития предприятия.

Разработанная интегративная методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности может применяться не только в научных исследованиях, но и в практической деятельности в сфере стратегического и управленческого анализа. Методика обеспечивает возможность адаптации стратегий устойчивого развития с учетом отраслевых и институциональных рисков, выявляемых в ходе сценарного моделирования.

Полученные результаты согласуются с выводами Е. Папагеоргиу и соавторов, которые показали, что НКК позволяют эффективно моделировать причинно-следственные структуры социально-экономических систем и поддерживать разработку стратегий, соответствующих принципам циркулярной экономики [235]. У. Озесми и С. Озесми также подчеркивали, что использование

НKK расширяет возможности экологического моделирования за счет учета абстрактных переменных и сложных механизмов обратной связи, что существенно повышает качество принимаемых решений в условиях неопределенности [236].

Исследования Л. Занона и соавторов подтверждают прикладную ценность НKK в анализе взаимосвязи между эффективностью цепочек поставок и принципами циркулярной экономики, позволяя оценивать компромиссы и синергетические эффекты при достижении целей устойчивого развития [232]. Одним из ключевых направлений применения НKK является сценарный анализ: моделирование альтернативных траекторий развития дает возможность выявлять потенциальные риски и стратегические возможности при реализации различных управленческих решений.

Результаты сценарного моделирования в рамках настоящего исследования показали, что максимальный рост стратегического потенциала достигается при интеграции принципов устойчивого развития в бизнес-модель предприятия как на уровне управления ресурсами, так и на уровне корпоративного управления. Предложенный подход позволяет выявлять устойчивые и уязвимые элементы стратегии, а также адаптировать корпоративную политику в условиях экологической трансформации отрасли.

Разработанная интегративная методика экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургического комплекса, основанная на системе из шести взаимосвязанных концептов (ресурсная эффективность, экологическая устойчивость, «зеленые» инновации, декарбонизация, принцип «чистого нуля» и ESG-управление), обеспечивает реализацию сценарного подхода к прогнозированию траекторий устойчивости и выявлению стратегических рисков отраслевой трансформации с использованием инструментария нечетких когнитивных карт.

Таким образом, применение инструментария нечетких когнитивных карт в рамках разработанной интегративной методики обеспечивает формализованное моделирование причинно-следственной структуры экологических факторов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности. В

отличие от традиционных методов экономического анализа, основанных на линейных зависимостях и статических оценках, предложенный подход позволяет учитывать многоконтурные обратные связи, нелинейность влияний и сценарную вариативность развития системы. Это формирует методологически обоснованную основу для количественной оценки стратегического потенциала предприятий в условиях экологической трансформации отрасли и повышает достоверность принимаемых управленческих решений.

3.3 Статистический анализ влияния мирового производства стали на выбросы парниковых газов

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Влияние мирового производства стали на выбросы парниковых газов: анализ и перспективы» [237].

Статистические оценки показывают, что на производство стали приходится приблизительно 7% мировых выбросов CO₂, что составляет около 2,6 миллиарда тонн в год. П. Феннелл и соавторы подчеркивают, что без перехода к технологиям с более низким уровнем выбросов вклад сталелитейной отрасли в выбросы углерода останется существенным, особенно с учетом продолжающегося роста спроса на сталь в развивающихся странах [238].

Сталелитейная промышленность относится к числу наиболее углеродоемких отраслей. Данные интегрированных металлургических предприятий показывают, что производство одной тонны стали сопровождается выбросами в среднем около

1,8 тонны CO₂, преимущественно вследствие использования угля в доменных печах [239]. Существенная доля выбросов формируется на стадиях переработки сырья и в рамках энергоемких производственных процессов, основанных на применении ископаемого топлива.

Вопрос взаимосвязи экономических факторов и динамики выбросов CO₂ является предметом широкого круга эмпирических исследований. Так, панельный анализ А. Касмана и И. Думана выявил статистически значимую зависимость между экономическим ростом, потреблением энергии и увеличением выбросов CO₂ в странах Европейского союза, где производство стали выступает одним из существенных детерминантов углеродной нагрузки [240].

Исследование И. Рена и соавторов, посвященное китайской сталелитейной промышленности, показало наличие двусторонней причинно-следственной связи между объемами производства, экономическим ростом и выбросами парниковых газов. Авторы установили, что рост производства сопровождается увеличением выбросов, однако ужесточение экологических ограничений и изменение структуры выбросов также оказывают влияние на производственные стратегии предприятий [241].

Дополнительные эмпирические подтверждения зависимости между промышленной активностью и динамикой выбросов представлены в исследованиях К. Замана, демонстрирующих, что рост энергопотребления в промышленных секторах статистически значимо коррелирует с увеличением уровня загрязнения окружающей среды [242]. Это усиливает аргументацию о прямой связи между энергоемкими отраслями, включая производство стали, и объемами углеродных выбросов. Аналогичные выводы содержатся в работе Т. Ксинфа и соавторов, подчеркивающих необходимость внедрения низкоуглеродных технологий на сталелитейных предприятиях для снижения экологической нагрузки [243].

Формирование системы комплексного экономического и статистического анализа позволяет успешно решать стоящие перед предприятиями задачи по

повышению эффективности деятельности и обеспечению конкурентных преимуществ в условиях нестабильности внешней среды.

Для проведения исследования были собраны данные о мировом производстве стали (с сайта Всемирной Ассоциации стали (World Steel Association) и выбросах углекислого газа, метана и оксида азота (база данных Всемирного банка (World Bank) за период с 2000 по 2020 год (CO₂ emissions (kt))» [244], «Methane emissions (kt of CO₂ equivalent)» [245], Nitrous oxide (N₂O) emissions (thousand metric tons of CO₂ equivalent)» [246].

Предварительный анализ динамики показателей свидетельствует о тенденции замедления роста и частичного снижения выбросов CO₂ после 2018 года, что может быть связано с реализацией международной климатической политики и усилением декарбонизационных инициатив.

Для оценки взаимосвязи между мировым производством стали и выбросами парниковых газов применялся коэффициент корреляции Пирсона. Дополнительно были построены регрессионные модели, в которых объем мирового производства стали выступал в качестве независимой переменной, а выбросы CO₂, метана и оксида азота – в качестве зависимых переменных.

Расчеты показали чрезвычайно высокую положительную корреляцию между мировым производством стали и выбросами CO₂ за период 2000–2020 годов: коэффициент корреляции составил 0,98. Полученное значение свидетельствует о практически линейной зависимости показателей в рассматриваемом временном интервале.

Проведенный регрессионный анализ позволил получить следующее уравнение регрессии:

$$y = 1,58519 * 10^7 + 10807,7 * x, \quad (3.5),$$

где y – объем выбросов CO₂;

x – объем мирового производства стали.

Уравнение позволяет предсказывать значения выбросов углекислого газа на основе объемов производства стали. Свободный член, $1,58519 * 10^7$, отражает расчетный уровень выбросов CO₂ при нулевом объеме производства стали.

Коэффициент при переменной x равный 10 807,7 показывает изменение прогнозируемого объема выбросов углекислого газа при увеличении производства стали на одну единицу. Полученный в ходе расчетов коэффициент детерминации R^2 равен 0,96 и свидетельствует о высокой степени объясняющей способности модели: 96% вариации выбросов CO_2 объясняется изменением объемов производства стали.

Полученные статистические показатели в ходе дисперсионного анализа (ANOVA) представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Статистические результаты ANOVA для регрессии выбросов CO_2 на основе объемов производства стали

	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	F-статистика	p-значение
x	$2,699 \cdot 10^{14}$	1	$2,699 \cdot 10^{14}$	424,557	$1,852 \cdot 10^{-14}$
Ошибка (Error)	$1,208 \cdot 10^{13}$	19	$6,356 \cdot 10^{14}$		
Общее (Total)	$2,819 \cdot 10^{14}$	20			

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты линейной регрессии (значение F-статистики и p-значения) подтверждают статистическую значимость модели. Крайне низкое p -значение ($1,852 \cdot 10^{-14}$) позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии зависимости. Высокое значение F-статистики (424,557) указывает на существенную объясняющую силу модели. Таким образом, объем мирового производства стали оказывает статистически значимое влияние на выбросы CO_2 .

Далее был проведен анализ второго показателя – «Methane emissions (kt of CO_2 equivalent)», представляющего выбросы метана, приведенные к эквиваленту CO_2 для сопоставимости их климатического воздействия.

Коэффициент корреляции между данными показателями равен 0,99. Полученный коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$ указывает на чрезвычайно высокую долю объясненной вариации.

В результате регрессионного анализа получено следующее уравнение:

$$y = 5,933 \cdot 10^6 + 1337,63 \cdot x, \quad (3.6)$$

где y – выбросы метана;

x – объем производства стали.

Свободный член ($5,933 \cdot 10^6$) отражает расчетный базовый уровень выбросов метана при нулевом объеме производства. Коэффициент при переменной x , равный 1337,63, показывает прирост прогнозируемых выбросов метана при увеличении производства стали на одну единицу.

Полученные значения F-статистики (1423,222) и крайне низкое р-значение ($2,495 \cdot 10^{-19}$) подтверждают статистическую значимость модели. Результаты свидетельствуют о том, что объем мирового производства стали оказывает существенное влияние на выбросы метана (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Статистические результаты ANOVA для регрессии выбросов метана на основе объемов производства стали

	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	F-статистика	р-значение
x	$4,134 \cdot 10^{12}$	1	$4,134 \cdot 10^{12}$	1423,222	$2,495 \cdot 10^{-19}$
Ошибка (Error)	$5,519 \cdot 10^{10}$	19	$2,904 \cdot 10^9$		
Общее (Total)	$4,189 \cdot 10^{12}$	20			

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Третий показатель – «Nitrous oxide emissions (thousand metric tons of CO₂ equivalent)» – характеризует объем выбросов оксида азота (N₂O), выраженных в тысячах метрических тонн в пересчете на эквивалент CO₂. Приведение к CO₂-эквиваленту позволяет сопоставлять климатическое воздействие различных парниковых газов в рамках единой измерительной базы.

Коэффициент корреляции между мировым объемом производства стали и выбросами оксида азота за анализируемый период составил 0,99, что свидетельствует о крайне высокой положительной зависимости между показателями.

В результате регрессионного анализа получено следующее уравнение:

$$y = 1,967 \cdot 10^6 + 551,165 \cdot x, \quad (3.7)$$

где y – выбросы оксида азота;

x – объем мирового производства стали.

Свободный член ($1,967 \cdot 10^6$) отражает расчетный базовый уровень выбросов оксида азота при нулевом объеме производства стали. Коэффициент при переменной x , равный 551,165, показывает изменение прогнозируемого объема выбросов N_2O при увеличении производства стали на одну условную единицу. Коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,98$ указывает на высокую объясняющую способность модели: 98% вариации выбросов оксида азота объясняется изменением объемов производства стали.

Результаты линейной регрессии показывают, что объем производства стали оказывает существенное влияние на выбросы оксида азота (NO_x). p -значение ($2,332 \cdot 10^{-17}$) чрезвычайно мало, что подтверждает статистическую значимость этой зависимости (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Статистические результаты ANOVA для регрессии выбросов оксида азота на основе объемов производства стали

	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	F-статистика	p-значение
x	$7,018 \cdot 10^{11}$	1	$7,018 \cdot 10^{11}$	875,84	$2,332 \cdot 10^{-17}$
Ошибка (Error)	$1,523 \cdot 10^{10}$	19	$8,013 \cdot 10^8$		
Общее (Total)	$7,171 \cdot 10^{11}$	20			
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Высокая F -статистика (875,84) свидетельствует о том, что модель объясняет значительную часть вариации данных. Очень малое p -значение и высокая F -статистика подтверждают, что модель подходит для предсказания изменений выбросов оксида азота на основе объемов производства стали.

Таким образом, результаты анализа показывают статистически значимое и устойчивое влияние мирового производства стали на объемы выбросов парниковых газов, включая CO_2 , метан и оксид азота. Наиболее выраженная зависимость наблюдается в отношении углекислого газа и метана, что обусловлено высокой энергоемкостью традиционных металлургических технологий.

Для дополнительной оценки экологической эффективности отрасли проведен анализ динамики мирового производства стали и средней интенсивности выбросов CO_2 на одну тонну произведенной стали за период 2007–2023 годов.

Данные об углеродной интенсивности получены из базы данных Statista (показатель: Average carbon dioxide (CO₂) emissions intensity of steel production worldwide from 2007 to 2023).

Анализ динамики показателя показывает наличие умеренных колебаний при сохранении относительно высокого уровня углеродной интенсивности, что указывает на ограниченные темпы технологической декарбонизации отрасли в рассматриваемом периоде.

Для оценки взаимосвязи между объемами мирового производства стали и средней углеродной интенсивностью была построена линейная регрессионная модель. Результаты показали статистически значимую зависимость между переменными (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Оценки коэффициентов регрессии, стандартные ошибки и статистики для модели углеродной интенсивности

	Оценка (Estimate)	Стандартная ошибка (Standard Error)	T-статистика (t-Statistic)	p-значение (P-Value)
<i>I</i>	1,565	0,078	20,144	2,844*10 ⁻¹²
<i>x</i>	0,0001	0,00005	3,497	0,003
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.				

Коэффициент наклона при переменной *x* (объем производства стали) составляет 0,0001 и является статистически значимым ($p = 0,003$). Положительное значение коэффициента свидетельствует о том, что рост объемов производства сопровождается увеличением средней углеродной интенсивности. Значение *t*-статистики (3,497) подтверждает устойчивость выявленной зависимости.

Свободный член регрессии равен 1,565, что отражает базовый уровень углеродной интенсивности при нулевом объеме производства. *p*-значение для константы крайне низкое ($p < 0,001$), что говорит о ее высокой значимости в модели.

Малые *p*-значения для обоих коэффициентов свидетельствуют о статистической значимости выявленной зависимости. Дополнительно проведен дисперсионный анализ (ANOVA), результаты которого представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Статистические результаты ANOVA для регрессии между объемами мирового производства стали и уровнем средней углеродной интенсивности ее производства

	Между SS	Степени свободы (df)	Внутри SS	F-статистика	p-значение
x	0,02	1	0,02	12,227	0,003
Ошибка (Error)	0,025	15	0,002		
Общее (Total)	0,046	16			

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученное значение F-статистики (12,227) и p-значение (0,003) подтверждают статистическую значимость модели в целом.

Таким образом, в анализируемом периоде наблюдается положительная статистически значимая зависимость между ростом объемов производства стали и увеличением средней углеродной интенсивности. Это указывает на то, что увеличение выпуска в условиях сохранения традиционных технологических укладов сопровождается усилением углеродной нагрузки на единицу продукции, что подчеркивает необходимость ускорения технологической модернизации и внедрения низкоуглеродных решений в отрасли.

Далее проведен анализ взаимосвязи между мировым объемом производства стали и выбросами углекислого газа (CO_2) с использованием тестов причинности Грейнджера. Предварительно выполнена проверка стационарности временных рядов с применением теста Дики – Фуллера (ADF) и теста KPSS.

Результаты ADF-теста для ряда объемов производства стали (таблица 3.9) показывают, что при большинстве спецификаций лаговой структуры нулевая гипотеза о наличии единичного корня не отвергается на уровне значимости 5%, что свидетельствует о нестационарности ряда в уровнях.

Таблица 3.9 – Результаты теста на стационарность (ADF) для ряда мирового производства стали

Порядок лага	p-значение
1	0,327
2	0,011
3	0,066
4	$0,1769 \cdot 10^{-10}$
5	0,000
6	0,748

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Несмотря на отдельные случаи статистической значимости при некоторых лагах, в целом ряд демонстрирует признаки трендовой нестационарности, что требует его преобразования. Результаты ADF-теста для выбросов CO₂ (таблица 3.10) подтверждают наличие единичного корня: во всех рассмотренных спецификациях р-значения существенно превышают 0,05.

Таблица 3.10 – Результаты теста на стационарность (ADF) для показателей выбросов CO₂

Порядок лага	р-значение
1	0,996
2	0,976
3	0,996
4	0,995
5	0,998
6	0,998

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, оба ряда в уровнях характеризуются нестационарностью.

Дополнительно проведен тест KPSS, нулевая гипотеза которого предполагает стационарность ряда. Результаты для производства стали (таблица 3.11) и выбросов CO₂ (таблица 3.12) указывают на наличие трендовой компоненты и подтверждают необходимость применения дифференцирования.

Таблица 3.11 – Результаты теста KPSS для ряда показателей объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,205
2	0,141
3	0,132
4	0,133
5	0,141
6	0,152

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 3.12 – Результаты теста KPSS для показателей объемов выбросов CO₂

Порядок лага	р-значение
1	0,375
2	0,244
3	0,197
4	0,173
5	0,159
6	0,152

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

С учетом результатов обоих тестов временные ряды были приведены к стационарному виду посредством взятия первых разностей.

После преобразования рядов был проведен тест причинности Грейнджера. Результаты для первых разностей представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и выбросов CO₂

Порядок лага	р-значение
1	0,002
2	0,008
3	0,019
4	0,065
5	0,031

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные значения р-уровней свидетельствуют о статистически значимой причинно-следственной зависимости (в смысле Грейнджера) на лагах 1, 2, 3 и 5 при уровне значимости 5%. Это означает, что прошлые значения приростов производства стали обладают прогностической способностью в отношении изменений выбросов CO₂. Следовательно, динамика производства стали статистически предшествует изменениям углеродных выбросов.

Результаты теста Грейнджера в обратном направлении (от выбросов CO₂ к производству стали) представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей выбросов CO₂ и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,174
2	0,405
3	0,925
4	0,921
5	0,167

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех случаях р-значения превышают 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии причинности. Таким образом, статистически

значимой обратной причинно-следственной связи от выбросов CO₂ к производству стали выявлено не было.

Это позволяет сделать вывод о наличии односторонней причинности: изменения в объемах производства стали предшествуют изменениям выбросов CO₂, тогда как обратная зависимость статистически не подтверждается.

Дополнительно был проведен анализ устойчивости регрессионных моделей для первых разностей показателей (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Коэффициенты, стандартные ошибки и р-значения для модели влияния первых разностей объемов производства стали на выбросы углекислого газа по периодам

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	р-значение
1	{167291; 1,834; -13951,400}	{246020; 0,642; 5572,600}	0,024
2	{240753; 1,942; 0,372; -14970,700; -6695,140}	{285322; 0,624; 0,765; 5236; 6317,210}	0,023
3	{336786; 1,269; 0,305; 1,878; -12101,200; -7539,180; -17142,100}	{287575; 0,694; 0,750; 0,717; 5435,360; 6044,350; 5983,110}	0,011
4	{569474; -0,247; -0,551; 3,848; 0,886; -3123,870; -4536,610; -33434,300; -9764,650}	{185141; 0,524; 0,540; 0,603; 0,563; 3654,320; 4384,170; 4907,420; 4948,740}	0,001
5	{859051; 0,620; -0,552; 4,183; -0,059; -0,866; -10111,600; -2406,090; -36243,900; -514,653; 3417,250}	{68527,100; 0,290; 0,131; 0,140; 0,597; 0,246; 1492,920; 957,592; 1368,990; 5307,110; 2115,830}	0,000
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.			

Несмотря на вариативность коэффициентов при различных лагах, совокупные модели для лагов 1–5 являются статистически значимыми ($p < 0,05$). Наиболее устойчивой оказалась модель с лаговой структурой до 5 периодов, для которой получено минимальное р-значение (0,000), что свидетельствует о высокой статистической значимости модели в целом. Относительно невысокие стандартные ошибки также подтверждают надежность оценок параметров.

Следует отметить, что включение более длинной лаговой структуры позволяет учитывать инерционные эффекты и отложенное влияние производственной динамики на экологические показатели, что особенно важно для энергоемких отраслей с технологической инерцией.

Итоговая регрессионная модель для первых разностей выбросов CO₂ имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta CO2_t = & 859051 + 0,620 * \Delta CO2_{t-1} - 0,552 * \Delta CO2_{t-2} + 4,183 * \\ & * \Delta CO2_{t-3} - 0,059 * \Delta CO2_{t-4} - 0,866 * \Delta CO2_{t-5} - 10111,6 * \Delta Steel_{t-1} - \\ & - 2406,09 * \Delta Steel_{t-2} - 36243,9 * \Delta Steel_{t-3} - 514,653 * \Delta Steel_{t-4} + \\ & + 3417,25 * \Delta Steel_{t-5} + \varepsilon_t, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где $\Delta CO2_t$ – первая разность выбросов CO₂ в момент времени t ($\Delta CO2_t = CO2_t - CO2_{t-1}$);

$\Delta Steel_t$ – первая разность объемов мирового производства стали с лагом k ;

$\Delta CO2_{t-k}$, $\Delta Steel_{t-k}$ – лаговые значения соответствующих первых разностей, $i = 1, \dots, 5$;

ε_t – случайная ошибка модели.

Полученные результаты подтверждают наличие краткосрочного и среднесрочного динамического влияния изменений объемов производства стали на динамику углеродных выбросов. Это свидетельствует о структурной зависимости экологической нагрузки от производственной активности в мировой металлургии.

Для анализа взаимосвязи между объемом производства стали и объемом выбросов метана по данным Всемирного банка предварительно была проведена проверка стационарности временных рядов с использованием тестов Дики–Фуллера (ADF) и KPSS (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Результаты теста Дики-Фуллера для показателей объемов выбросов метана

Порядок лага	p-значение
1	0,822
2	0,355
3	0,783
4	0,808
5	0,673
6	0,974

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех рассмотренных спецификациях p-значения существенно превышают уровень значимости 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о наличии единичного корня. Следовательно, ряд выбросов метана является нестационарным в уровнях.

Результаты теста KPSS представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Результаты теста KPSS для объемов выбросов метана

Порядок лага	р-значение
1	0,316
2	0,211
3	0,179
4	0,164
5	0,156
6	0,154

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В рамках теста KPSS нулевая гипотеза предполагает стационарность ряда. Полученные значения указывают на наличие трендовой компоненты и подтверждают необходимость предварительного преобразования данных для устранения нестационарности.

Таким образом, оба временных ряда – производство стали и выбросы метана – характеризуются нестационарностью в уровнях. Для корректного применения методов анализа временных рядов было выполнено взятие первых разностей.

Результаты теста Грейнджера для первых разностей в направлении «Сталь → Метан» представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и выбросов метана

Порядок лага	р-значение
1	0,383
2	0,449
3	0,128
4	0,121
5	0,258

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех случаях р-значения превышают 0,05, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии причинности. Следовательно, изменения объемов производства стали не обладают статистически значимой прогностической способностью в отношении изменений выбросов метана.

Таблица 3.19 показывает результаты теста причинности Грейнджера между первыми разностями выбросов метана и производства стали (показатели для лагов 1–5).

Таблица 3.19 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей выбросов метана и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,620
2	0,232
3	0,139
4	0,095
5	0,252

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Как видно из таблицы 3.19, все р-значения также больше 0,05, что говорит о том, что объем метана не предсказывает производство стали в данной выборке при всех лагах. Это также указывает на отсутствие статистически значимой взаимосвязи между метаном и производством стали в будущем.

Таким образом, в рассматриваемом периоде не выявлено статистически значимой динамической причинности между изменениями объемов мирового производства стали и изменениями выбросов метана. В отличие от выбросов CO₂, для которых была установлена односторонняя причинная связь, динамика метана не демонстрирует устойчивой зависимости от производственной активности в сталелитейной отрасли.

Для анализа взаимосвязи между объемом производства стали и объемом выбросов оксида азота по данным Всемирного банка проведем анализ с использованием тестов Дики-Фуллера и KPSS для проверки стационарности (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Результаты теста Дики-Фуллера для объемов выбросов оксида азота

Порядок лага	р-значение
1	0,079
2	$7,604 \cdot 10^{-7}$
3	$1,764 \cdot 10^{-15}$
4	1,000
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты ADF-теста демонстрируют неоднозначную картину: при лагах 2 и 3 р-значения существенно ниже 0,05, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о наличии единичного корня. Однако при лагах 4–6 р-значения равны 1, что указывает на невозможность отклонения гипотезы о нестационарности. Таким образом, ряд выбросов оксида азота демонстрирует признаки трендовой нестационарности и требует дополнительной проверки.

Результаты теста KPSS для ряда показателей объемов выбросов оксида азота представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Результаты теста KPSS для объемов выбросов оксида азота

Порядок лага	р-значение
1	0,107
2	0,089
3	0,104
4	0,131
5	0,159
6	0,176

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Показатели KPSS для оксида азота (например, 0,176) также подтверждают наличие тренда в ряду оксида азота. Это указывает на то, что этот ряд также не является стационарным и требует дифференциации.

Результаты теста причинности Грейнджера после дифференциации представлены в таблицах 3.22 и 3.23.

Таблица 3.22 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и выбросов оксида азота

Порядок лага	р-значение
1	0,406
2	0,076
3	0,209
4	0,220
5	0,395

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех случаях р-значения превышают уровень значимости 0,05, что свидетельствует об отсутствии статистически значимой причинно-следственной

зависимости в направлении «Сталь → N₂O». Следовательно, изменения объемов производства стали не обладают прогностической способностью в отношении изменений выбросов оксида азота.

Таблица 3.23 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей объемов выбросов оксида азота и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,674
2	0,642
3	0,386
4	0,734
5	0,741

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Все р-значения также превышают 0,05 (таблица 3.23), что свидетельствует об отсутствии статистически значимой причинности в обратном направлении. Таким образом, взаимная динамическая связь между первыми разностями выбросов оксида азота и объемами производства стали не выявлена.

Для анализа взаимосвязи между объемом производства стали и уровнем средней углеродной интенсивности производства стали за период 2007–2023 годов. предварительно проведена проверка стационарности временных рядов с использованием тестов Дики – Фуллера (ADF) и KPSS, после чего выполнен тест причинности Грейнджера.

Результаты теста ADF для объемов производства стали представлены в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Результаты теста Дики-Фуллера (ADF) для объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,339
2	0,030
3	0,003
4	1,000
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Несмотря на наличие статистически значимых значений при отдельных лагах, в целом ряд демонстрирует признаки трендовой нестационарности, что требует применения дифференциации.

Результаты теста ADF для уровня средней углеродной интенсивности представлены в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Результаты теста Дики – Фуллера (ADF) для уровня средней углеродной интенсивности

Порядок лага	р-значение
1	0,340
2	0,002
3	1,000
4	1,000
5	1,000
6	1,000

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные значения также указывают на наличие единичного корня в ряде, что подтверждает необходимость дифференциации.

Результаты теста KPSS для объемов производства стали представлены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Результаты теста KPSS для объемов производства стали с (2007 по 2023 г.)

Порядок лага	р-значение
1	0,130
2	0,099
3	0,103
4	0,115
5	0,146
6	0,198

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста KPSS для уровня средней углеродной интенсивности представлены в таблице 3.27.

С учетом результатов обоих тестов временные ряды были приведены к стационарному виду посредством взятия первых разностей.

Таблица 3.27 – Результаты KPSS теста для уровня средней углеродной интенсивности производства

Порядок лага	р-значение
1	0,106
2	0,077
3	0,08
4	0,103
5	0,157
6	0,237

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и уровня средней углеродной интенсивности представлены в таблице 3.28.

Таблица 3.28 – Результаты теста причинности Грейнджера для первых разностей объемов производства стали и уровня средней углеродной интенсивности

Порядок лага	р-значение
1	0,050
2	0,003
3	0,012
4	0,014

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Полученные значения свидетельствуют о статистически значимой причинно-следственной зависимости (в смысле Грейнджера) на лагах 2–4. На лаге 1 значение находится на границе уровня значимости. Следовательно, изменения объемов производства стали обладают прогностической способностью в отношении динамики углеродной интенсивности.

Результаты теста Грейнджера в обратном направлении («Углеродная интенсивность → Сталь») представлены в таблице 3.29.

Таблица 3.29 – Результаты теста Грейнджера для первых разностей уровня средней углеродной интенсивности и объемов производства стали

Порядок лага	р-значение
1	0,782
2	0,868
3	0,437
4	0,483

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Уровень углеродной интенсивности не оказывает статистически значимого влияния на объемы производства стали. Таким образом, можно сделать вывод о наличии односторонней причинно-следственной зависимости: производство стали обладает предсказательной способностью в отношении динамики углеродной интенсивности, тогда как обратная взаимосвязь статистически не подтверждается.

Вместе с тем результаты последующего регрессионного анализа показывают, что при оценке модели с различными лаговыми структурами большинство коэффициентов оказываются статистически незначимыми ($p > 0,05$), что не позволяет говорить о стабильной лаговой зависимости между переменными (таблица 3.30).

Таблица 3.30 – Коэффициенты, стандартные ошибки и р-значения для модели влияния первых разностей объемов производства стали на уровень средней углеродной интенсивности

Лаг	Коэффициенты	Стандартные ошибки	р-значение
1	{0,014; -0,150; -0,000}	{0,013; 0,317; 0,000}	0,446
2	{-0,001; 0,035; 0,040; -0,000; 0,000}	{0,022; 0,350; 0,334; 0,000; 0,000}	0,187
3	{-0,039; -0,327; 0,423; 0,158; 0,000; 0,000; 0,001}	{0,025; 0,269; 0,289; 0,289; 0,000; 0,000; 0,000}	0,059
4	{-0,002; 0,056; 0,444; -0,253; -0,389; 0,000; 0,000; 0,000; -0,000}	{0,027; 0,334; 0,279; 0,271; 0,220; 0,000; 0,000; 0,000; 0,000}	0,122
Примечание – Составлено автором в процессе исследования			

Полученные результаты указывают на отсутствие устойчивой лаговой регрессионной зависимости между первыми разностями объемов производства стали и уровнем средней углеродной интенсивности. Даже при наличии отдельных значимых значений на уровне теста Грейнджера, комплексная регрессионная спецификация не подтверждает системного статистического эффекта.

В целом эмпирические результаты подчеркивают необходимость поиска баланса между ростом производственной активности в металлургической отрасли и задачами охраны окружающей среды, а также разработки комплексных мер по обеспечению устойчивого развития отрасли с учетом экологических факторов.

Полученные выводы частично согласуются с результатами исследования Д. Сюй и соавторов, выявивших взаимосвязь между выбросами углерода и

экономическим ростом в сталелитейном секторе [247]. Данные результаты подтверждают, что расширение производственной деятельности сопровождается усилением экологической нагрузки.

Аналогично, И. Рен и соавторы, используя модель стохастического воздействия, выявили двустороннюю причинно-следственную связь между прямыми иностранными инвестициями, экономическим ростом и выбросами углерода в китайской сталелитейной промышленности [241]. Это подчеркивает сложный характер взаимодействия макроэкономических факторов и экологических показателей в отрасли.

В рамках настоящего исследования разработан методологический подход к статистической оценке стратегического потенциала металлургической промышленности с учетом экологических факторов, основанный на комплексном эконометрическом анализе взаимосвязей между объемами мирового производства стали и выбросами парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O), включая показатель углеродной интенсивности.

Эмпирически установлена статистически значимая связь между динамикой производства стали и выбросами CO_2 , подтвержденная результатами корреляционного, регрессионного и причинно-следственного анализа. Выявлена односторонняя лаговая зависимость в смысле Грейнджера на горизонте 1–5 периодов, что свидетельствует о предсказательной роли производственного фактора в формировании углеродной нагрузки отрасли.

Полученные результаты обеспечивают количественное обоснование включения экологических индикаторов в систему оценки стратегического потенциала металлургической промышленности и подтверждают необходимость учета отложенных экологических эффектов промышленного роста при формировании отраслевых стратегий развития.

Выводы по главе 3

1. По результатам анализа ESG-рейтингов металлургических предприятий установлена дифференциация компаний по уровню устойчивого развития.

Лидирующие позиции занимает ПАО «НЛМК», демонстрирующее высокие показатели по экологическим и управленческим параметрам. Компании среднего уровня представлены ПАО «ММК», тогда как ПАО «ТМК» и ПАО «Мечел» характеризуются более низкими значениями рейтинговых показателей. Полученные результаты подтверждают значительную неоднородность отрасли по уровню интеграции принципов устойчивого развития.

2. Разработана интегративная методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности, основанная на моделировании взаимосвязи шести ключевых концептов: ресурсной эффективности, экологической устойчивости, зеленых инноваций, декарбонизации, принципа «чистого нуля» и ESG-управления.

Применение инструментария нечетких когнитивных карт позволило выявить системные зависимости между концептами и определить ключевые драйверы трансформации отрасли. Сценарное моделирование показало, что активная политика декарбонизации обеспечивает устойчивый рост стратегического потенциала, тогда как при низком уровне экологических инициатив динамика показателей остается инерционной. Кризисный сценарий выявил наличие критических точек чувствительности и взаимозависимостей между экологическими и управленческими факторами.

3. Разработан методологический подход к статистической оценке стратегического потенциала металлургической промышленности с учетом экологических факторов, основанный на комплексном корреляционно-регрессионном и причинно-следственном анализе взаимосвязей между объемами мирового производства стали и выбросами парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O), включая показатель углеродной интенсивности.

Установлена статистически значимая зависимость между динамикой производства стали и выбросами CO_2 , подтвержденная результатами регрессионного анализа и тестов причинности Грейнджера. Выявлена односторонняя лаговая связь на горизонте 1–5 периодов, свидетельствующая о

предсказательной роли производственного фактора в формировании углеродной нагрузки отрасли.

Разработана динамическая регрессионная модель прогнозирования выбросов CO_2 на основе первых разностей объемов производства стали, позволяющая учитывать отложенные экологические эффекты промышленного роста и расширяющая инструментарий количественной оценки стратегического потенциала металлургической промышленности.

Глава 4 МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

4.1 Методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий на основе нечетких когнитивных карт

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Моделирование принципов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России» [248].

Принципы оценки стратегического потенциала носят многогранный характер и охватывают широкий спектр методик и подходов, позволяющих компаниям анализировать свои ресурсы, компетенции и возможности развития.

Одним из значимых подходов к оценке стратегического потенциала является концепция «анализа стратегической позиции» И. Ансоффа, акцентирующая внимание на согласовании внутренних возможностей организации с изменяющейся внешней средой. И. Ансофф подчеркивал необходимость оценки стратегического и финансового потенциала компании через призму адаптации к внешним изменениям, что подтверждает положение о том, что стратегическая оценка должна учитывать не только текущее рыночное положение, но и будущие возможности роста и адаптивности [249, 250].

В современных условиях, характеризующихся ускоренным технологическим развитием и возрастающей сложностью мировой экономики, принципы оценки стратегического потенциала приобретают первостепенное значение для организаций, ориентированных на формирование устойчивого конкурентного преимущества.

Кроме того, как отмечалось в главе 1, стратегический потенциал организации целесообразно рассматривать как объект комплексного экономического и статистического анализа в контексте ее ресурсной базы и динамических способностей. При этом особое значение приобретает оценка синергетического эффекта, формируемого за счет эффективного управления ресурсами. Такой подход позволяет более полно раскрыть взаимосвязь стратегического согласования и повышения операционной эффективности, а также стимулирования инновационной активности [251, 252].

Сложное взаимодействие указанных принципов формирует итеративный процесс стратегического управления, в рамках которого оценочные процедуры должны сохранять гибкость и адаптивность к изменяющимся рыночным условиям и технологическим трансформациям [253, 254].

Принципы, лежащие в основе оценки стратегического потенциала, оказывают существенное влияние на способность организации эффективно использовать свои ресурсы, особенно в условиях развития циркулярной экономики (ЦЭ) и реализации концепции устойчивого развития. Современные организации все чаще внедряют устойчивые практики, соответствующие данным принципам, что позволяет им формировать конкурентные преимущества при одновременном достижении экологических и экономических целей.

В контексте комплексного экономического и статистического анализа четкое понимание указанных принципов и механизмов их практической реализации имеет решающее значение для организаций, ориентированных на повышение операционной эффективности и долгосрочной устойчивости. Интеграция данных принципов способствует формированию согласованных стратегий,

обеспечивающих соответствие как внутренним целям развития, так и внешним экологическим и институциональным требованиям.

Перечень предлагаемых автором принципов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности представлен ниже.

1. Принцип единства и целостности: предполагает единство и целостность поставленных целей и задач оценки стратегического потенциала компании.

2. Принцип сбалансированности: требует согласованности и сбалансированности документов компании по различным параметрам, таким как приоритеты, цели, задачи, ресурсы и сроки реализации.

3. Принцип результативности и эффективности: подразумевает эффективность действий компании на пути к достижению к выбранным целям.

4. Принцип ресурсной обеспеченности: основан на определении ресурсного обеспечения для реализации стратегических целей компании.

5. Принцип измеряемости целей: все поставленные цели компании должны быть измерены с использованием конкретных способов и методов оценки.

6. Принцип системности: оценка стратегического потенциала должна учитывать взаимодействие и взаимозависимость различных факторов. Каждый элемент влияет на реализацию стратегического потенциала компании, и их оценка должна проводиться в контексте всего предприятия.

7. Принцип динамичности: оценка должна учитывать не только текущие показатели предприятия, но и тенденции их изменения в будущем. Стратегический потенциал не является статичным и должен адаптироваться к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды.

8. Принцип учета внешней среды: важным элементом оценки является анализ факторов внешней среды, таких как конкуренция, законодательство, экономическая ситуация, технологические изменения и другие. Эти факторы оказывают прямое влияние на стратегический потенциал компании.

9. Принцип перспективности: оценка стратегического потенциала включает в себя не только текущее состояние предприятия, но и его перспективы на будущее. Это предполагает использование моделирования и анализа прогнозных данных.

10. Принцип устойчивого развития: в современных условиях предприятия металлургического комплекса России должны не только стремиться к экономической эффективности, но и учитывать экологические и социальные аспекты своей деятельности.

11. Принцип экологической ответственности: в рамках устойчивого развития металлургические предприятия должны активно внедрять экологически чистые технологии, минимизировать использование ресурсов и улучшать переработку отходов. Это не только поможет снижать затраты, но и обеспечит соблюдение экологических норм, что в свою очередь повысит репутацию предприятия и откроет возможности для сотрудничества с международными партнерами, ценящими устойчивость бизнеса.

12. Принцип инноваций и технологического обновления: устойчивое развитие требует постоянных инвестиций в инновации и новые технологии, что важно для повышения конкурентоспособности и снижения экологической нагрузки. Оценка стратегического потенциала должна включать анализ целесообразности внедрения современных и энергоэффективных технологий, которые будут соответствовать требованиям к устойчивому развитию.

13. Принцип социальной ответственности: помимо экологических аспектов, предприятия должны учитывать социальные факторы устойчивости, такие как соблюдение трудовых прав, создание безопасных условий труда, а также вклад в развитие социальных программ и инфраструктуры. Это также способствует улучшению корпоративной репутации и укреплению доверия со стороны общества.

Традиционные методы экономического анализа зачастую оказываются недостаточными для моделирования сложных, взаимозависимых и неопределенных процессов, характерных для современной производственной системы. В качестве альтернативного инструментария в настоящем исследовании предложено использование метода нечетких когнитивных карт – гибкого аналитического инструмента, способного интегрировать качественные экспертные оценки и количественное моделирование. Такой подход позволяет формализовать

взаимосвязи между ключевыми принципами оценки стратегического потенциала и отслеживать влияние изменений одного из факторов на остальные элементы системы.

Так, А.С. Федулов в исследовании, посвященном нечетким реляционным когнитивным картам, описывает возможные типы когнитивных карт и анализирует основные проблемы формирования моделей на их основе [255].

Системный анализ в условиях высокой степени неопределенности с использованием нечетких когнитивных карт рассматривается в работе А.В. Заграновской. Автором разработаны методологические подходы к оценке деятельности организаций и предприятий на основе данного инструментария [256].

Прогнозирование внешнеэкономической деятельности Российской Федерации с применением гибридных моделей на основе нечетких когнитивных карт и деревьев решений представлено в исследованиях С.А. Ярушева, А.Н. Аверкина и соавторов [257].

Моделирование продовольственной безопасности с использованием нечетких когнитивных карт, с учетом объемов экспорта в условиях импортозамещения, осуществлено в работах А.Ф. Рогачева, Е.В. Мелиховой и Т.В. Плещенко. Авторы также рассматривают различные инструменты нечеткого когнитивного моделирования [258].

А.П. Ротштейн в исследовании, посвященном анализу надежности систем, рассматривает различные методы многофакторного моделирования, включая регрессионный анализ, и указывает на его ограничения, в частности необходимость большого объема экспериментальных данных. В качестве альтернативного инструмента автор предлагает использование нечетких когнитивных карт для анализа надежности сложных систем [259].

Методика моделирования плохо структурированных систем раскрывается в работе А.Ф. Оськина и Д.А. Оськина, где предложен алгоритм модификации процедуры формирования нечеткой когнитивной карты Коско [260].

Проблематика управления рисками с использованием математической модели на основе нечетких когнитивных карт и концепции информационной

системы для ее реализации рассматривается в статье Э.Р. Диваевой и М.А. Николаевой. В исследовании представлен подход к параметрической идентификации нечетких когнитивных карт, что расширяет возможности их практического применения [261].

Автором предложена методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала на основе нечетких когнитивных карт, которая включает последовательность этапов, обеспечивающих формализацию экспертных представлений о структуре стратегических факторов и их взаимовлиянии.

Данная методика основывается на принципах системного анализа, теории графов и нечеткой логики, что позволяет моделировать сложные слабоструктурированные процессы, характерные для металлургической отрасли.

Предлагаемая методика:

1. Идентификация ключевых концептуальных переменных.

На первом этапе осуществляется выделение набора принципов, определяющих стратегический потенциал металлургического предприятия. В результате формируется множество концептов $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{13}\}$, включающее принципы оценки стратегического потенциала.

Каждый концепт рассматривается как узел когнитивной карты, отражающий состояние соответствующего аспекта стратегического потенциала предприятия.

2. Определение структуры причинно-следственных связей.

На втором этапе выявляются причинно-следственные зависимости между концептуальными переменными. Каждая связь формируется на основе:

- запросов экспертного оценивания;
- анализа стратегических документов;
- структурно-логических схем стратегии предприятий металлургии.

Результатом является ориентированный граф, в котором дуги $i \rightarrow j$ обозначают влияние концепта C_i на концепт C_j .

3. Квантификация влияний и формирование матрицы весов.

Каждой причинно-следственной связи приписывается вес w_{ij} , характеризующий знак влияния (положительное или отрицательное) и интенсивность.

Весовые коэффициенты задаются в масштабе от 0 до 1.

Полученная матрица весов определяет структуру взаимодействий системы:

$$W = [w_{ij}]_{13 \times 13}, \quad (4.1)$$

где W – матрица весов когнитивной карты;

w_{ij} – вес влияния i -го концепта на j -й концепт;

$i, j = 1, \dots, 13$ – номера концептов системы.

4. Нормализация и выбор функции активации.

В соответствии с методологией НКК обновление состояния переменных производится через нелинейную функцию активации. В исследовании применяется сигмоидальная функция:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-5(x-0,5)}}, \quad (4.2)$$

которая обеспечивает нормализацию значений в диапазоне $[-1; 1]$, плавный переход между состояниями, чувствительность к изменениям входных сигналов и устойчивость модели к колебаниям входных параметров.

Выбор сигмоиды отражает высокую нелинейность стратегических эффектов в металлургической отрасли, где малые изменения в ресурсах или технологиях могут приводить к существенным трансформациям производственных систем.

5. Задание начальных условий и сценарное моделирование

Для имитационного анализа задаются начальные векторы активации:

$$A(0) = \{a_1(0), a_2(0), \dots, a_{13}(0)\}, \quad (4.3)$$

где $a_i(0) \in [-1; 1]$ – начальный уровень активации i -го концепта.

6. Итеративное обновление состояния карты.

Эволюция системы определяется формулой:

$$A(t + 1) = f(A(t) + A(t) * W), \quad (4.4)$$

где $A(t)$ – вектор состояний системы на шаге t ;

W – матрица весов причинно-следственных связей;

$f(\cdot)$ – сигмоидальная функция активации.

Процесс повторяется до достижения:

- стационарного состояния;
- периодического цикла;
- или квазиустойчивой траектории.

Для исследования динамики стратегического потенциала металлургических предприятий России применяется серия итераций $t = 1..10$, позволяющая оценить скорость реакции системы, влияние драйверов роста и устойчивость стратегических конфигураций.

Для построения матрицы весов использовались экспертные оценки с участием специалистов в области экономического анализа, стратегического планирования и управления производственными системами. Каждый эксперт заполнял анкету, в которой указывал силу и направление влияния между принципами оценки стратегического потенциала по шкале от -1 до 1 с шагом 0,1 (приложение Б).

Построенная когнитивная карта представляет собой ориентированный взвешенный граф, отражающий структуру взаимосвязей между ключевыми принципами оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России. Узлы графа обозначают концептуально значимые элементы, определяющие способность металлургических компаний к устойчивому функционированию и развитию в условиях высокой технологической, экологической и рыночной турбулентности. Каждое ориентированное ребро графа соответствует причинно-следственному воздействию одного принципа оценки стратегического потенциала на другой. Веса связей, определенные матрицей взаимодействий, характеризуют силу и направленность этих воздействий: положительные значения отражают усиливающее влияние, отрицательные – сдерживающее. Граф демонстрирует высокую плотность межузловых взаимодействий, что указывает на системную взаимозависимость факторов, определяющих стратегические возможности металлургических предприятий.

Когнитивная карта принципов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности представлена на рисунке 4.1.

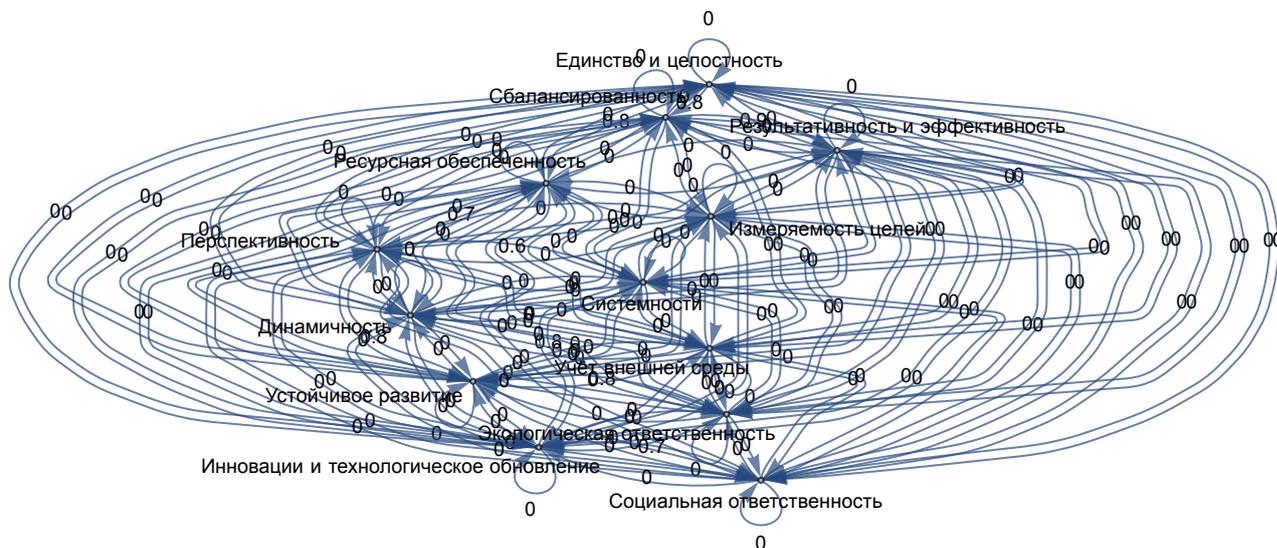


Рисунок 4.1 – Когнитивная карта принципов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Структура графа выявляет несколько устойчивых каскадов стратегических влияний. Например, цепочка «Ресурсная обеспеченность → Комплексность → Устойчивое развитие → Экологическая ответственность» характеризует экологически ориентированную стратегию металлургических предприятий, где ресурсная база и технологическая структура напрямую формируют воздействие на окружающую среду.

Цепочка «Системность управления → Инновации → Социальная ответственность» демонстрирует взаимосвязь технологической модернизации с социальными обязательствами предприятий, что соответствует современным стандартам ESG-моделирования.

Множественные перекрестные связи образуют сетевую структуру, отражающую сложный системный характер стратегического развития металлургической отрасли. Такая структура позволяет проводить сценарное моделирование, выявлять критические узлы влияния и оценивать последствия управленческих решений или внешних шоков (например, изменений сырьевых рынков, регуляторных требований или санкционных ограничений). Таким образом,

когнитивная карта служит инструментом формализации и анализа стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, обеспечивая целостное представление о взаимодействии ключевых принципов развития и позволяя обосновывать стратегические управленческие решения на основе комплексного моделирования.

На основе анализа графовой структуры выделяются четыре функциональных кластера, формирующие ядро стратегического потенциала металлургических предприятий.

Управленческий кластер, включающий единство и целостность, сбалансированность, эффективность и системность, отражает уровень внутренней управляемости и зрелости корпоративной архитектуры. Для металлургических компаний, где требуется тесная интеграция производственных, инвестиционных и технологических решений, именно этот блок обеспечивает исходный импульс стратегических изменений, поддерживает согласованность инициатив и влияет на инновационные процессы через формирование системного подхода.

Ресурсно-технологический кластер объединяет характеристики, связанные с обеспеченностью ресурсами, перспективностью развития, динамичностью и технологическими инновациями. Он описывает способность предприятий к модернизации, обновлению мощностей и переходу к энергоэффективным и низкоуглеродным технологиям. В российских условиях ключевым фактором выступает доступ к сырью, энергоносителям и инвестициям. Данный кластер формирует основу технологического роста, усиливает устойчивость и социальную ответственность бизнеса и во многом определяет его конкурентоспособность на глобальных рынках.

Устойчиво-экологический кластер, основанный на принципах устойчивого развития и экологической ответственности, отражает необходимость реагирования на основные вызовы отрасли, связанные с высокой ресурсоемкостью, уровнем выбросов и требованиями ESG-повестки. Он снижает регуляторные риски, обеспечивает долгосрочную устойчивость деятельности и способствует укреплению общественной легитимности металлургических компаний.

Социально-внешний кластер, включающий ориентацию на внешнюю среду, социальную ответственность и измеримость стратегических целей, показывает степень включенности предприятий в социально-экономическую структуру регионов и их зависимость от внешних факторов, включая глобальный спрос, санкционные ограничения и логистические условия. Этот блок повышает адаптивность стратегий к изменениям внешнего окружения, способствует прозрачности результатов и поддерживает стабильность территорий, связанных с деятельностью металлургических производств.

Автор вводит понятие сценарной чувствительности принципов оценки стратегического потенциала предприятия как характеристики, отражающей степень изменчивости ключевых принципов стратегического управления под воздействием различных внешних факторов. Сценарная чувствительность позволяет выявить как устойчивые, так и уязвимые элементы стратегического потенциала, а также определить, какие принципы требуют управленческой поддержки в условиях неблагоприятных сценариев (например, экологический кризис, технологическое отставание и т.д.), а какие могут активироваться самостоятельно. Введенное понятие расширяет представление об устойчивости и адаптивности предприятий, создавая дополнительный аналитический уровень для анализа и корректировки стратегических решений в условиях неопределенности.

Матрица весов отражает интенсивность взаимосвязей между концептами, основанных на экспертных оценках, а также на логике системной устойчивости. На этой основе были разработаны три альтернативных сценария, имитирующие различные условия развития металлургических предприятий (таблица 4.1).

Сценарий 1: Умеренный импульс.

Этот сценарий моделирует стабильную стратегическую среду, где предприятие придерживается целостного подхода, но не сталкивается с экстремальными вызовами («базовая траектория развития»).

Сценарий 2: Акцент на инновации.

Полностью соответствует приоритетам развития отрасли: технологическое обновление, цифровизация, переход к экологически чистым производствам.

Важен для оценки потенциала в условиях трансформации и импортозамещения.

Сценарий 3: Экологический кризис.

Ключевой сценарий с учетом реальных вызовов: углеродного регулирования, экологических стандартов, санкционного давления на поставки технологий и сырья.

Таблица 4.1 – Сценарии, имитирующие различные условия развития металлургических предприятий

Сценарий	Краткое описание
1. Умеренный импульс	Базовая стратегическая траектория при стабильной среде. Умеренные значения активации большинства принципов (0,4)
2. Акцент на инновации	Цифровизация, технологический переход, импортозамещение. Высокая активация инноваций, средняя – остальных (0,8, 0,3-0,4)
3. Экологический кризис	Экологические вызовы и санкционное давление. Высокая активация экологии, умеренная – устойчивости и социальной ответственности (0,85, 0,4)
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.	

Использование данного подхода обосновано его способностью отражать не только прямые, но и опосредованные влияния элементов системы, а также моделировать сценарную чувствительность на основе вариативности начальных условий.

Результаты моделирования подтверждают методологическую состоятельность подхода и его применимость в задачах аналитической диагностики. Методика позволяет не только оценивать относительную значимость элементов, но и прогнозировать их эволюцию в зависимости от сценарных условий. Это, в свою очередь, делает возможным применение результатов для обоснования управленческих решений, направленных на укрепление стратегического потенциала промышленных предприятий в условиях институциональной и технологической турбулентности. Такой подход интегрируется с методами комплексного экономического анализа, что позволяет учитывать взаимосвязи между различными элементами экономики предприятия и более точно прогнозировать их поведение в изменяющихся внешних и внутренних условиях.

Проведенные симуляции принципа «Единство и целостность» (рисунок 4.2), который характеризует интеграцию стратегических усилий, согласованность целей и устойчивость организационной модели, продемонстрировали различия в динамике развития этого принципа в зависимости от исходного уровня его активации и доминирующих внешних стимулов. При начальном значении, отражающем умеренный импульс стратегической целостности, наблюдается устойчивый рост значения индикатора с последующей стабилизацией на высоком уровне. В отличие от этого, при сценариях слабой инициализации – вне зависимости от специфики внешнего воздействия (инновационного или экологического) – система демонстрирует нисходящую траекторию, быстро переходя к устойчивому равновесию на низких значениях. Это свидетельствует о наличии нелинейных эффектов в распространении управленческих принципов и подчеркивает важность ранней фокусной активации ключевых стратегических основ.

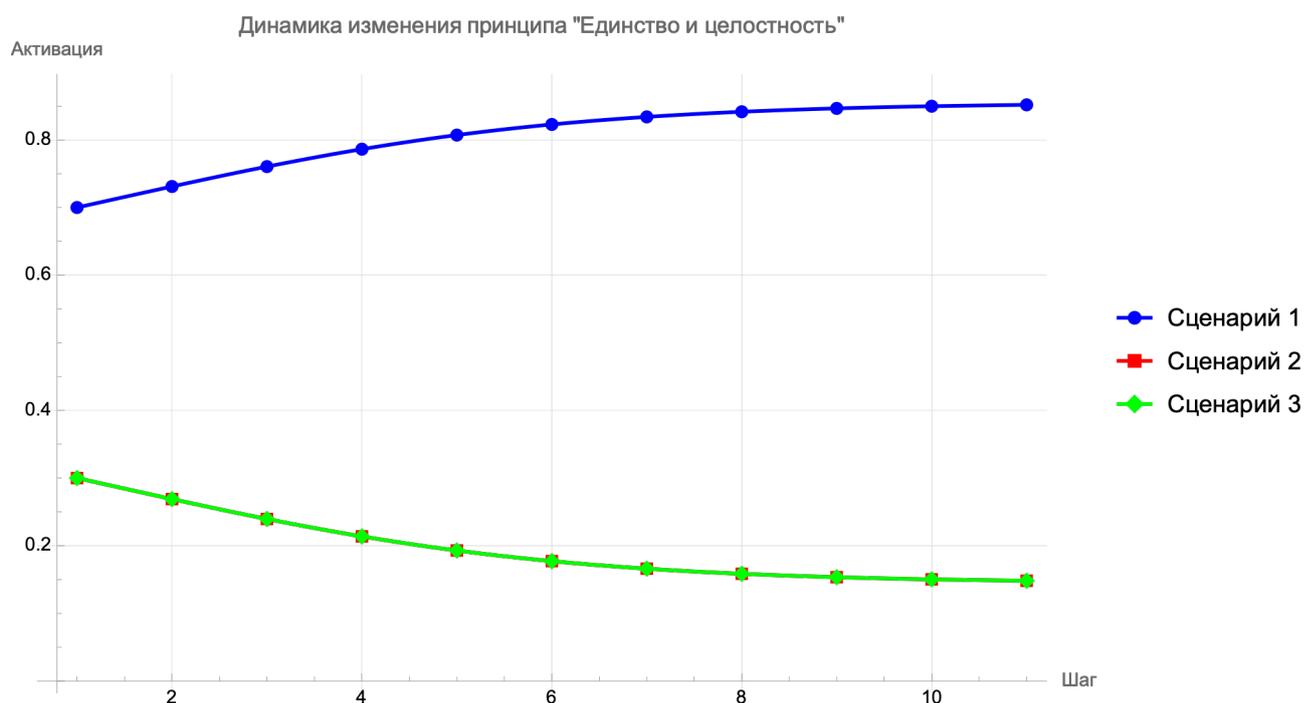


Рисунок 4.2 – Динамика изменения принципа «Единство и целостность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты численного моделирования принципа сбалансированности (рисунок 4.3) показали, что данный принцип демонстрирует высокую внутреннюю устойчивость и тенденцию к быстрой стабилизации на высоких уровнях. Даже при

сравнительно низкой начальной активации (в сценариях 2 и 3), отражающих неблагоприятные условия, значение индикатора за несколько итераций приближается к 0,95, что указывает на наличие в системе положительных контуров обратной связи, усиливающих роль сбалансированности в условиях стратегической неопределенности.

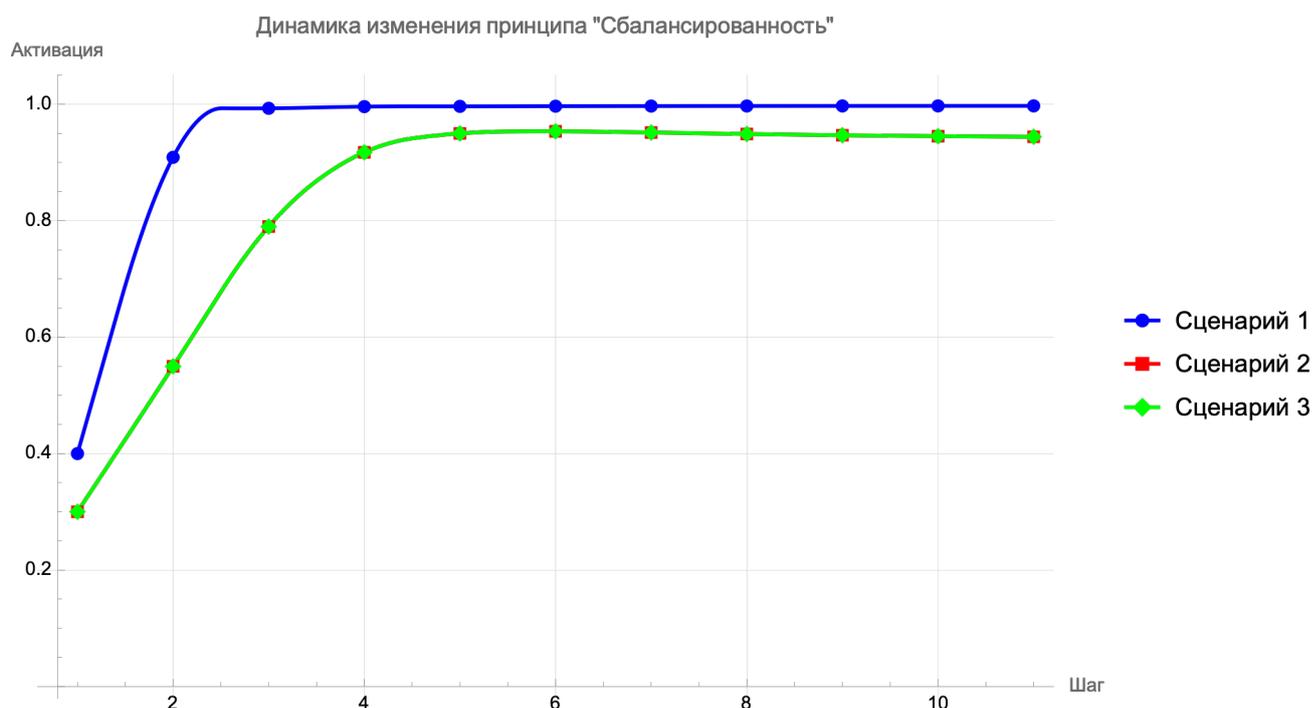


Рисунок 4.3 – Динамика изменения принципа «Сбалансированность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Принцип сбалансированности демонстрирует наименьшую расходимость между сценариями среди всех изученных, что свидетельствует о его универсальности и высокой синергетической роли в системе стратегических ориентиров.

Принцип «Результативность и эффективность» отражает степень целевой направленности процессов и соответствие достигнутых результатов поставленным задачам.

Сценарный анализ показывает (рисунок 4.4), что даже при умеренном старте (0,4 в Сценарии 1), показатель результативности достигает предельных значений уже к третьему шагу моделирования. При менее благоприятных начальных

условиях (сценарии 2 и 3, значение 0,3) траектория также указывает на стремительный рост и практически идентичную стабилизацию на уровне 0,998 уже к четвертому шагу. Это свидетельствует о встроенной в систему положительной обратной связи, обеспечивающей воспроизводимость и закрепление высокой результативности вне зависимости от начальной среды.



Рисунок 4.4 – Динамика изменения принципа «Результативность и эффективность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Такое поведение позволяет утверждать, что результативность и эффективность в структуре стратегического потенциала действуют как потенциал-усилитель, активируемый при минимальном фокусе внимания. Кроме того, минимальные различия между сценариями подтверждают универсальность и высокую устойчивость этого принципа при реализации стратегий в условиях как стабильной, так и турбулентной внешней среды.

Результаты моделирования подчеркивают значение включения данного принципа в качестве одного из опорных при построении систем анализа и оценки стратегического потенциала предприятий, особенно в капиталоемких отраслях,

таких как металлургия, где соотношение затрат и результатов критично для устойчивого развития.

Принцип ресурсной обеспеченности отражает наличие и доступность ключевых ресурсов, необходимых для реализации стратегических целей предприятия. В условиях металлургической отрасли данный принцип играет системообразующую роль, поскольку ресурсные ограничения – будь то сырьевые, энергетические или кадровые – напрямую определяют уровень стратегического потенциала.

Сценарное моделирование (рисунок 4.5) показало, что при наличии даже умеренного начального импульса (Сценарий 1, значение 0,4) динамика принципа демонстрирует стремительное возрастание, достигая уровня 0,99 уже на втором шаге моделирования. Это поведение указывает на высокую чувствительность и способность к самоподдержке, что может быть связано с плотной интеграцией ресурсной базы во внутренние контуры системы управления, что в свою очередь подтверждает правильность выбора ресурсного подхода для количественной оценки стратегического потенциала.

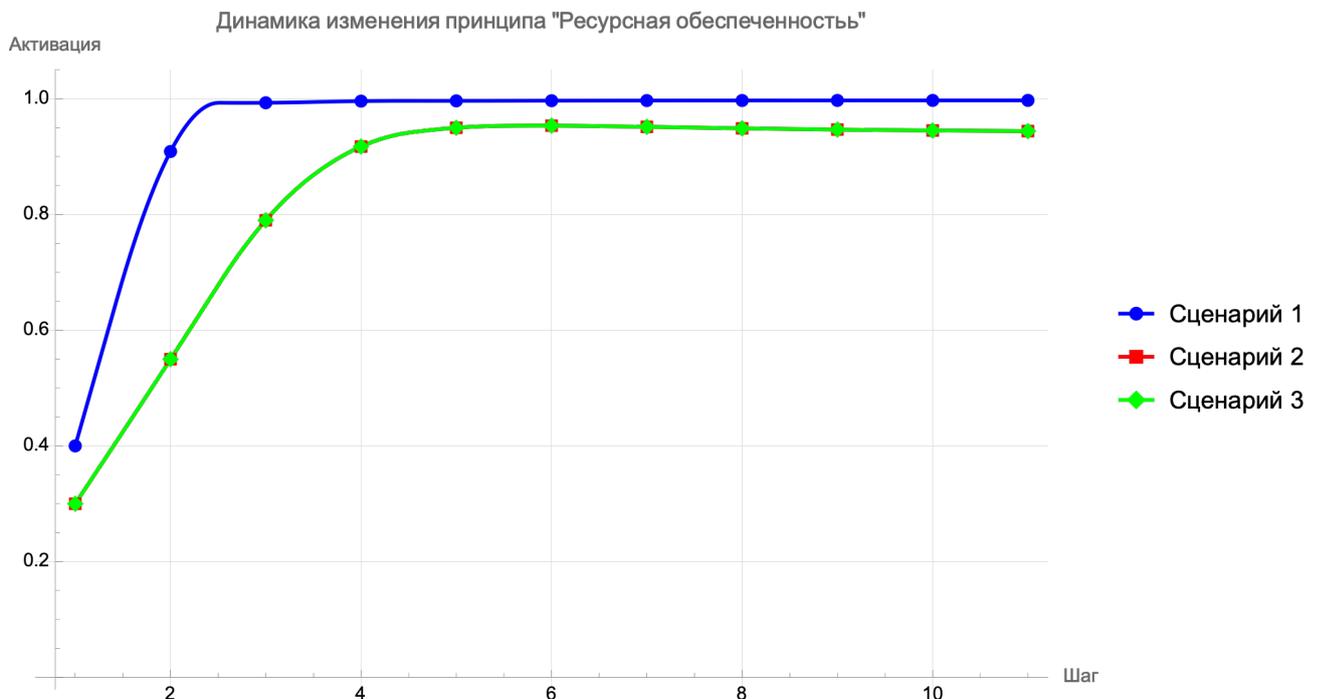


Рисунок 4.5 – Динамика изменения принципа «Ресурсная обеспеченность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сценарии с более низкой инициализацией (сценарии 2 и 3, 0,3) также приводят к стабильному нарастанию значений с последующей стабилизацией на уровне 0,94–0,95, что свидетельствует о наличии латентного потенциала ресурсной устойчивости, который может быть активирован даже при неблагоприятных начальных условиях.

Результаты моделирования принципа измеряемости целей с использованием нечеткой когнитивной карты выявили его ограниченную устойчивость и низкую чувствительность к изменению исходных условий в разных сценариях (рисунок 4.6).

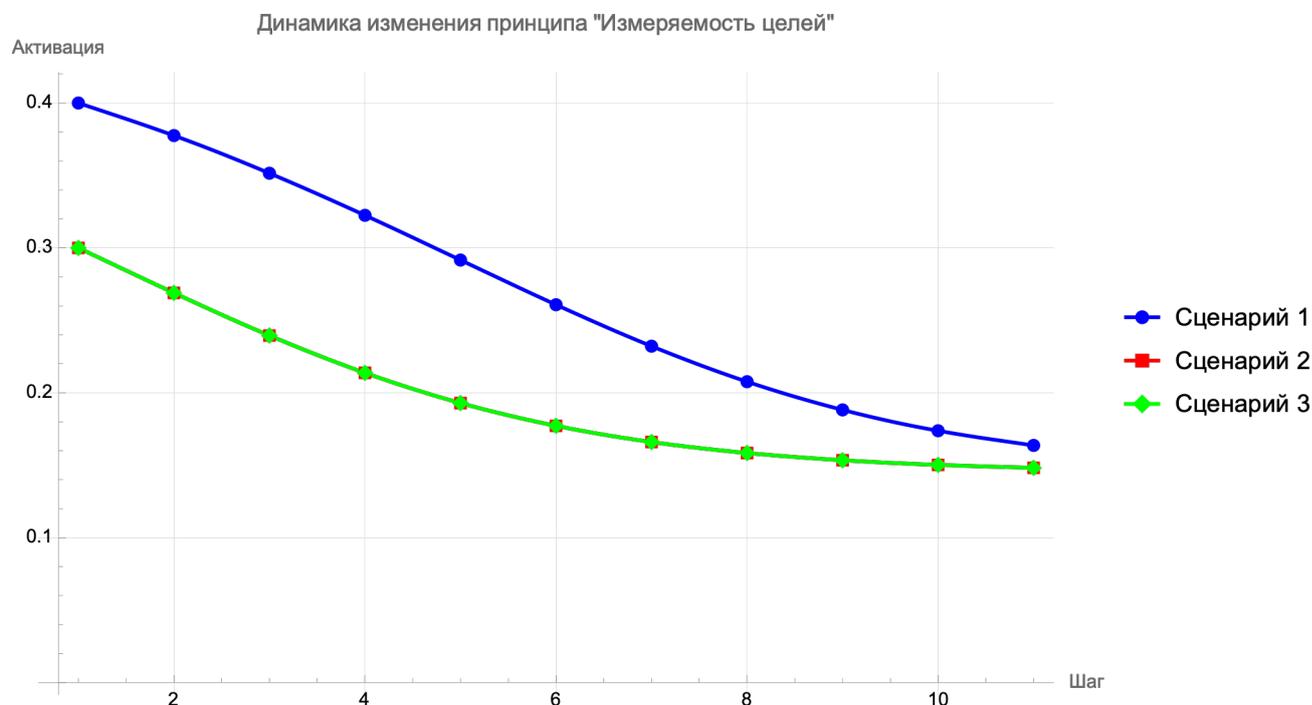


Рисунок 4.6 – Динамика изменения принципа «Измеряемость целей»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Во всех трех сценариях траектория активации показывает монотонное снижение значений, начиная с 0,4 (или 0,3) и достигая стабилизации на уровнях около 0,16-0,14 к десятому шагу моделирования.

Отсутствие сценарной дифференциации подчеркивает структурную пассивность показателя, что связано с тем, что в условиях внешней нестабильности и ресурсных ограничений предприятия больше склонны фокусироваться на

выживании и адаптации, нежели на точной формализации и измерении стратегических задач. Это предполагает необходимость усиления методической базы стратегического планирования и разработки инструментов, повышающих вес и значимость измеряемости в системе управления.

Принцип «Перспективности» отражает ориентацию экономического анализа на будущие состояния системы, в том числе через применение бэккастинга – подхода, предполагающего проектирование траекторий развития, исходя из желаемого долгосрочного результата. В контексте металлургической отрасли, характеризующейся высокой капиталоемкостью, длительными инвестиционными циклами и чувствительностью к глобальным рыночным трендам, этот принцип становится особенно значимым. Он позволяет формировать сценарные ориентиры, фокусируясь не только на адаптации к текущим условиям, но и на формировании устойчивых и технологически прогрессивных производственных систем.

Как видно из рисунка 4.7, динамика активации принципа перспективности демонстрирует стремительный рост уже на первых шагах моделирования, достигая высоких значений (более 0,99) к третьему-четвертому шагу. Такая картина свидетельствует о высокой степени интеграции принципа в архитектуру аналитической системы анализа стратегического потенциала и его центральной роли в когнитивной структуре модели.

Стабильно высокая активация принципа в разных условиях указывает на его трансверсальное значение в формировании стратегического потенциала. Это может быть связано с тем, что предприятия отрасли, действующие в условиях технологической трансформации и климатической повестки, нуждаются в стратегических инструментах, обеспечивающих долгосрочную устойчивость и способность к технологическим прорывам. В частности, бэккастинговый подход позволяет интегрировать повестки декарбонизации, цифровизации, а также ресурсной диверсификации в стратегическое мышление на уровне корпоративного управления.



Рисунок 4.7 – Динамика изменения принципа «Перспективность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты численного моделирования принципа системности (рисунок 4.8) показали, что этот принцип склонен к стабилизации на высоких уровнях активации. В сценарии 1 (синяя линия) при начальной активации 0,4 наблюдается более быстрый рост до значения 0,99 к третьему шагу. В сценариях 2 и 3, с более низким начальным значением активации (0,3), динамика роста несколько замедлена, но также достигает аналогичных значений к 4-5 шагу.

Характерной особенностью динамики является S-образная кривая роста, что указывает на наличие в системе положительных обратных связей, способствующих ускоренному развитию принципа системности после преодоления определенного порогового значения. После достижения значений около 0,99 все сценарии показывают высокую степень устойчивости с минимальными колебаниями.

Принцип динамичности отражает способность организации адаптироваться к изменениям внешней среды и проактивно трансформировать свои стратегические подходы.



Рисунок 4.8 – Динамика изменения принципа «Системность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты численного моделирования демонстрируют примечательную особенность: в отличие от других принципов стратегического потенциала, «Динамичность» характеризуется устойчивой тенденцией к снижению уровня активации во всех рассматриваемых сценариях. Это свидетельствует о наличии отрицательных обратных связей в системе, которые ограничивают развитие данного принципа при взаимодействии с другими элементами стратегического потенциала.

В сценарии 1 (синяя линия), при начальной активации 0,4, наблюдается плавное и последовательное снижение значения до 0,164 к десятому шагу моделирования. Сценарии 2 и 3 (зеленые линии), стартующие с более низкой начальной активации (0,3), также демонстрируют нисходящую динамику, достигая значения 0,148 к завершающему шагу.

Характерной особенностью является замедление темпа снижения к поздним этапам моделирования (шаги 7-10), что указывает на приближение системы к некоторому равновесному состоянию. Это может интерпретироваться как

достижение минимально необходимого уровня динамичности, который сохраняется в стратегическом потенциале даже при неблагоприятных условиях.

Несмотря на общую тенденцию к снижению, разрыв между сценарием 1 и сценариями 2-3 сохраняется на протяжении всего периода моделирования, что может указывать на зависимость конечного состояния от начальных условий – свойство, не характерное для некоторых других принципов стратегического потенциала.

Результаты численного моделирования принципа «Учет внешней среды» (рисунок 4.9) демонстрируют необычную тенденцию к устойчивому снижению активации данного принципа во всех рассмотренных сценариях. В отличие от других принципов оценки стратегического потенциала, данный принцип характеризуется отрицательной динамикой, что может указывать на наличие в системе компенсаторных механизмов или отрицательных обратных связей.

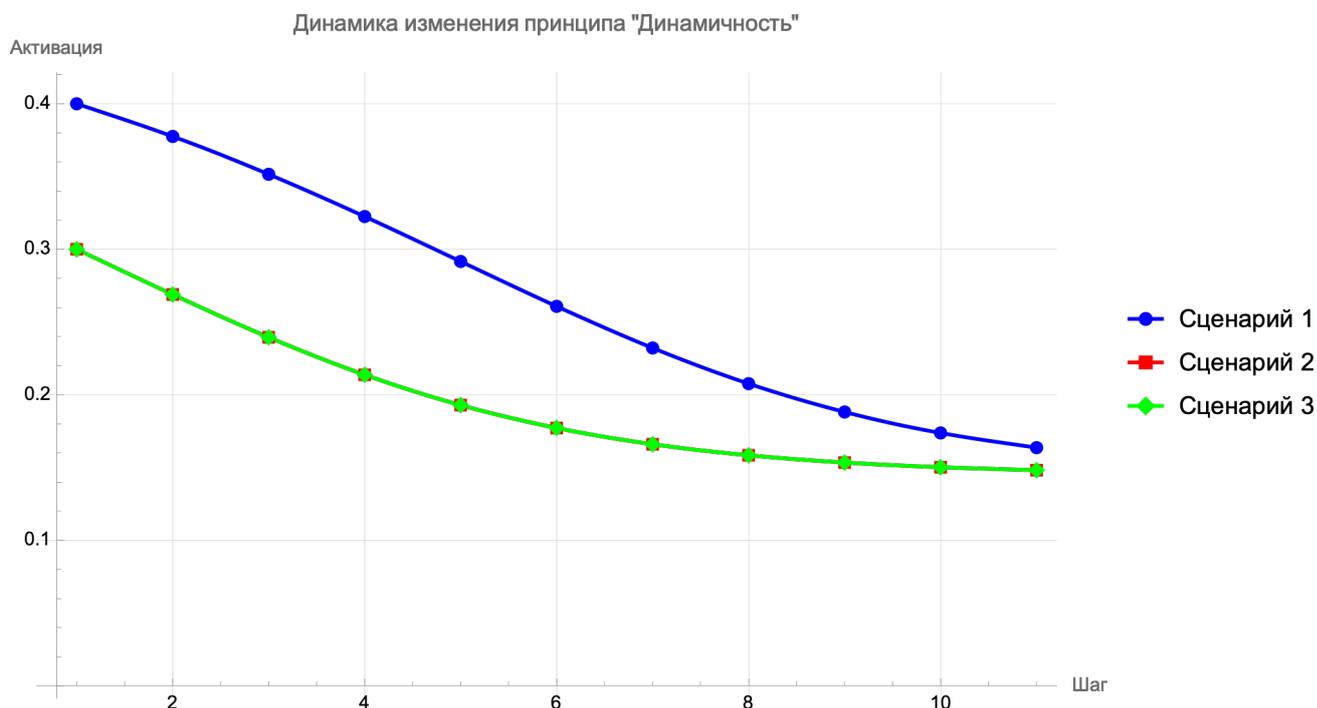


Рисунок 4.9 – Динамика изменения принципа «Динамичность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Характерной особенностью процесса является близкий к экспоненциальному характер затухания, при котором скорость снижения активации постепенно

уменьшается. Это может свидетельствовать о наличии некоторого предельного минимального уровня значимости учета внешней среды, ниже которого система не может функционировать эффективно.

Интересно отметить, что разрыв между сценариями с течением времени сокращается, что указывает на существование общего аттрактора – устойчивого состояния, к которому система стремится независимо от начальных условий. Это может интерпретироваться как формирование определенного баланса между внутренними и внешними факторами в долгосрочной перспективе.

Таким образом, принцип «Учет внешней среды» демонстрирует парадоксальное свойство самоослабления в процессе стратегического моделирования (рисунок 4.10), что требует дополнительного анализа причин данного феномена. Возможная интерпретация связана с ростом значимости внутренних факторов и организационных компетенций при развитии стратегического потенциала, что приводит к относительному снижению влияния внешних переменных на стратегические решения.

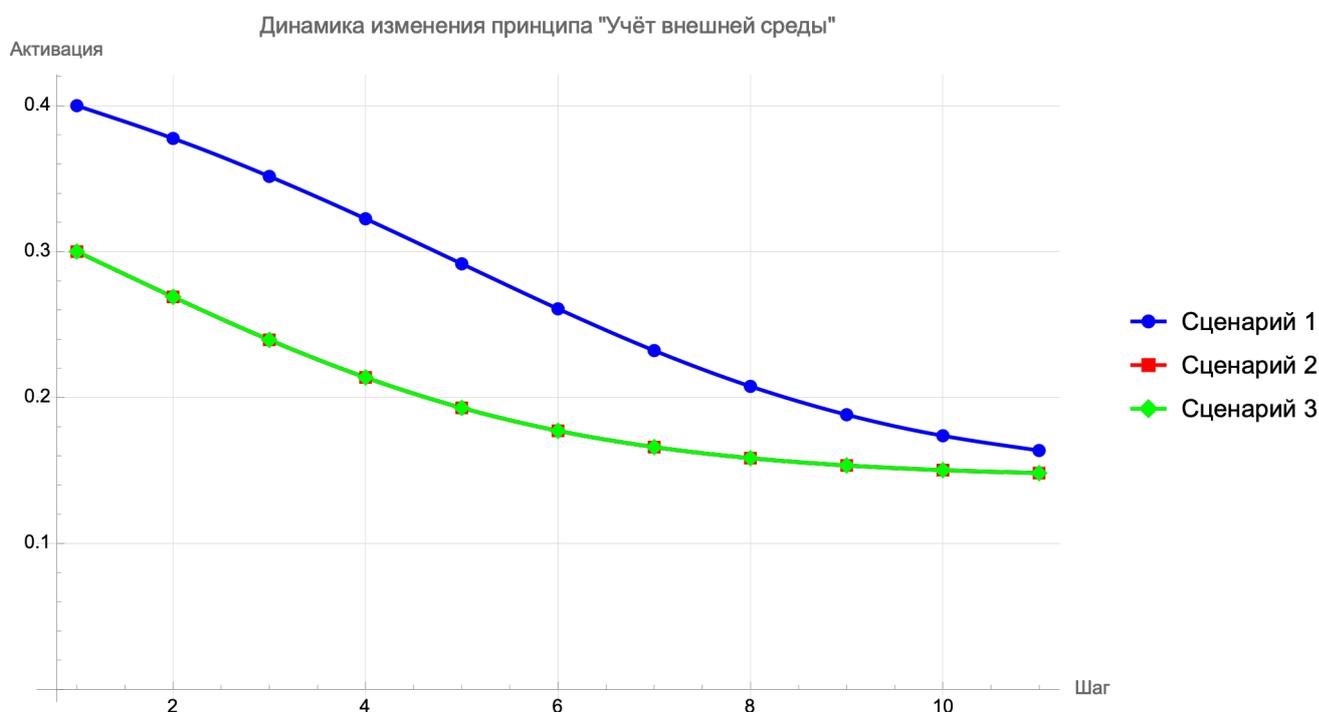


Рисунок 4.10 – Динамика изменения принципа «Учет внешней среды»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Принцип «Устойчивое развитие» отражает способность организации к долгосрочному сбалансированному росту с учетом экономических, социальных и экологических аспектов деятельности.

Результаты численного моделирования (рисунок 4.11) демонстрируют выраженную тенденцию к быстрой активации принципа устойчивого развития с последующей стабилизацией на уровнях, близких к максимальным (0,998). Примечательно, что по всем трем сценариям наблюдается схожая S-образная кривая роста, различающаяся лишь скоростью достижения зоны насыщения.

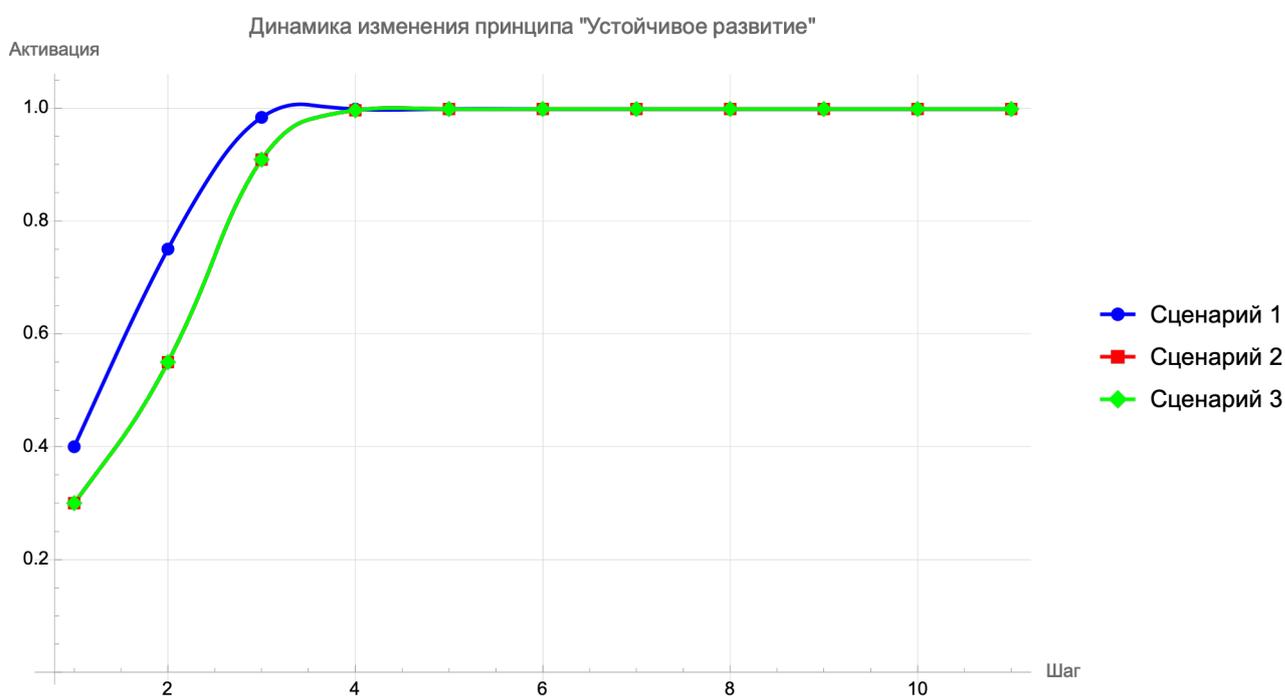


Рисунок 4.11 – Динамика изменения принципа «Устойчивое развитие»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В сценарии 1 (синяя линия) с начальной активацией 0,4 наблюдается наиболее интенсивная динамика роста, достигающая значения 0,983 уже на втором шаге и стабилизирующаяся около 0,998 к третьему шагу. Сценарии 2 и 3 (зеленые линии), имеющие более низкую начальную активацию (0,3), показывают несколько замедленную, но также устойчивую тенденцию роста, достигая аналогичных показателей к 3-4 шагу моделирования.

Характерная особенность динамики всех сценариев заключается в быстром переходе от начальных значений к почти максимальным в первые 2-3 шага. Это указывает на наличие мощных положительных обратных связей в системе, которые способствуют самоусилению данного принципа. После достижения зоны насыщения (значения выше 0,99) все сценарии демонстрируют высокую стабильность с минимальными флуктуациями, ограничивающимися тысячными долями. Это подтверждает, что система стабилизируется на высоких уровнях активации, что подчеркивает важность обратных связей в динамике моделируемых процессов.

Результаты численного моделирования принципа «Экологическая ответственность» (рисунок 4.12) показали значительную конвергенцию всех сценариев, несмотря на разницу в начальных условиях. Особое внимание стоит уделить сценарию 3, который стартует с высокого начального значения активации (0,85), что может указывать на благоприятные условия для развития этого принципа с самого начала.

В сценарии 1, с умеренной начальной активацией (0,4), наблюдается быстрый рост уже на первом шаге до 0,75, а затем – резкое увеличение до 0,986 на втором шаге. Сценарий 2, с более низким значением начальной активации (0,3), демонстрирует похожую динамику, но с некоторым замедлением на первых этапах, достигая 0,921 ко второму шагу.

Эти результаты подтверждают, что принцип «Экологическая ответственность» обладает высокой степенью устойчивости и способности к быстрому развитию, независимо от стартовых условий.

Примечательно, что к десятому шагу все сценарии демонстрируют практически идентичные значения (около 0,998 для сценария 1 и 0,998 для сценариев 2 и 3), что подтверждает робастность и универсальность рассматриваемого принципа в контексте моделируемой системы.

Таким образом, изучаемый принцип характеризуется высокой способностью к самоактивации и устойчивостью, что позволяет рассматривать его как ключевой элемент при формировании концептуальной-методологического подхода к

комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала организации.

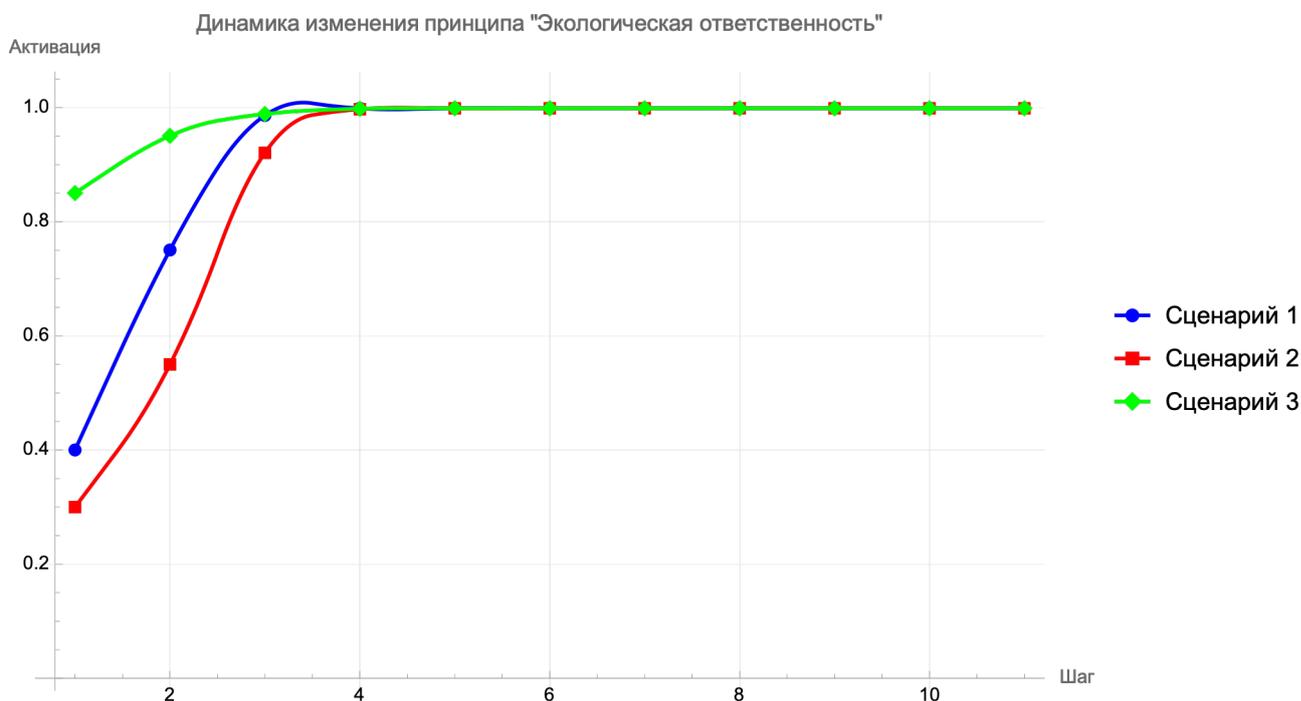


Рисунок 4.12 – Динамика изменения принципа «Экологическая ответственность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Результаты численного моделирования принципа «Инновации и технологическое обновление» (рисунок 4.13) демонстрируют высокую динамику роста и быструю стабилизацию показателя активации принципа во всех трех сценариях, несмотря на различные начальные условия. Характерной особенностью является достижение предельно высоких значений активации (около 0,998) уже к 4–5 шагу моделирования, что говорит о критической важности инновационной составляющей при оценке стратегического потенциала.

Сценарий 2 (красная линия), характеризующийся наибольшим начальным уровнем активации (0,8), отличается наиболее плавной траекторией роста и более ранним выходом на стадию стабилизации по сравнению с другими сценариями. Это указывает на то, что даже при изначально высоком уровне инновационной активности система сохраняет способность к дальнейшему самоусилению вплоть до достижения определенного предельного состояния.

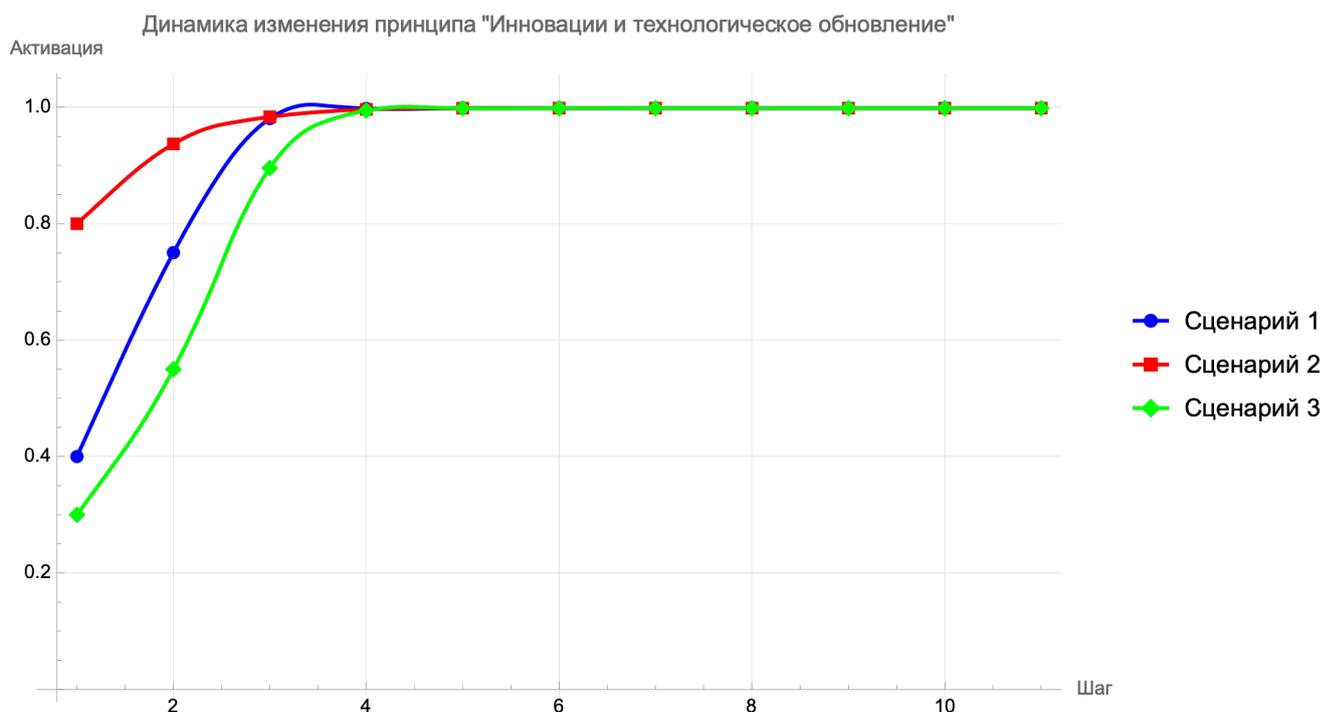


Рисунок 4.13 – Динамика изменения принципа «Инновации и технологическое обновление»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сценарии 1 (синяя линия) и 3 (зеленая линия), стартующие с более низких значений активации (0,4 и 0,3 соответственно), демонстрируют более выраженную и интенсивную динамику роста. Такая картина свидетельствует о наличии в системе сильных положительных обратных связей, обеспечивающих ускоренное наращивание инновационного потенциала даже при неблагоприятных стартовых условиях.

Особо показательным является сценарий 3, в котором при минимальной начальной активации (0,3) уже к третьему шагу моделирования значение показателя достигает 0,994, а к пятому шагу практически полностью выравнивается с остальными сценариями. Это позволяет говорить о наличии в системе «эффекта прорыва», при котором даже слабые инновационные импульсы способны быстро задействовать и активизировать совокупный инновационный потенциал.

Таким образом, принцип «Инновации и технологическое обновление» можно характеризовать как высокодинамичный, самоусиливающийся элемент

стратегического потенциала, обладающий значительной устойчивостью и способностью к быстрой адаптации независимо от начальных условий. Данный принцип может рассматриваться как один из ключевых драйверов развития предприятия в современных условиях трансформационной экономики, обеспечивающий конкурентное преимущество и устойчивость в долгосрочной перспективе.

Результаты численного моделирования принципа «Социальная ответственность» (рисунок 4.14) показывают высокую конвергенцию всех сценариев к максимальным значениям активации, что подтверждает его устойчивость в стратегическом потенциале. На начальных этапах моделирования наблюдаются различия в траекториях роста.

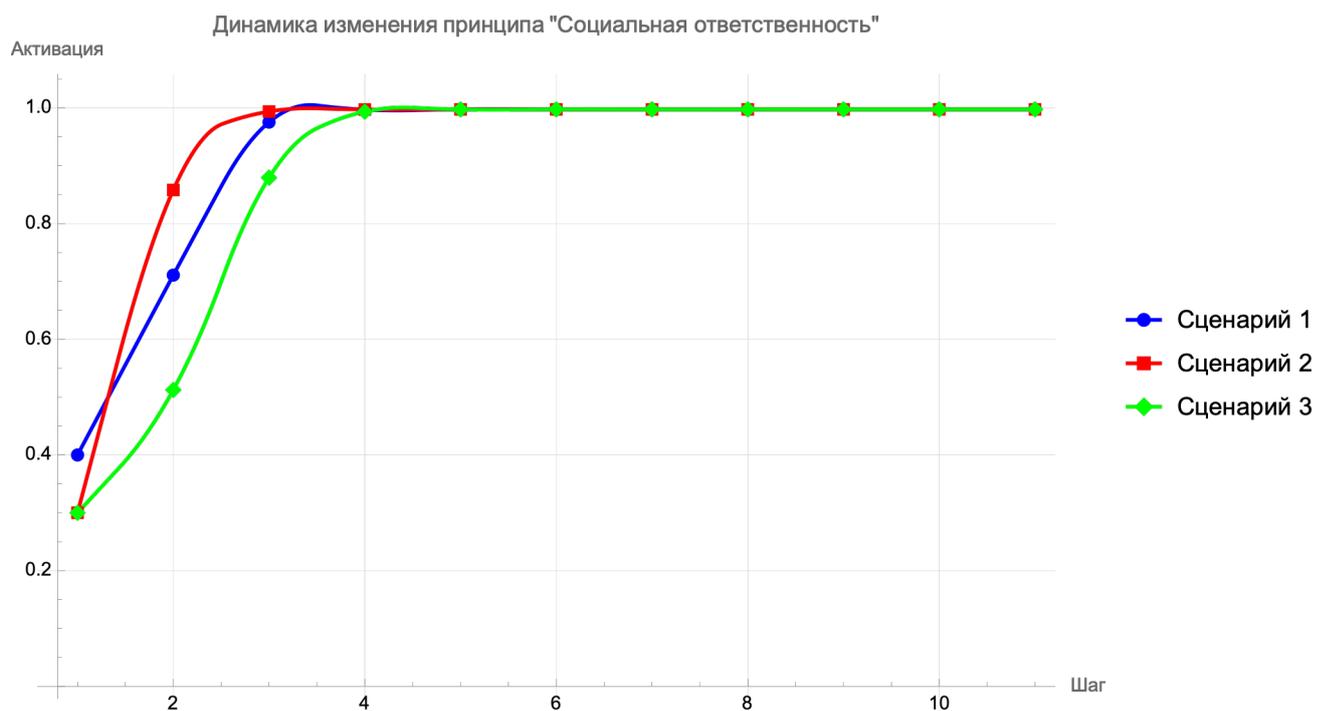


Рисунок 4.14 – Динамика изменения принципа «Социальная ответственность»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сценарий 2 (красная линия), с начальной активацией 0,3, демонстрирует наиболее быстрый рост, достигая 0,99 ко второму шагу, что указывает на сильные катализирующие факторы. Сценарий 1 (синяя линия), начиная с активации 0,4, показывает умеренно интенсивный рост до 0,98 к третьему шагу. Сценарий 3

(зеленая линия), с активацией 0,3, имеет более плавную динамику, что может свидетельствовать о наличии ограничивающих факторов в данной конфигурации системы.

К четвертому шагу моделирования все три сценария практически полностью конвергируют, достигая значений около 0,997 и далее демонстрируя высокую устойчивость. Это указывает на системную закономерность, при которой принцип социальной ответственности, будучи интегрированным в стратегическую систему, становится ее устойчивым и самоподдерживающимся элементом. Консолидированные результаты сценарного моделирования принципов стратегического потенциала представлены в приложении В в таблице В.6.

Матрица весов взаимовлияния концептов, разработанная на основе синтеза экспертных оценок и логики системной устойчивости, позволила выявить неочевидные закономерности в динамике стратегического потенциала при различных сценариях развития. Так, проведенное моделирование показало, что системная поддержка устойчивого развития способна существенно ускорить достижение высоких значений по критериям комплексности и системности уже к четвертой итерации, тогда как кризисный сценарий требует дополнительных этапов адаптации. При этом обнаружен парадоксальный эффект снижения динамичности и чувствительности к внешней среде при укреплении внутренней структуры предприятия, что требует дополнительных механизмов компенсации в управленческой практике.

Введенное понятие сценарной чувствительности позволяет проводить дополнительную стратификацию стратегических принципов по степени их устойчивости и уязвимости, а также использовать эти данные при проектировании адаптивных стратегий развития предприятий в условиях нестабильной внешней среды.

Разработанная методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий, основанная на нечетких когнитивных картах, позволяет формализовать взаимосвязи между принципами оценки стратегического потенциала и провести сценарный экономический анализ,

прогнозируя устойчивость развития предприятий в условиях экологических и институциональных трансформаций. Методика может быть применена как диагностический и прогнозный инструмент в стратегическом анализе и управлении промышленными предприятиями, в том числе в металлургической отрасли.

Анализ и моделирование реализации стратегического потенциала предприятий металлургической отрасли на основе данных принципов позволит повысить результативность и эффективность их деятельности. Достижение поставленных целей и задач с учетом изменяющихся условий внешней среды и факторов риска, при четком понимании ответственности каждого из менеджеров и стейкхолдеров, обеспечит сбалансированное развитие и целостность системы управления компанией.

4.2 Методология комплексного экономического анализа стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса на основе сбалансированной системы показателей

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемых научных изданиях согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статьях: «Методология экономического анализа предприятий металлургической промышленности на основе модели сбалансированной системы показателей», «Стратегические направления предприятий металлургической промышленности в рамках циркулярной экономики» [262, 263].

Интеграция сбалансированной системы показателей с принципами устойчивого развития сформировалась как важное направление стратегического управления для организаций, стремящихся согласовать корпоративные цели с целями устойчивого развития. Данный подход отражает признание необходимости выхода за рамки исключительно финансовых индикаторов и перехода к комплексной оценке эффективности, включающей экологические, социальные и управленческие аспекты деятельности [264, 265, 266].

Сбалансированная система показателей представляет собой инструмент стратегического управления, способный обеспечить интеграцию ESG-стратегий в деятельность предприятий сталелитейной отрасли путем увязки операционных показателей с результатами устойчивого развития. Включение конкретных индикаторов, таких как темпы сокращения отходов, уровень переработки сырья, показатели энергоэффективности и социального воздействия, позволяет предприятиям объективно оценивать степень соответствия принципам циркулярной экономики. При этом ключевой задачей становится трансформация ESG-обязательств в конкретные управленческие решения и измеримые показатели эффективности [267].

Интеграция принципов ESG рассматривается как необходимое условие долгосрочной устойчивости сталелитейной промышленности. Реализация данных принципов способствует укреплению доверия заинтересованных сторон и расширяет доступ к инструментам устойчивого финансирования, включая «зеленые облигации», играющие значимую роль в финансировании перехода к моделям циркулярной экономики [268]. Дополнительно участие предприятий в механизмах добровольного регулирования – кодексах поведения, отраслевых стандартах и инициативах по раскрытию нефинансовой информации – усиливает корпоративное управление и способствует повышению экологической результативности отрасли за счет внедрения инновационных технологий и практик ответственного потребления [269].

Система сбалансированных показателей (Balanced Scorecard, BSC) представляет собой комплексный инструмент измерения эффективности

организации, сочетающий финансовые и нефинансовые показатели, что делает ее эффективной основой для интеграции принципов ESG в стратегическое управление. Современные исследования подтверждают, что включение ESG-индикаторов в структуру BSC способствует повышению результативности компании за счет формирования структурированного подхода к оценке инициатив в области устойчивого развития и их влияния на бизнес-показатели [270, 271].

Проблематика применения сбалансированной системы показателей в металлургической отрасли отражена в работах российских исследователей.

Так, М.В. Кузнецова и Е.Г. Зиновьева провели оценку рисков металлургических предприятий на примере ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» с использованием BSC. По результатам исследования предложена методика комплексной оценки рисков, охватывающая различные аспекты деятельности металлургических предприятий [272].

Система сбалансированных показателей ОАО «Уральская Сталь», а также стратегическая карта деятельности предприятия разработаны А.В. Ловкой и А.С. Измайловой [273].

В качестве инструмента стратегического и оперативного управления предприятиями металлургической отрасли BSC рассматривается в исследованиях Е.Н. Елисеевой и Н.В. Шмелевой [274].

А.М. Колмыков, исследуя вопросы экономики и управления народным хозяйством, обосновывает использование сбалансированной системы показателей как основы совершенствования деятельности металлургического предприятия и повышения эффективности управленческих процессов [275].

Вопросы внедрения системы коэффициентов эффективности на основе BSC в Заполярном филиале ОАО «ГМК «Норильский никель» рассматриваются в работе А.А. Тихоновой [276].

Обновленный подход к системе показателей, характеризующих деятельность металлургических холдингов, и индикативная система показателей конкурентно-стратегического механизма рассмотрены в работе Л.В. Юрьевой [277].

Повышение эффективности управления качеством металлургических предприятий с использованием сбалансированной системы показателей рассматривается в исследованиях А.М. Песина, В.М. Салганика и Г.А. Бережной [278]. Аналогичный подход к совершенствованию системы управления качеством с учетом существующих ограничений предложен в работе Г.А. Ледневой [279].

Несмотря на значительный вклад представленных исследований в развитие инструментов стратегического и операционного управления металлургическими предприятиями, большинство работ ориентировано преимущественно на совершенствование отдельных элементов системы показателей – управления качеством, оценки рисков или формирования стратегических карт. При этом вопросы интеграции экологических факторов, принципов циркулярной экономики и ESG-ориентированного управления в единую систему оценки стратегического потенциала остаются недостаточно разработанными.

Кроме того, в существующих исследованиях ограниченно представлены механизмы увязки сбалансированной системы показателей с инструментами комплексного экономического и статистического анализа, что снижает возможности количественной оценки стратегических эффектов и прогнозирования долгосрочной устойчивости предприятий.

В этой связи возникает необходимость разработки методологически целостной модели, позволяющей интегрировать показатели финансовой результативности, операционной эффективности, инновационного развития и экологической устойчивости в единую систему оценки стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса. Предлагаемый в диссертации подход направлен на устранение выявленного методического пробела и формирование комплексного инструментария стратегического анализа, адаптированного к условиям экологической трансформации отрасли.

Структура сбалансированной системы показателей (Balanced Scorecard, BSC) может быть адаптирована с учетом аспектов устойчивого развития, в результате чего формируется сбалансированная система показателей устойчивого развития (Sustainability Balanced Scorecard, SBSC). Интеграция ESG-индикаторов в

структуру SBSC позволяет промышленным предприятиям, включая производителей стали, согласовывать операционные стратегии с целями устойчивого развития и формировать системный подход к оценке результативности [280].

SBSC представляет собой структурированный инструмент оценки эффективности в контексте устойчивого развития. Она модифицирует традиционную BSC путем встраивания показателей устойчивости в ее базовые перспективы: финансовую, клиентскую, внутренних бизнес-процессов, а также обучения и развития. Такая трансформация обеспечивает не только достижение стратегических целей организации, но и повышение прозрачности в отношении экологического и социального воздействия, способствуя росту подотчетности перед заинтересованными сторонами [264, 265, 281, 282, 283].

Практика применения SBSC продемонстрировала свою эффективность в различных секторах, включая возобновляемую энергетику, где инструмент используется для оценки организационной результативности в условиях высокой институциональной и нормативной сложности. Это иллюстрирует переход к устойчивым моделям развития, реализуемым не только в рамках государственного регулирования, но и на основе корпоративной инициативы [284].

Кроме того, структура SBSC, как правило, предусматривает механизмы взаимодействия с заинтересованными сторонами и обратной связи. Такой подход повышает релевантность показателей устойчивого развития, поскольку позиции и ожидания стейкхолдеров позволяют выявлять направления совершенствования, которые могут не отражаться в традиционных финансовых индикаторах [264, 285]. Исследования подтверждают, что согласование корпоративных стратегий с Целями устойчивого развития ООН посредством SBSC способствует укреплению репутации компаний и позиционированию их в качестве ответственных участников социально-экономической системы [281, 286].

В то же время для организаций остается актуальной задача обеспечения того, чтобы показатели, сформированные в рамках SBSC, не ограничивались формальным соответствием требованиям, а стимулировали инновации и развитие

устойчивых бизнес-практик. Это приобретает особую значимость в условиях возрастающего давления со стороны инвесторов, потребителей и регулирующих органов, предъявляющих повышенные требования к экологическим, социальным и управленческим аспектам деятельности компаний [283, 287]. Эмпирические исследования показывают, что внедрение SBSC способствует улучшению показателей корпоративной устойчивости, обеспечивая более эффективный контроль и управление экологическим и социальным воздействием [288, 289]. Интеграция показателей устойчивого развития в систему стратегического управления способствует укреплению взаимодействия с заинтересованными сторонами и повышению общей операционной эффективности, что подтверждается выявленной положительной корреляцией между использованием SBSC и ростом результативности компаний в различных отраслях [290, 291].

Более того, развитие таких инструментов, как SBSC, отражает возрастающее признание устойчивого развития в качестве стратегического императива. Интеграция целей устойчивого развития в систему BSC позволяет компаниям не только обеспечивать соответствие нормативным требованиям, но и усиливать свои конкурентные преимущества [287, 292]. Согласование бизнес-стратегий с принципами устойчивого развития способствует более эффективному позиционированию организаций на рынке, где корпоративная ответственность и устойчивые практики приобретают все большую значимость, а также позволяет удовлетворять запросы экологически ориентированных потребителей [286, 293, 294].

Внедрение принципов циркулярной экономики на промышленных предприятиях сопряжено с преодолением системных барьеров, включая доминирование линейных моделей хозяйствования и недостаточную вовлеченность заинтересованных сторон [295]. В этой связи использование таких инструментов, как сбалансированная система показателей, может способствовать интеграции инициатив в области циркулярной экономики в общую стратегию развития организации.

Циркулярная экономика ориентирована на минимизацию отходов и максимизацию использования ресурсов, что напрямую соотносится с целями ESG. Предприятия сталелитейной промышленности могут внедрять интегрированные модели оценки эффективности, включающие ESG-индикаторы с акцентом на принципы циркулярной экономики. Такой подход обеспечивает достижение устойчивых результатов за счет повышения операционной эффективности и укрепления взаимодействия с заинтересованными сторонами [296].

Актуальность принципов циркулярной экономики для предприятий металлургической промышленности, а также стратегические направления их реализации в российских условиях раскрыты в работе автора «Стратегические направления предприятий металлургической промышленности в рамках циркулярной экономики» [263].

Использование цифровых решений для мониторинга и анализа показателей, связанных с целями экономики замкнутого цикла, расширяет возможности оптимизации ресурсов и согласования деятельности предприятий с принципами устойчивого развития [297]. Применение инструментов принятия решений на основе данных позволяет компаниям более эффективно управлять инициативами в области циркулярной экономики и оценивать их влияние на показатели устойчивости [298].

По сути, синергия принципов сбалансированной системы показателей и экономики замкнутого цикла создает надежную основу для организаций, стремящихся к устойчивому развитию. Этот подход подчеркивает необходимость для организаций не только фокусироваться на экономической рентабельности, но и учитывать экологические и социальные аспекты, что позволяет проводить более комплексную оценку эффективности и добиваться значительных улучшений в результатах устойчивого развития [295, 299, 300].

Для проведения комплексного экономического анализа деятельности предприятий металлургического комплекса в рамках циркулярной экономики на основе сбалансированной системы показателей предлагается использовать следующие перспективы, представленные ниже. Следует отметить, что наряду с

классическими перспективами BSC – финансовой, клиентской, внутренних бизнес-процессов, а также обучения и развития – требуется адаптация модели с учетом целей устойчивого развития. В этой связи предлагается дополнить традиционную структуру отдельной перспективой ESG.

Совокупность взаимосвязанных перспектив позволяет обеспечить достижение стратегических целей предприятия, а также согласование стратегических и тактических управленческих решений.

Предложенный подход соответствует Целям устойчивого развития ООН, в частности целям 9 (Индустриализация, инновации и инфраструктура), 12 (Ответственное потребление и производство), 13 (Борьба с изменением климата) и 17 (Партнерство в интересах устойчивого развития).

В целях обеспечения прикладной применимости разработанной модели сбалансированной системы показателей в рамках циркулярной экономики целесообразно разграничивать стратегические и операционные уровни KPI. Стратегические индикаторы (например, уровень сокращения выбросов, доля вторичных ресурсов, возврат на инвестиции в инновации) могут использоваться на уровне корпоративного управления и долгосрочного планирования. В то время как операционные (тактические) показатели – такие как время производственного цикла, процент переработки конкретных видов отходов или часы обучения сотрудников в области устойчивости – служат инструментами мониторинга и контроля на уровне подразделений и бизнес-процессов. Подобное разграничение обеспечивает интеграцию модели в существующую систему KPI предприятий и формирует иерархически согласованную структуру целей, показателей и результатов.

В целях адаптации концепции сбалансированной системы показателей (Balanced Scorecard, BSC) к требованиям устойчивого развития и принципам циркулярной экономики в рамках настоящего исследования предложена расширенная модель BSC. Разработанная модель интегрирует ключевые элементы ESG-ориентированного подхода в традиционную структуру BSC и дополняет ее пятой – экологической (устойчивой) перспективой.

На рисунке 4.15 представлена авторская модель сбалансированной системы показателей в рамках циркулярной экономики:

- финансовая трансформируется за счет снижения издержек, повышения энергоэффективности и оптимизации затрат посредством повторного использования ресурсов и минимизации отходов;

- клиентская перспектива включает формирование имиджа экологически ответственного производителя и способность привлекать потребителей, ориентированных на принципы устойчивого развития;

- перспектива внутренних процессов акцентирует внимание на внедрении технологий переработки, экологизации производственных циклов и цифровизации учета материальных потоков;

- перспектива обучения и развития предполагает формирование экологической корпоративной культуры, развитие компетенций в области устойчивого производства и вовлечение персонала в экологические инициативы;

- интегрированная ESG-перспектива агрегирует результаты по всем направлениям, включая показатели выбросов, раскрытие нефинансовой отчетности, взаимодействие с заинтересованными сторонами и соответствие международным стандартам устойчивости.

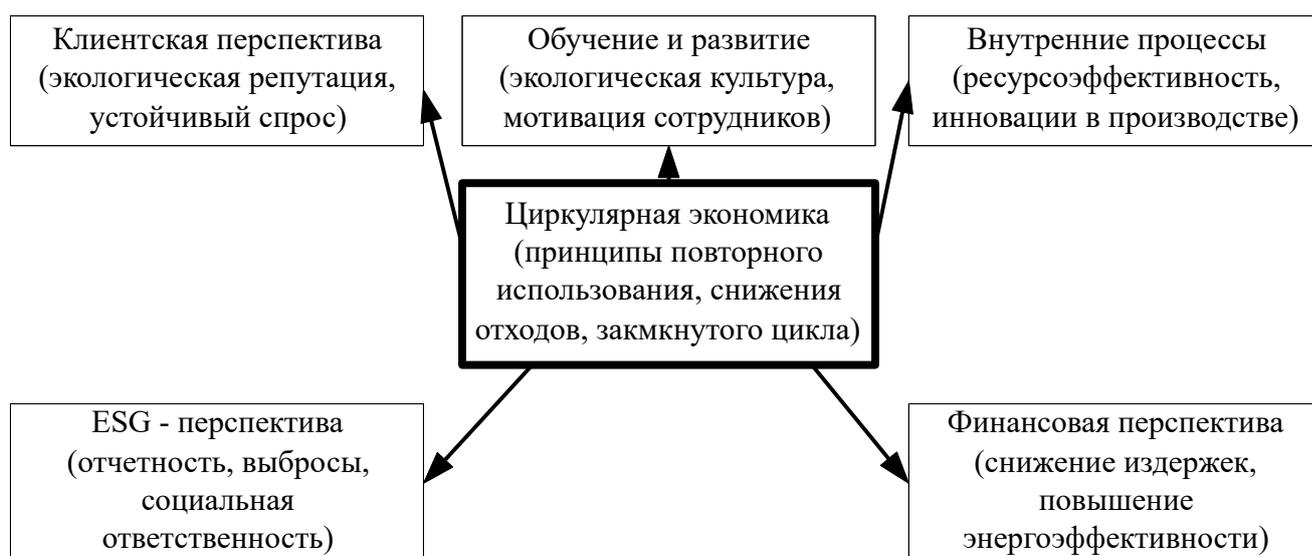


Рисунок 4.15 – Модель сбалансированной системы показателей в рамках циркулярной экономики

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Циркулярная экономика определяет направления трансформации всех перспектив BSC, тогда как агрегирующая ESG-перспектива обеспечивает интегральную оценку устойчивого стратегического эффекта внедряемых управленческих решений. Предложенная модель позволяет формировать целевую карту устойчивого стратегического развития предприятия, ориентированную на достижение долгосрочной экологической и экономической результативности. Кроме того, она может служить инструментальной основой для оценки эффективности внедрения циркулярных решений и формирования «зеленой» конкурентоспособности предприятий металлургического комплекса.

Адаптация сбалансированной системы показателей с учетом экологической перспективы расширяет возможности стратегического управления, обеспечивая согласование экономических, экологических и социальных целей развития. Использование системы ключевых индикаторов позволяет предприятиям металлургической отрасли не только контролировать экономическую результативность, но и количественно оценивать воздействие своей деятельности на окружающую среду и общество.

Таким образом, формирование стратегических направлений развития предприятий металлургического комплекса в рамках циркулярной экономики и применение расширенной модели BSC на основе пяти перспектив создают методологическую основу для принятия комплексных стратегических и тактических управленческих решений.

В рамках предложенной модели целесообразно использовать методологию комплексного экономического анализа на основе метода бэккастинга. В отличие от классического форкастинга, предполагающего экстраполяцию текущих трендов, бэккастинг основывается на формировании целевого устойчивого состояния в будущем (например, достижение замкнутости материальных потоков, углеродной нейтральности или экологически ориентированного продуктового портфеля) и последующем построении обратной логики управленческих действий, необходимых для достижения заданных параметров развития.

Применение бэккастинга позволяет:

- связать долгосрочные цели устойчивого развития с текущими инвестиционными и организационными решениями;
- иерархизировать KPI по степени их приоритетности для достижения конечной цели;
- формировать поэтапную карту трансформации, согласующую ESG-ориентированные шаги с перспективами BSC.

Таким образом, использование бэккастинга в рамках предлагаемой методологии позволяет предприятиям не только отслеживать прогресс по текущим показателям, но и превентивно выстраивать стратегию циркулярной трансформации, исходя из долгосрочных ориентиров.

Методология экономического анализа предприятий металлургического комплекса, основанная на расширенной модели сбалансированной системы показателей, дополненной ESG-перспективой и подходом бэккастинга, базируется на логике стратегического планирования «от будущего к настоящему», в отличие от классического прогнозирования. Поэтапная система KPI-индикаторов и целевых ориентиров устойчивого развития, интегрированных в стратегическое и операционное планирование представлена ниже.

1. Определение целевого устойчивого состояния в будущем (2030–2040) по каждой из пяти перспектив BSC: финансовой, клиентской, внутренних процессов, обучения и развития, а также ESG.

2. Формулирование стратегических KPI первого уровня, количественно отражающих достижение долгосрочных целей по каждой перспективе.

3. Разработка тактических (операционных) мероприятий второго уровня, обеспечивающих реализацию стратегических целей.

4. Согласование вертикали целей и показателей, обеспечивающее преемственность между уровнем стратегического управления и операционной реализацией циркулярных решений.

Предложенная методология (рисунок 4.16) обеспечивает возможность статистически обоснованного управления целевыми показателями с учетом требований циркулярной экономики и институциональной среды. Вертикальная

интеграция стратегических и операционных показателей формирует единую систему управления, ориентированную на достижение долгосрочных целей устойчивого развития.



Рисунок 4.16 – Методология комплексного экономического анализа предприятий металлургического комплекса, основанная на расширенной модели BSC, дополненной ESG-перспективой

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Метод бэккастинга, интегрированный в систему BSC–ESG, позволяет увязать цели устойчивого развития с бизнес-метриками, формируя реалистичную и управляемую траекторию циркулярной трансформации металлургических предприятий.

Таблица 4.2 – Этапы интеграции бэккастинга в систему экономического анализа предприятий металлургического комплекса России

Период	Цели	Промежуточные шаги	Конечный результат
2023–2030	Формирование основ устойчивого производства, снижение отходов, повышение энергоэффективности	Внедрение LCA-анализа, обучение сотрудников, сертификация по ISO	Первоначальное снижение выбросов, начало применения вторичных ресурсов
2030–2035	Устойчивое производство, максимальное использование вторичных материалов, экологическая сертификация	Разработка новых технологий переработки, увеличение доли возобновляемых источников энергии	Преимущество экопродукции, углеродная нейтральность в некоторых аспектах
2035–2040	Углеродная нейтральность, масштабирование циркулярной экономики	Применение замкнутых циклов, внедрение промышленного симбиоза	Полное использование переработанных материалов, углеродная нейтральность
2040–2050	Полная циркулярная экономика, достижение устойчивого будущего	Замкнутые циклы, углеродно-нейтральное производство, 100% использование возобновляемых ресурсов	Циркулярная экономика, минимальное воздействие на экологию

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для практической реализации методологии комплексного экономического анализа предприятий металлургического комплекса на основе бэккастинга целесообразно выделить поэтапную структуру трансформации, ориентированную на достижение целей устойчивого развития в горизонте 2040–2050 годов (таблица 4.2). Предлагаемые фазы отражают последовательный переход от текущего состояния предприятий к модели полной циркулярной экономики.

Предложенная методология обеспечивает возможность статистически обоснованного управления целевыми показателями с учетом требований циркулярной экономики и институциональной среды. Интеграция бэккастинга в систему BSC–ESG формирует структурированную вертикаль целей и показателей, позволяя синхронизировать стратегические ориентиры устойчивого развития с операционными управленческими решениями и обеспечить долгосрочную устойчивость металлургических предприятий.

4.3 Методика формирования статистических индексов для оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Методика формирования индексов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности» [60].

Методы формирования интегральных показателей широко применяются в социально-экономических исследованиях. Так, Е.А. Макарова, Е.Ш. Закиева и В.Е. Тараканова осуществили анализ производственного потенциала регионов с использованием метода главных компонент и деревьев решений, что позволило выявить скрытые структурные зависимости в системе показателей [301].

Применение метода главных компонент в анализе рынка ипотечного кредитования рассматривается в работе Е.О. Кузнецовой и В.А. Титова, где данный метод используется для снижения размерности исходных данных и выявления ключевых факторов динамики рынка [302].

С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев и А.В. Кудров исследовали систему из восьми индикаторов, отражающих основные направления регионального развития, а также проанализировали взаимосвязи между ними. По результатам исследования были оценены параметры модели взаимосвязи интегрального индикатора качества условий жизни субъектов РФ с характеристиками уровня их социально-экономического развития [303].

Т.В. Жгун, а также А.В. Липатов и Д.Д. Лемешова рассматривают применение метода главных компонент при формировании интегральных характеристик качества жизни субъектов РФ. Авторы обосновывают использование данного метода для построения объективных агрегированных показателей, отражающих структурные изменения в социально-экономических системах [304, 305].

Вопросам определения весовых коэффициентов при построении интегральных индексов посвящено исследование К.К. Логинова, в котором анализируется формирование индекса экономической безопасности региона (на примере Омской области) и обосновываются подходы к расчету весов отдельных показателей [306].

Цифровая трансформация государства и общества обуславливает необходимость применения индикативного подхода. И.А. Макаров в исследовании подтверждает необходимость формирования индексов [307].

Анализ главных компонент представляет собой многомерный статистический метод, позволяющий преобразовать таблицу данных типа «объект–переменная» в систему новых переменных – главных компонент. Главные компоненты являются линейными комбинациями исходных переменных и формируются таким образом, чтобы последовательно объяснять максимальную долю общей дисперсии. В результате достигается упрощение структуры данных при сохранении их ключевых характеристик [308, 309].

Анализ главных компонент часто применяется для анализа данных в самых разных областях [69].

Метод PCA основан на решении задачи собственных значений и собственных векторов ковариационной (или корреляционной) матрицы. Полученные компоненты являются некоррелированными между собой и упорядочиваются по величине объясняемой дисперсии, что делает PCA адаптивным инструментом анализа многомерных данных [310]. Такой подход повышает интерпретируемость результатов без существенной потери информации [311].

Анализ главных компонент – это многомерный метод, который анализирует таблицу данных, в которой наблюдения описываются несколькими взаимосвязанными количественными зависимыми переменными [309]. PCA является одним из наиболее распространенных методов упорядочения и сокращения размерности многомерных массивов данных в различных научных дисциплинах [312, 313]. Визуализация главных компонент и анализ их нагрузок позволяют выявить сходства и различия между объектами наблюдения, а также определить исходные переменные, оказывающие наибольшее влияние на формирование первых компонент [314].

Метод PCA широко используется для выявления повторяющихся закономерностей в сложных наборах данных с минимальной потерей информации. Он основан исключительно на внутренней структуре исходных данных и не требует предварительного задания функциональной зависимости между переменными. Математическая модель формируется на основе ковариационной (или корреляционной) матрицы и зависит от природы самих данных [315].

В рамках метода исходные переменные преобразуются в новый набор ортогональных (некоррелированных) переменных – главных компонент, каждая из которых представляет собой линейную комбинацию исходных показателей. Главные компоненты упорядочиваются по величине объясняемой дисперсии, что позволяет ограничиться несколькими первыми компонентами для адекватного представления структуры данных [316]. Теоретической основой PCA является разложение ковариационной матрицы по собственным значениям и собственным векторам. Собственные значения отражают долю дисперсии, объясняемую каждой компонентой, а собственные векторы формируют базис нового факторного пространства [69, 317].

Преобразование коррелированных показателей в систему некоррелированных компонент облегчает выявление скрытой структуры данных и основных направлений вариации [318, 319]. При этом интерпретация главных компонент может представлять определенную сложность, поскольку они являются агрегированными линейными комбинациями исходных переменных [69].

В экономических исследованиях PCA активно применяется для построения интегральных индексов и агрегирования совокупностей показателей. Большинство прикладных работ связано с оценкой финансового развития стран и регионов на основе комбинации макроэкономических индикаторов [320]. Метод используется для сокращения числа исходных переменных и формирования агрегированного показателя, позволяющего ранжировать и сравнивать объекты наблюдения. Так, в работе [321] страны ранжируются на основе главных компонент, полученных из динамических характеристик устойчивости.

Аналогичный подход применяется при формировании интегральных индексов устойчивого развития [322, 323], а также при агрегировании макроэкономических индексов, где факторные нагрузки, полученные в результате PCA, используются для определения относительной значимости исходных показателей [324]. Таким образом, анализ главных компонент представляет собой методологически обоснованный инструмент формирования интегральных статистических индексов, позволяющий объективизировать процедуру

агрегирования показателей, снизить размерность данных и выявить латентные факторы, определяющие структуру стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности.

Интеграция метода анализа главных компонент (РСА) с другими аналитическими инструментами, такими как сбалансированная система показателей и анализ охвата данных, позволяет проводить комплексную оценку эффективности предприятий как по финансовым, так и по нефинансовым критериям. Такой подход способствует выявлению эталонных моделей эффективности и формированию сравнительных рейтингов на основе ключевых показателей деятельности, включая рентабельность, производительность и удовлетворенность потребителей [325].

В отличие от традиционного составного индекса, где веса показателей задаются экспертным путем, метод РСА формирует веса автоматически на основе статистической структуры данных. Главные компоненты представляют собой линейные комбинации исходных переменных, построенные таким образом, чтобы последовательно максимизировать объясняемую дисперсию. Это позволяет выявить скрытые взаимосвязи и латентную структуру данных, которые могут быть неочевидны при использовании ручного взвешивания показателей.

Первая главная компонента (PC_1) представляет собой линейную комбинацию всех исходных переменных и объясняет наибольшую долю общей дисперсии. Это не отдельная переменная, а направление в многомерном пространстве признаков, определяемое набором весовых коэффициентов, максимизирующих вариацию данных.

Вторая компонента (PC_2) объясняет следующую по величине долю дисперсии и является ортогональной (некоррелированной) по отношению к первой компоненте. Аналогично формируются последующие компоненты (PC_3 , PC_4 и т.д.), каждая из которых объясняет оставшуюся вариацию при условии ортогональности ко всем предыдущим компонентам.

В общем виде k -я главная компонента определяется как:

$$PC_k = a_{1k} * x_1 + a_{2k} * x_2 + a_{nk} * x_n, \quad (4.5)$$

где a_{lk} – коэффициенты (факторные нагрузки), определяемые методом РСА;
 x_n – стандартизированные исходные переменные.

Главные компоненты упорядочены по убыванию объясняемой дисперсии и являются взаимно некоррелированными, что обеспечивает их независимость и позволяет интерпретировать каждую компоненту как отдельное направление вариации данных.

Разработанная интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России основана на применении РСА для агрегирования шести ключевых потенциалов: организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического.

Алгоритм формирования интегрального индекса включает следующие этапы.

1. Стандартизация исходных показателей и построение главных компонент.

После стандартизации переменных определяется k -я главная компонента:

$$XPC_k = \sum_{i=1}^n \alpha_{ik} \cdot X_i, \quad (4.6)$$

где XPC_k – k -я главная компонента;

α_{ik} – элементы собственного вектора (факторные нагрузки);

X_i – стандартизированные исходные показатели.

2. Определение доли объясняемой дисперсии.

Для каждой компоненты рассчитывается собственное значение, которое отражает вклад компоненты в общую дисперсию системы показателей:

$$\lambda_k = Var(XPC_k). \quad (4.7)$$

3. Определение весов компонент.

Вес каждой компоненты в интегральном индексе определяется пропорционально объясняемой дисперсии:

$$w_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \quad (4.8)$$

где m – число отобранных компонент.

4. Формирование интегрального индекса.

Интегральный индекс стратегического потенциала рассчитывается как взвешенная сумма главных компонент:

$$I_1 = w_1 * XPC_1 + w_2 * XPC_2 + \dots + w_m * XPC_m. \quad (4.9)$$

Первая главная компонента отражает доминирующее направление вариации стратегических характеристик предприятий и может аккумулировать вклад нескольких показателей, совместно формирующих базовую структуру стратегического потенциала.

Разработанная методика оценки стратегического потенциала основана на интеграции количественного статистического подхода с применением метода анализа главных компонент и системы индексной диагностики, охватывающей шесть ключевых направлений развития предприятия. Метод анализа главных компонент позволяет: сократить размерность исходных данных; выделить наиболее значимые компоненты, объясняющие дисперсию наблюдаемых индексов потенциалов. Веса компонент присваиваются эндогенно на основе их вклада в общую дисперсию.

Каждая группа показателей, входящая в структуру соответствующего потенциала, предварительно нормализуется и агрегируется в частный индекс по шкале от -1 до +1 на основе результатов анализа главных компонент. Это обеспечивает сопоставимость показателей и корректность дальнейшего агрегирования.

На следующем этапе на основе полученных частных обобщающих индексов формируется интегральный индекс стратегического потенциала предприятия. Таким образом, методика обеспечивает поэтапное агрегирование системы показателей в единый индикатор, отражающий стратегическое положение компании в отрасли на конкретный момент времени.

Алгоритм реализации методики включает следующие этапы:

1. Анализ структуры потенциалов и формирование системы показателей по каждому из шести направлений.

2. Построение шести частных обобщающих индексов потенциалов на основе анализа главных компонент.

3. Формирование интегрального индекса стратегического потенциала на основе агрегирования полученных частных индексов с использованием РСА.

Для оценки взаимосвязей между переменными рассчитывается ковариационная (или корреляционная) матрица, из которой извлекаются собственные значения и собственные векторы – ключевые элементы РСА. Вклад каждой компоненты в общую дисперсию определяется на основе соответствующего собственного значения, а кумулятивная доля объясненной дисперсии используется для обоснования числа включаемых компонент.

Выбор метода анализа главных компонент для формирования интегральных индексов стратегического потенциала обусловлен рядом его принципиальных преимуществ.

Во-первых, РСА позволяет устранить проблему мультиколлинеарности между исходными показателями, неизбежную при анализе взаимосвязанных аспектов деятельности предприятия, и снизить размерность признакового пространства без существенной потери информации.

Во-вторых, метод обеспечивает статистически объективное определение весов показателей на основе их вклада в объясняемую дисперсию, что позволяет избежать субъективизма, характерного для экспертных процедур взвешивания.

В-третьих, формирование ортогональных (некоррелированных) компонент облегчает интерпретацию результатов и позволяет выявить латентные факторы, определяющие структуру стратегического потенциала.

Существенным преимуществом разработанной методики является возможность одновременного включения в анализ как относительных (коэффициентов, удельных показателей), так и абсолютных (стоимостных, объемных, натуральных) индикаторов. Это достигается за счет предварительной стандартизации данных и обеспечивает комплексность оценки, позволяя учитывать не только эффективность использования ресурсов, но и масштаб деятельности предприятия, его ресурсную базу и производственные мощности.

Применение метода главных компонент является методологически обоснованным даже при минимальном количестве показателей в отдельных блоках (от трех переменных). Метод позволяет выявить латентную структуру взаимосвязей между показателями и выполнить их оптимальное линейное преобразование с сохранением максимальной доли исходной дисперсии. Это обеспечивает статистическую корректность интегральной оценки независимо от размерности исходного набора переменных в каждом функциональном блоке.

Каждый частный индекс стратегического потенциала формируется с использованием метода анализа главных компонент. Ниже представлена последовательность расчета главных компонент и формирования соответствующих индексов для каждого типа потенциала.

1.1. Частный обобщающий индекс финансово-экономического потенциала.

1. Финансово-экономический потенциал включает систему показателей, характеризующих результативность, прибыльность и финансовую устойчивость предприятия.

2. Исходные показатели:

X_1 – выручка, млрд руб.;

X_2 – операционная прибыль, млрд руб.;

X_3 – EBITDA, млрд руб.;

X_4 – чистая прибыль, млрд руб.;

X_5 – операционный денежный поток, млрд руб.;

X_6 – свободный денежный поток (FCF), млрд руб.;

X_7 – рентабельность EBITDA, к-нт;

X_8 – чистая рентабельность, %;

X_9 – ROE, к-нт;

X_{10} – ROA, к-нт.

После стандартизации данных PCA позволяет найти компоненты, которые объясняют наибольшую вариацию в данных по формуле (4.6). Доля объясняемой дисперсии определяется по формуле (4.7), веса компонент – по формуле (4.8).

Частный обобщающий индекс финансово-экономического потенциала определяется как линейная комбинация главных компонент с их соответствующими весами по формуле (4.9).

1.2. Частный обобщающий индекс организационно-управленческого потенциала.

Организационно-управленческий потенциал отражает эффективность структуры затрат и управленческих решений.

Исходные показатели:

Y_1 – операционные расходы, млрд руб.;

Y_2 – себестоимость продукции, млрд руб.;

Y_3 – расходы на персонал, млрд руб.;

Y_4 – процентные расходы, млрд руб.

Применение РСА для расчета главных компонент:

$$YPC_k = \sum_{i=1}^n b_{ik} \cdot Y_i. \quad (4.10)$$

Вес компоненты для организационно-управленческого потенциала рассчитывается по формуле (4.8).

Формирование частного индекса:

$$I_2 = w_1 * YPC_1 + w_2 * YPC_2 + \dots + w_m * YPC_m. \quad (4.11)$$

1.3. Частный обобщающий индекс производственно-технологического потенциала.

Исходные показатели:

Z_1 – производство стали, млн т;

Z_2 – производство продукции, млн т;

Z_3 – продажи стали, млн т.

1. Применение РСА для выделения главных компонент:

$$ZPC_k = \sum_{i=1}^k c_{ik} \cdot Z_i. \quad (4.12)$$

2. Вес компоненты рассчитывается по формуле (4.8).

3. Формирование частного индекса:

$$I_3 = w_1 * ZPC_1 + w_2 * ZPC_2 + \dots + w_m * ZPC_m. \quad (4.13)$$

1.4. Частный обобщающий индекс экологического потенциала.

Исходные показатели:

W_1 – общий объем выбросов парниковых газов, млн т.;

W_2 – общее потребление энергии компанией, млн ГДж;

W_3 – общий объем водопотребления, млн м³;

W_4 – валовый объем выбросов загрязняющих веществ, тыс. т.

1. Применение РСА:

$$WPC_k = \sum_{i=1}^k d_{ik} \cdot W_i. \quad (4.14)$$

2. Вес компоненты рассчитывается по формуле (4.8).

3. Формирование частного индекса:

$$I_4 = w_1 * WPC_1 + w_2 * WPC_2 + \dots + w_m * WPC_m. \quad (4.15)$$

1.5. Частный обобщающий индекс инвестиционно-инновационного потенциала.

Исходные показатели:

P_1 – CAPEX, млрд руб.;

P_2 – R&D/CAPEX, к-нт;

P_3 – CAPEX/Выручка, к-нт.

1. Применение РСА:

$$PPC_k = \sum_{i=1}^k e_{ik} \cdot P_i. \quad (4.16)$$

2. Вес компоненты рассчитывается по формуле (4.8).

3. Формирование индекса:

$$I_5 = w_1 * PPC_1 + w_2 * PPC_2 + \dots + w_m * PPC_m. \quad (4.17)$$

1.6. Частный обобщающий индекс кадрового потенциала.

Кадровый потенциал оценивается на основе численности персонала, производительности труда и уровня затрат на одного сотрудника.

Исходные показатели:

Q_1 – персонал, чел.;

Q_2 – производительность труда, млн руб./чел./год;

Q_3 – расходы/чел/год, тыс. руб.

1. Применение РСА:

$$QPC_k = \sum_{i=1}^k f_{ik} \cdot Q_i. \quad (4.18)$$

2. Вес компоненты рассчитывается по формуле (4.8).

3. Формирование индекса:

$$I_6 = w_1 * QPC_1 + w_2 * QPC_2 + \dots + w_m * QPC_m. \quad (4.19)$$

Интеграция индексов и формирование обобщающего показателя.

После того как каждый частный обобщающий индекс стратегического потенциала рассчитан, они объединяются в один интегральный обобщающий показатель на основе анализа главных компонент. Это делается путем взвешенной суммы:

$$ИСП_t = w_1 * I_1 + w_2 * I_2 + w_3 * I_3 + w_4 * I_4 + w_5 * I_5 + w_6 * I_6. \quad (4.20)$$

где $ИСП_t$ – обобщающий индекс стратегического потенциала для предприятия t ;

I_i – частный индекс для i -го потенциала;

w_i – вес для каждого индекса.

Таким образом автором разработана интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, основанная на применении метода анализа главных компонент (РСА) для агрегирования шести ключевых потенциалов: организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического. Методика обеспечивает количественную диагностику структуры стратегического потенциала, а также выделение уязвимых элементов, критичных с точки зрения управленческого воздействия.

Универсальность предложенной методики заключается в ее адаптивности и масштабируемости: в дальнейшем в состав каждого из частных обобщающих индексов потенциалов могут быть включены дополнительные показатели, отражающие как специфику конкретного предприятия или отрасли, так и изменяющиеся условия внешней среды, что позволяет расширять аналитический инструментарий без изменения базовой структуры модели.

Выводы по главе 4

1. В условиях ускоренной цифровой трансформации, усложнения институциональной среды и роста требований к устойчивому развитию принципы оценки стратегического потенциала приобретают системообразующее значение. Их корректная формализация и количественная интерпретация являются необходимым условием обеспечения долгосрочного конкурентного преимущества предприятий металлургической промышленности.

2. Введено авторское понятие сценарной чувствительности стратегического потенциала предприятия, определяемое как характеристика степени вариативности и изменчивости ключевых принципов стратегического управления под воздействием альтернативных внешних условий. Данное понятие расширяет инструментарий стратегического анализа и позволяет дифференцировать принципы по уровню устойчивости и управляемости.

3. На основе разработанной итерационной модели с применением теории нечетких когнитивных карт проведен анализ системы принципов стратегического управления («Единство и целостность», «Сбалансированность», «Результативность и эффективность», «Ресурсная обеспеченность», «Измеряемость целей», «Перспективность», «Системность», «Динамичность», «Учет внешней среды», «Устойчивое развитие», «Экологическая ответственность», «Инновации и технологическое обновление», «Социальная ответственность») в рамках трех сценариев развития.

Выявлено, что принципы с высокой устойчивостью (сбалансированность, результативность, системность, устойчивое развитие, экологическая и социальная ответственность) характеризуются быстрой стабилизацией на максимальных уровнях активации (0,99+) независимо от начальных условий, что свидетельствует о наличии устойчивых положительных обратных связей в системе.

Принципы с низкой устойчивостью (измеряемость целей, динамичность, учет внешней среды) демонстрируют зависимость от исходных параметров и тенденцию к снижению уровня активации, что указывает на необходимость целенаправленного управленческого воздействия.

Принцип перспективности обладает трансверсальной ролью, обеспечивая достижение максимальной активации во всех сценариях, что подтверждает методологическую обоснованность применения бэккастингового подхода в стратегическом управлении металлургических предприятий.

4. Разработана интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России на основе двухуровневого применения метода анализа главных компонент (РСА). Методика обеспечивает агрегирование системы показателей шести ключевых потенциалов (организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического) в единый интегральный показатель.

Предложенный подход позволяет осуществлять количественную диагностику структуры стратегического потенциала, выявлять уязвимые элементы и определять направления управленческого воздействия. Методика отличается адаптивностью и масштабируемостью, что обеспечивает возможность включения дополнительных показателей без изменения базовой логики модели.

5. Обоснована целесообразность интеграции метода бэккастинга в систему BSC–ESG для совершенствования методологии экономического анализа предприятий металлургического комплекса. Разработана расширенная модель сбалансированной системы показателей, дополненная ESG-перспективой и ориентированная на стратегическое планирование «от будущего к настоящему».

Предложена поэтапная система KPI-индикаторов и целевых ориентиров устойчивого развития, интегрированных в стратегическое и операционное планирование в условиях циркулярной трансформации. Методология обеспечивает статистически обоснованное управление целевыми показателями с учетом требований устойчивого развития и институциональных ограничений.

Глава 5 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНДЕКСОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

5.1 Статистический анализ частных обобщающих индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемых научных изданиях согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Оценка инновационно-инвестиционного потенциала предприятий металлургического комплекса России», «Статистическая оценка экологического потенциала предприятий металлургической промышленности России» [326, 318].

В ряде предыдущих исследований автором был проведен анализ эффективности деятельности предприятий металлургического комплекса России. Например, в статье «Сравнительная оценка эффективности деятельности компании металлургического комплекса России» [319] была проведена оценка восьми компаний металлургической промышленности за период с 2016 по 2021 год на основе показателей рентабельности и эффективности. В работе «Кластерный анализ предприятий металлургического комплекса России» [327] был осуществлен кластерный анализ 12 показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий, а также определены основные факторы, влияющие на их результаты. В статье «Анализ проблем управления на предприятиях металлургического комплекса России» [328] исследовались проблемы управления с использованием

кластерного анализа на основе показателей ROA, ROE, P/E, «Рентабельность чистая», «Рентабельность EBITDA». Эти работы позволили выявить изменения в управлении и финансовых показателях предприятий металлургического комплекса в период с 2016 по 2023 годы, что стало основой для формирования частных обобщающих индексов стратегического потенциала, представленных в данном разделе.

Проведено формирование частных обобщающих индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России на основе анализа главных компонент. Расчеты были осуществлены на основе отчетных документов компаний черной металлургической промышленности – ПАО «Ашинский метзавод», ПАО «Северсталь», ПАО «Трубная металлургическая компания» (ПАО «ТМК»), ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК), ПАО «Мечел» и ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК) [329, 330, 331, 332, 333, 334, 335] за пятилетний период с 2019 по 2023 год. Информационную базу исследования составили бухгалтерская финансовая отчетность, а также отчеты по устойчивому развитию, датасеты по показателям устойчивого развития, опубликованные на официальных сайтах. Все расчеты были произведены на основе программного обеспечения Wolfram Mathematica 13.3.0. Реализация кода осуществлялась на основе программы для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684332 «Анализ главных компонент (РСА)» (А.А. Курилова, Л.Д. Савенков).

Выбор отчетности по МСФО в качестве основного источника данных для расчета частных обобщающих индексов потенциалов обусловлен рядом объективных факторов. Во-первых, отчетность по Международным стандартам финансовой отчетности обеспечивает высокую степень сопоставимости данных между различными предприятиями, что критично для проведения межфирменного анализа и построения интегральных оценок. Во-вторых, МСФО характеризуется большей прозрачностью и детализацией раскрытия информации по сравнению с РСБУ, что позволяет получить более полное представление о финансово-экономическом состоянии, инвестиционной активности и структуре активов

компаний. В-третьих, крупнейшие металлургические холдинги России, акции которых обращаются на международных рынках капитала, в обязательном порядке составляют отчетность по МСФО, что обеспечивает доступность и надежность исходных данных.

Собственные значения показывают важность каждой главной компоненты в контексте объяснения дисперсии данных. Вклад в дисперсию показывает, какую часть общей дисперсии объясняет каждая компонента. Кумулятивный вклад отображает нарастающее объяснение дисперсии при добавлении новых компонент. Необходимо отметить, что РСА ищет такие линейные комбинации переменных, которые максимизируют дисперсию. Если несколько исходных переменных имеют отрицательную корреляцию между собой, то это может привести к получению отрицательных весов для этих переменных в главных компонентах. Например, если одна переменная увеличивается, а другая уменьшается, то компоненты, которые включают эти переменные, могут иметь отрицательные веса.

Оценка финансово-экономического потенциала предприятий металлургической промышленности России за период с 2019 по 2023 годы на основе метода главных компонент (РСА) показала следующие результаты (таблицы 5.1–5.5).

Таблица 5.1 – Распределение дисперсии главных компонент показателей финансово-экономического потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,54	41,50	41,50
2	0,22	51,51	93,01
3	0,41	5,54	98,54
4	-0,10	1,24	99,78
5	-0,05	0,16	99,94
6	-0,03	0,06	100
7	0	0	100
8	0	0	100
9	0	0	100
10	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2019 году результаты анализа показали, что первая компонента объяснила 41,50% общей дисперсии, что свидетельствует о значительном влиянии основных финансовых факторов на экономический потенциал предприятий. Вклад второй компоненты составил 51,51%, а третья компонента добавила 5,54%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 93,01%, что подтверждает высокую значимость первых двух факторов для финансового анализа (см. таблицу 5.1).

Анализ финансово-экономического потенциала в 2020 году показал, что первая компонента объяснила 50,78% дисперсии, а вторая компонента добавила 45,74%, что в сумме составило 96,52%. Третья компонента объяснила лишь 0,36%, что указывает на преобладание основных финансовых факторов в анализе. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 96,52%, подтверждая, что основные финансовые параметры, такие как выручка и прибыль, играли ключевую роль в экономической эффективности предприятий металлургической отрасли в 2020 году (см. таблицу 5.2).

Таблица 5.2 – Распределение дисперсии главных компонент показателей финансово-экономического потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,75	50,78	50,78
2	0,02	45,74	96,52
3	0,22	0,36	96,88
4	-0,04	2,95	99,83
5	0,05	0,01	99,84
6	0	0,16	100
7	0	0	100
8	0	0	100
9	0	0	100
10	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2021 году первая компонента индекса финансово-экономического потенциала продолжила доминировать, объяснив 30,29% дисперсии, в то время как вторая компонента составила 31,35%. Вклад третьей компоненты увеличился до 15,55%, что подтверждает расширение значимости дополнительных факторов для анализа. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 77,17%, что

указывает на более широкую картину факторов, влияющих на индекс финансово-экономического потенциала предприятий металлургической отрасли (см. таблицу 5.3).

Таблица 5.3 – Распределение дисперсии главных компонент показателей финансово-экономического потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,63	30,28	30,28
2	-0,39	31,35	61,63
3	0,69	15,55	77,17
4	0,14	22,64	99,81
5	0	0,15	99,96
6	-0,07	0,04	100
7	0	0	100
8	0	0	100
9	0	0	100
10	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2022 года первая компонента индекса финансово-экономического потенциала продолжала занимать важное место, объяснив 39,68% дисперсии, а вторая компонента снизила свой вклад до 7,40%. Третья компонента вносила 25,24%, что показывает значимость дополнительных факторов, таких как рентабельность и денежный поток, в общем финансовом контексте. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 72,32%, подтверждая высокую роль этих факторов в экономической динамике предприятий (см. таблицу 5.4).

Таблица 5.4 – Распределение дисперсии главных компонент показателей финансово-экономического потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,57	39,68	39,68
2	0,08	7,40	47,08
3	0,30	25,24	72,32
4	0,24	3,05	75,37
5	-0,19	24,39	99,76
6	0	0,24	100
7	0	0	100
8	0	0	100
9	0	0	100
10	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2023 году первая компонента объяснила 47,63% дисперсии, а вторая компонента индекса финансово-экономического потенциала продолжала занимать важное место с вкладом 11,62%. Третья компонента оставалась значимой с суммой вклада, аналогичной предыдущим периодам – в 17,18%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 76,43%, подтверждая высокую значимость этих факторов для оценки финансово-экономического потенциала металлургической отрасли в 2023 году (см. таблицу 5.5).

Таблица 5.5 – Распределение дисперсии главных компонент показателей финансово-экономического потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,74	47,63	47,63
2	0,36	1,62	59,25
3	0,28	17,18	76,43
4	-0,32	17,97	94,39
5	-0,05	5,38	99,77
6	0	0,23	100
7	0	0	100
8	0	0	100
9	0	0	100
10	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Далее для оценки организационно-управленческого потенциала предприятий металлургической промышленности России за период с 2019 по 2023 годы был также использован метод главных компонент (РСА), который позволяет выявить основные факторы, влияющие на эффективность управления, организационные процессы и общую структуру предприятия (таблицы 5.6–5.10).

В 2019 году результаты анализа показали, что первая компонента объясняла 90,41% общей дисперсии, что подтверждает ее доминирующую роль в организационно-управленческом потенциале. Вклад второй компоненты составил 6,76%, а третья компонента добавила 2,41% к общей дисперсии. Вклад четвертой компоненты оказался минимальным – всего 0,42%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 97,17%, что подчеркивает значимость этих двух факторов

для анализа организационного и управленческого потенциала предприятия в 2019 году (см. таблицу 5.6).

Таблица 5.6 – Распределение дисперсии главных компонент показателей организационно-управленческого потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	2,35	90,41	90,41
2	-0,41	6,76	97,17
3	-1,04	2,41	99,58
4	0,10	0,42	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2020 году первая компонента продолжала занимать доминирующее положение, объяснив 94,16% дисперсии. Вторая компонента внесла 4,01%, а третья – 1,05%. Четвертая компонента, как и в предыдущем году, имела минимальный вклад в 0,79%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,33%, что подтверждает преобладание этих факторов в оценке организационно-управленческого потенциала в 2020 году (см. таблицу 5.7).

Таблица 5.7 – Распределение дисперсии главных компонент показателей организационно-управленческого потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	2,63	94,16	94,16
2	-0,61	4,01	98,17
3	-0,99	1,05	99,22
4	-0,03	0,78	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ 2021 года показал, что первая компонента объясняла 94,03% дисперсии, а вторая компонента добавила 5,30%, что в сумме с первой компонентой составило 99,33%. Третья компонента объяснила 0,66%, а четвертая – 0,01%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 99,99%, что также подтверждает важность этих факторов при оценке организационно-управленческого потенциала предприятий металлургической отрасли (см. таблицу 5.8).

Таблица 5.8 – Распределение дисперсии главных компонент показателей организационно-управленческого потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	2,35	94,03	94,03
2	-0,43	5,30	99,33
3	-0,94	0,66	99,99
4	0,02	0,01	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2022 году первая компонента объясняла 94,20% общей дисперсии. Вторая компонента снизила свой вклад до 4,84%, а третья компонента составила 0,78%. Четвертая компонента внесла 0,18%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,03%, что продолжает подтверждать важность первых двух факторов для анализа организационного потенциала (см. таблицу 5.9).

Таблица 5.9 – Распределение дисперсии главных компонент показателей организационно-управленческого потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,88	94,20	94,20
2	-0,11	4,84	99,03
3	-0,91	0,78	99,82
4	0,15	0,18	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2023 года первая компонента объяснила 94,63% дисперсии, в то время как вторая компонента составила 4,44%. Третья компонента добавила 0,86%, а четвертая – 0,07%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,07%, что подтверждает высокую значимость этих факторов для анализа организационного и управленческого потенциала металлургических предприятий в 2023 году (см. таблицу 5.10).

Таблица 5.10 – Распределение дисперсии главных компонент показателей организационно-управленческого потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,24	94,63	94,63
2	0,30	4,44	99,07
3	-0,67	0,86	99,93
4	0,13	0,07	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для оценки инвестиционно-инновационного потенциала предприятий металлургической промышленности России в период с 2019 по 2023 годы был проведен анализ с использованием метода главных компонент (РСА), который позволил выявить наиболее значимые факторы, влияющие на инвестиции и инновации в отрасли (таблицы 5.11–5.15).

В 2019 году первая компонента в модели объяснила 32,30% общей дисперсии, что указывает на ее доминирующее влияние в контексте инвестиционно-инновационного потенциала. Вторая компонента также внесла значительный вклад, составляя 3,87%, что в сумме с первой компонентой объяснило 36,16% всей изменчивости. Третья компонента была отрицательной, но ее вклад составил 63,84%, показывая наличие нестабильных факторов, которые могут негативно влиять на общие результаты, что подтверждается отрицательным собственным значением этой компоненты. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 100%, что подтверждает способность этих факторов объяснять все важнейшие изменения в инвестиционном потенциале предприятий металлургической отрасли за 2019 год (см. таблицу 5.11).

Таблица 5.11 – Распределение дисперсии главных компонент показателей инвестиционно-инновационного потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Вес компонента	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,61	32,30	32,30
2	0,73	3,87	36,16
3	-0,34	63,84	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2020 году первая компонента продолжила оставаться значимой, объясняя 27,14% дисперсии, в то время как вторая компонента увеличила свой вклад до 38,91%. Вместе они объяснили 66,05% дисперсии, что указывает на рост значимости этих факторов в анализе. Третья компонента вносила оставшиеся 33,95% и имела положительные собственные значения, что подтверждает ее роль в балансировке инновационных показателей. Весь анализ, таким образом, дает возможность выделить два ключевых фактора, которые существенно влияли на инвестиции в 2020 году (см. таблицу 5.12).

Таблица 5.12 – Распределение дисперсии главных компонент показателей инвестиционно-инновационного потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	4,40	27,14	27,14
2	-5,17	38,91	66,05
3	1,77	33,95	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ 2021 года показал, что первая компонента объясняла 27,52% дисперсии, в то время как вторая компонента продолжала доминировать, составив 44,31%. Эти две компоненты уже объясняли более 70% дисперсии, что подчеркивает их значимость для инвестиционно-инновационного потенциала. Третья компонента вносила оставшиеся 28,17%, что также подтверждает ее второстепенную, но необходимую роль в объяснении оставшейся части изменений (см. таблицу 5.13).

Таблица 5.13 – Распределение дисперсии главных компонент показателей инвестиционно-инновационного потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	-3,58	27,52	27,52
2	6,15	44,31	71,83
3	-1,57	28,17	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2022 года результат анализа показал значительное увеличение вклада первой компоненты, которая объяснила 48,22% дисперсии. Вторая компонента снизила свой вклад до 51,78%, что стало результатом перераспределения вклада между компонентами в сторону более стабильных факторов. Третья компонента, в свою очередь, не имела вклада в дисперсию (0%), что также может указывать на улучшение общей стабильности и уменьшение нестабильных факторов. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 100%, что подтверждает фокус на этих факторах при оценке инвестиционно-инновационного потенциала в 2022 году (см. таблицу 5.14).

Таблица 5.14 – Распределение дисперсии главных компонент показателей инвестиционно-инновационного потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	-4,98	48,22	48,22
2	5,98	51,78	100
3	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2023 году первая компонента продолжала показывать высокий вклад в объяснение 39,32% дисперсии. Вторая компонента, напротив, имела меньший вклад в 60,68%, что также указывает на перераспределение влияния факторов. Третья компонента снова не вносила вклад в общую дисперсию, подтверждая стабильность структуры данных. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 100%, что подтверждает высокий уровень консолидации факторов в анализируемом периоде (см. таблицу 5.15).

Таблица 5.15 – Распределение дисперсии главных компонент показателей инвестиционно-инновационного потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	5,63	39,32	39,32
2	-4,63	60,68	100
3	0	0	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таким образом, результаты анализа для каждого года показали устойчивую тенденцию, при которой первые две компоненты объясняли большую часть дисперсии в инвестиционно-инновационном потенциале металлургических предприятий. На протяжении всего анализируемого периода наблюдается снижение вклада третьей компоненты, что может свидетельствовать о стабилизации факторов, влияющих на инновационную и инвестиционную деятельность.

Оценка кадрового потенциала предприятий металлургической промышленности России за период с 2019 по 2023 годы, проведенная с использованием метода главных компонент (РСА), позволила выделить ключевые факторы, которые оказывают влияние на эффективность кадровой политики и

развитие человеческих ресурсов в отрасли (таблицы 5.16–5.20). Метод PCA используется для выявления скрытых взаимосвязей между показателями, такими как численность персонала, производительность труда и расходы на одного работника, что дает полное представление о кадровом потенциале и его изменениях с течением времени.

В 2019 году результаты анализа показали, что первая компонента объясняла 30,93% общей дисперсии данных, что указывает на ее доминирующее значение в контексте кадрового потенциала. Вторая компонента значительно увеличила свой вклад до 67,95%, что в сумме с первой компонентой объяснило 98,89% всей дисперсии. Третья компонента имела минимальный вклад (1,11%), что свидетельствует о ее малой значимости для изменения показателей кадрового потенциала в этот период. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 98,89%, что позволяет заключить, что для анализа кадрового потенциала предприятия металлургической отрасли достаточно учитывать только эти два ключевых компонента (см. таблицу 5.16).

Таблица 5.16 – Распределение дисперсии главных компонент показателей кадрового потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,05	30,93	30,93
2	-0,08	67,95	98,89
3	0,03	1,11	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2020 году результаты анализа кадрового потенциала показали, что первая компонента объяснила 32,26% дисперсии, а вторая компонента составила 66,30%. Это также говорит о том, что вторая компонента продолжала играть важную роль в объяснении кадровых изменений, в то время как третья компонента объясняла лишь 1,44% изменчивости. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 98,56%, что подтверждает доминирование этих факторов в динамике изменений кадрового потенциала (см. таблицу 5.17).

Таблица 5.17 – Распределение дисперсии главных компонент показателей кадрового потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	7,61	32,26	32,26
2	-6,42	66,30	98,56
3	-0,19	1,44	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2021 года результаты показали, что первая компонента по-прежнему объясняла наибольшую часть дисперсии (28,73%), а вторая компонента составила 64,82%. Третья компонента вносила всего 6,45% в общую дисперсию, подтверждая свою малую значимость. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 93,55%, что снова демонстрирует важность этих факторов для анализа кадрового потенциала. Эти результаты указывают на стабильность структуры кадрового потенциала в металлургической отрасли (см. таблицу 5.18).

Таблица 5.18 – Вклад в дисперсию главных компонент показателей кадрового потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,04	28,73	28,73
2	-0,07	64,82	93,55
3	0,03	6,45	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ 2022 года показал, что первая компонента продолжала оставаться наиболее значимой, объясняя 27,03% дисперсии, а вторая компонента увеличила свой вклад до 70,35%. Вклад третьей компоненты был минимальным (2,63%). Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 97,37%, что подчеркивает высокую значимость этих факторов. Сравнительно с предыдущими годами результаты показывают тенденцию к увеличению вклада второй компоненты, что свидетельствует о том, что дополнительные факторы, такие как улучшение производительности труда и оптимизация расходов, становятся все более важными для кадровой политики в отрасли (см. таблицу 5.19).

Таблица 5.19 – Распределение дисперсии главных компонент показателей кадрового потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,06	27,03	27,03
2	-0,02	70,35	97,37
3	-0,04	2,63	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2023 году анализ показал, что первая компонента индекса кадрового потенциала объяснила 27,78% дисперсии, а вторая компонента продолжила доминировать, составив 69,86%. Вклад третьей компоненты составил 2,36%. Кумулятивный вклад первых двух компонент был высок – 97,64%, что подтверждает их ведущую роль в изменениях кадрового потенциала. Эти результаты свидетельствуют о том, что кадровая структура предприятий металлургической отрасли продолжала оставаться стабильной, при этом второстепенные факторы, такие как повышение производительности труда, приобрели еще большее значение (см. таблицу 5.20).

Таблица 5.20 – Распределение дисперсии главных компонент показателей кадрового потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,02	27,78	27,78
2	-0,05	69,86	97,64
3	0,03	2,36	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для оценки производственно-технологического потенциала предприятий металлургической промышленности России за период с 2019 по 2023 годы был проведен анализ с использованием метода главных компонент (РСА), который позволил выявить наиболее значимые факторы, влияющие на производственные и технологические процессы в отрасли, такие как объем производства стали, производство продукции и объемы продаж стали (таблицы 5.21–5.25).

В 2019 году первая компонента объясняла 98,88% общей дисперсии, что указывает на ее доминирующее значение в производственном процессе. Вклад второй компоненты в дисперсию составил 0,76%, а третья компонента объяснила

0,36% изменчивости. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,64%, что подтверждает значительную роль первых двух факторов в объяснении изменений в производственном и технологическом потенциале металлургической отрасли в 2019 году (см. таблицу 5.21).

Таблица 5.21 – Распределение дисперсии главных компонент показателей производственно-технологического потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,11	98,88	98,88
2	-0,09	0,76	99,64
3	-0,02	0,36	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

Анализ данных за 2020 год показал, что первая компонента продолжала доминировать, объяснив 99,13% общей дисперсии. Вторая компонента внесла 0,44% в объяснение дисперсии, в то время как третья компонента составила 0,03%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,57%, что снова подтверждает преобладание первых двух факторов в формировании производственно-технологического потенциала в 2020 году (см. таблицу 5.22).

Таблица 5.22 – Распределение дисперсии главных компонент показателей производственно-технологического потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,17	99,13	99,13
2	-0,15	0,44	99,57
3	-0,02	0,03	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2021 году первая компонента продолжила объяснять большинство изменений в данных, составив 98,95% дисперсии, а вклад второй компоненты составил 0,81%. Третья компонента внесла 0,24% в дисперсию. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,76%, что подтверждает продолжение доминирования этих факторов в изменениях технологического потенциала в 2021 году (см. таблицу 5.23).

Таблица 5.23 – Распределение дисперсии главных компонент показателей производственно-технологического потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,17	98,95	98,95
2	-0,17	0,81	99,76
3	0	0,24	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2022 году первая компонента также оставалась наиболее значимой, объяснив 98,53% дисперсии. Вклад второй компоненты составил 1,17%, а третья компонента – 0,30%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,70%, что подтверждает устойчивую важность этих факторов в анализируемом периоде (см. таблицу 5.24).

Таблица 5.24 – Распределение дисперсии главных компонент показателей производственно-технологического потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,16	98,53	98,53
2	-0,16	1,17	99,70
3	0	0,30	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2023 года результаты показали, что первая компонента продолжала занимать лидирующую позицию, объяснив 98,60% дисперсии. Вторая компонента добавила 0,96%, а третья компонента составила 0,45%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 99,55%, что продолжает подтверждать высокую значимость этих факторов для анализа изменений в производственно-технологическом потенциале металлургических предприятий (см. таблицу 5.25).

Таблица 5.25 – Распределение дисперсии главных компонент показателей производственно-технологического потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,19	98,60	98,60
2	-0,18	0,96	99,55
3	-0,01	0,45	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Формирование индекса экологического потенциала предприятий металлургической промышленности требует комплексного анализа различных экологических факторов, таких как выбросы загрязняющих веществ, потребление энергии и воды, а также эффективность управления экологическими рисками.

Анализ показателей экологического потенциала предприятий металлургической промышленности России, проведенный с использованием метода главных компонент (РСА) за период с 2019 по 2023 годы, демонстрирует динамику экологической эффективности и изменений в экологических показателях в этом секторе (таблицы 5.26–5.30). Каждое из значений факторов, анализируемых в рамках РСА, предоставляет информацию о том, как различные аспекты экологической деятельности, такие как выбросы загрязняющих веществ, потребление энергии и воды, а также управление экологическими рисками, влияют на общую экологическую картину предприятий.

В 2019 году анализ показал, что первая главная компонента объясняет 58,66% общей дисперсии данных. Это указывает на то, что данный фактор является доминирующим в определении изменений в экологическом потенциале. Вклад второй компоненты в дисперсию составил 9,71%, что также свидетельствует о значимой роли этого показателя. Третья компонента добавила 31,33% в общий вклад, а четвертая компонента, хотя и значительно менее значимая, составила лишь 0,29%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 68,38%, а трех – 99,71%, что подтверждает важность первых двух факторов для анализа изменений экологических показателей в 2019 году (см. таблицу 5.26).

Таблица 5.26 – Распределение дисперсии главных компонент показателей экологического потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,46	58,66	58,66
2	1,11	9,71	68,38
3	-0,45	31,33	99,71
4	-0,12	0,29	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования

В 2020 году наблюдается рост вклада первой компоненты, которая объяснила уже 71,07% дисперсии. Вторая компонента также увеличила свой вклад до 7,74%, что в сумме с первой компонентой дает 78,81% объясненной дисперсии. Вклад третьей компоненты составил 21,12%, а четвертой – минимальные 0,07%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 99,93%, что подтверждает значительную роль первых компонентов в объяснении изменений экологических показателей на предприятиях металлургической отрасли в 2020 году (см. таблицу 5.27).

Таблица 5.27 – Распределение дисперсии главных компонент показателей экологического потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,51	71,07	71,07
2	1,08	7,74	78,81
3	-0,47	21,12	99,93
4	-0,12	0,07	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ за 2021 год показал, что первая компонента продолжала оставаться наиболее важной, объясняя 62,28% дисперсии. Вторая компонента объяснила 7,50%, что в сумме с первой компонентой дало 69,79%. Третья компонента составила 29,59%, а четвертая – 0,62%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 99,38%, что подтверждает устойчивость значимости первых двух компонент, а также подчеркивает второстепенную роль остальных факторов (см. таблицу 5.28).

Таблица 5.28 – Распределение дисперсии главных компонент показателей экологического потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,38	62,28	62,28
2	0,86	7,50	69,79
3	-0,36	29,59	99,38
4	0,12	0,62	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2022 году первая компонента продолжала доминировать, объясняя 59,99% общей дисперсии. Вторая компонента оставалась на уровне 8,42%, а третья компонента – на уровне 31,34%. Четвертая компонента все еще вносила минимальный вклад – 0,24%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 99,76%, что подтверждает высокую объясняющую способность первых двух факторов, а также их значимость для анализа экологического потенциала (см. таблицу 5.29).

Таблица 5.29 – Распределение дисперсии главных компонент показателей экологического потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,37	59,99	59,99
2	0,87	8,42	68,41
3	-0,35	31,34	99,76
4	0,11	0,24	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2023 году наблюдается схожая картина: первая компонента объясняет 58,81% дисперсии, вторая – 8,23%, а третья – 32,68%. Вклад четвертой компоненты составил 0,28%. Кумулятивный вклад первых трех компонент в 2023 году составил 99,72%, что снова подтверждает высокую роль первых двух компонент и стабильность их вклада в индекс экологического потенциала (см. таблицу 5.30).

Таблица 5.30 – Распределение дисперсии главных компонент показателей экологического потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,29	58,81	58,81
2	0,98	8,23	67,04
3	-0,39	32,68	99,72
4	0,12	0,28	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ показателей экологического потенциала за период с 2019 по 2023 годы позволяет сделать несколько важных выводов о динамике экологической ситуации в металлургической отрасли. В течение этих лет, несмотря на изменения в абсолютных значениях показателей, главные компоненты

оставались стабильными, а их вклад в дисперсию данных был высок. Это говорит о том, что экологические факторы, такие как выбросы загрязняющих веществ, потребление воды и энергии, играют решающую роль в изменении экологического потенциала предприятий.

Графическая визуализация полученных индексов шести видов потенциалов рассматриваемых предприятий металлургической промышленности с 2019–2023 года представлена в приложении Г.

В пятилетнем периоде наибольшую устойчивость в управленческой эффективности продемонстрировали ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь». ПАО «НЛМК» сохранял значения индекса «Организационно-управленческий потенциал» на уровне 0,23-0,32, что указывает на зрелую систему управления, прозрачные процессы и эффективную регламентацию. Особенно выделяется ПАО «Северсталь» с ростом индекса в 2022 году до 0,81, что может быть результатом корпоративной реструктуризации или цифровой трансформации. ПАО «ММК» также демонстрирует стабильные положительные значения, тогда как ПАО «Мечел» и ПАО «ТМК» характеризуются волатильностью: у ПАО «ТМК» в 2022 году индекс опускается до -0,20, что сигнализирует о кризисе управленческой модели. ПАО «Ашинский метзавод», несмотря на ограниченные ресурсы, показывает положительную динамику, продвигаясь от 0,11 до 0,22. Таким образом, лидерами являются ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», а аутсайдерами – ПАО «ТМК» и ПАО «Мечел».

Высокие финансовые показатели демонстрируют ПАО «Северсталь», ПАО «ММК», ПАО «НЛМК» и ПАО «ТМК». В 2020 году все эти компании превысили индекс финансово-экономического потенциала 1,4, что говорит о высокой ликвидности, рентабельности и эффективности капитала. На протяжении всего периода ПАО «ММК» остается стабильным финансовым лидером. В отличие от них, ПАО «Ашинский метзавод» показывает критическую нестабильность: от 1,06 в 2020 году до отрицательных значений в 2021 году (-0,17), что делает его самым слабым участником по данному критерию. ПАО «Мечел» сохраняет умеренные, но положительные значения, демонстрируя некоторую стабильность, но не доходя до

уровня отраслевых лидеров. Таким образом, рейтинговые лидеры по финансовому потенциалу – ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ПАО «НЛМК», аутсайдер – ПАО «Ашинский метзавод».

Высокий кадровый потенциал наблюдается у ПАО «Мечел», ПАО «НЛМК» и ПАО «ТМК», где индекс варьируется в пределах 0,75-0,91. Это указывает на высокую производительность труда, профессионализм персонала и стабильную социальную политику. ПАО «Северсталь» показывает положительные значения в большинстве лет, за исключением резких спадов в 2020 году, что может быть связано с пандемией и изменениями в численности персонала. ПАО «Ашинский метзавод» сохраняет уверенные позиции (около 0,66-0,76), несмотря на ограниченный масштаб бизнеса, что указывает на высокую эффективность локального персонала. Таким образом, лидерами рейтинга выступают ПАО «Мечел» и ПАО «НЛМК».

Инвестиционно-инновационный потенциал выявляет наиболее четкую дифференциацию компаний. ПАО «Ашинский метзавод», ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» к 2023 году демонстрируют заметный рост: индексы достигают 0,30-0,37, что говорит об активизации капитальных вложений и научно-исследовательских разработок. В противоположность этому, ПАО «Мечел» демонстрирует затяжной спад: от -0,22 до -0,49, свидетельствуя о системной нехватке инвестиций. У ПАО «Северсталь» индекс в ранние годы также отрицателен, но в конце периода наметилось улучшение. ПАО «ММК» и ПАО «ТМК» удерживают умеренно положительные значения, не демонстрируя прорывов, но и не проваливаясь в негативную зону. Таким образом, лидеры в 2023 году – ПАО «НЛМК» и ПАО «Ашинский метзавод», аутсайдер – ПАО «Мечел».

ПАО «ТМК» и ПАО «Северсталь» уверенно занимают лидирующие позиции по индексам производственно-технологического потенциала. ПАО «ТМК» демонстрирует стабильно высокие значения (0,91-1,00), что говорит о полной загрузке производственных мощностей, высокой производительности и технологической дисциплине. У ПАО «Северсталь» резкое снижение индекса

до -0,85 в 2022 году, вероятно, связанное с модернизацией или внешними ограничениями, сменяется восстановлением в 2023 году. ПАО «ММК», ПАО «Мечел» и ПАО «НЛМК» демонстрируют устойчивые средние значения (0,30-0,65), указывая на надежную, но не передовую производственную структуру. ПАО «Ашинский метзавод» остается аутсайдером с отрицательными значениями на всем протяжении периода, что указывает на критическую потребность в технологическом обновлении. Таким образом, лидеры – ПАО «ТМК» и ПАО «ММК», аутсайдер – ПАО «Ашинский метзавод».

Экологические результаты предприятий наиболее слабы и противоречивы. ПАО «НЛМК» и ПАО «Мечел» в отдельные годы (2020–2022) демонстрируют положительную динамику, с пиком у ПАО «Мечел» в 2022 году (0,39), что может отражать краткосрочные инвестиции в экологические мероприятия. ПАО «Северсталь» и ПАО «ТМК» стабильно удерживают отрицательные значения индексов, доходя до -0,32 и -0,15 соответственно, что свидетельствует об отсутствии приоритетности в вопросах устойчивого развития. ПАО «ММК» и ПАО «Ашинский метзавод» демонстрируют смешанные результаты, оставаясь вблизи нуля. В итоге, лидеры – ПАО «НЛМК» и ПАО «Мечел», аутсайдеры – ПАО «Северсталь» и ПАО «ТМК».

5.2 Реализация методики статистического анализа показателей стратегического потенциала с применением метода анализа главных компонент

Настоящий раздел диссертации как один из основных результатов диссертации частично опубликован в рецензируемом научном издании согласно пункту 11 Положения о присуждении ученых степеней Постановления

Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» в статье: «Методика формирования индексов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности» [60].

Разработанная методика оценки стратегического потенциала базируется на интеграции количественного подхода с применением метода анализа главных компонент и системы индексной диагностики, охватывающей шесть ключевых направлений развития предприятия.

Для формирования индекса стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России за период с 2019 по 2023 годы был использован метод главных компонент (РСА) (таблицы 5.31–5.35). Эмпирическая оценка компонент индекса стратегического потенциала основана на рассмотренных и рассчитанных выше частных обобщающих индексах производственно-технологического, финансово-экономического, организационно-управленческого, кадрового, инвестиционно-инновационного и экологического потенциалов за 5 лет, с 2019 по 2023 год.

В 2019 году первая компонента объясняла 80,40% общей дисперсии, что указывает на доминирующее влияние главных факторов, связанных с организационным управлением и экономической устойчивостью предприятий. Вклад второй компоненты составил 5,43%, а третья компонента добавила 10,20%.

Таблица 5.31 – Распределение дисперсии главных компонент показателей стратегического потенциала предприятий в 2019 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,49	80,40	80,40
2	0,44	5,43	85,83
3	0,35	10,20	96,03
4	-0,06	1,68	97,71
5	-0,37	2,11	99,82
6	0,15	0,18	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Кумулятивный вклад первых трех компонент в индекс стратегического потенциала составил 96,03%, что подтверждает значимость этих факторов для

анализа стратегического потенциала. Остальные компоненты имели минимальный вклад, что свидетельствует о концентрированности стратегического потенциала в нескольких основных направлениях (см. таблицу 5.31).

Анализ 2020 года показал, что первая компонента продолжала доминировать, объясняя 81,63% дисперсии. Вклад второй компоненты составил лишь 2,28%, а третья компонента объяснила 8,90%. Кумулятивный вклад в дисперсию первых трех компонент составил 92,81% для формирования стратегического потенциала предприятий. Вклад других компонент оставался минимальным, что подтверждает стабильность ключевых факторов, влияющих на стратегическое развитие (см. таблицу 5.32).

Таблица 5.32 – Распределение дисперсии главных компонент показателей стратегического потенциала предприятий в 2020 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,92	81,63	81,63
2	0,58	2,28	83,91
3	0,07	8,90	92,81
4	-0,32	3,79	96,60
5	-0,25	3,33	99,93
6	0	0,07	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Для 2021 года первая компонента продолжала оставаться наиболее значимой, объяснив 81,94% дисперсии. Вторая компонента снизила свой вклад до 0,02%, а третья компонента составила 11,26%. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 93,22%, что подтверждает стабильность значимости этих факторов в стратегическом анализе (см. таблицу 5.33).

Таблица 5.33 – Распределение дисперсии главных компонент показателей стратегического потенциала предприятий в 2021 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	0,09	81,94	81,94
2	-0,39	0,02	81,96
3	0,54	11,26	93,22
4	0,80	0,37	93,59
5	0,01	4,72	98,30
6	-0,05	1,68	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Анализ 2022 года показал, что первая компонента объяснила только 18,05% дисперсии, в то время как вторая компонента – 41,17%. Третья компонента объяснила 24,32%, а остальные компоненты объясняли менее 10 процентов дисперсии и имели собственные значения менее 1. Кумулятивный вклад первых трех компонент составил 83,53%, что указывает на концентрацию стратегического потенциала в нескольких основных аспектах, таких как организационное управление и инновационные процессы (см. таблицу 5.34).

Таблица 5.34 – Распределение дисперсии главных компонент показателей стратегического потенциала предприятий в 2022 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	1,40	18,05	18,05
2	0,01	41,17	59,21
3	-0,30	24,32	83,53
4	0,42	6,82	90,34
5	-0,48	7,35	97,70
6	-0,05	2,30	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

В 2023 году результаты анализа главных компонент показали, что первая компонента индекса стратегического потенциала объяснила 74,64% дисперсии, а вторая компонента составила 6,11%. Третья компонента объяснила только 4,20%, в то время как компоненты 4,5,6, также показали вклад менее 10%. Кумулятивный вклад первых двух компонент составил 80,74%, что снова подтверждает высокую концентрацию стратегического потенциала в ограниченном числе факторов – потенциалах предприятий (см. таблицу 5.35).

Таблица 5.35 – Распределение дисперсии главных компонент показателей стратегического потенциала предприятий в 2023 г.

Компонента	Веса компонент	Вклад в дисперсию (%)	Кумулятивный вклад (%)
1	-1,91	74,64	74,64
2	-0,85	6,11	80,74
3	0,48	4,20	84,94
4	2,24	5,99	90,93
5	0,49	8,76	99,69
6	0,55	0,31	100

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

На основе рассчитанных индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России осуществляется рейтинговая классификация и анализ межгодовой и межфирменной динамики (таблица 5.36).

Таблица 5.36 – Индексы стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России

Компания	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
ПАО «ММК»	0,29	0,15	-0,21	-0,29	-0,08
ПАО «НЛМК»	0,25	0,29	-0,06	-0,38	-0,17
ПАО «ТМК»	0,20	0,08	0,09	-0,44	-0,29
ПАО «Мечел»	0,28	0,04	-0,15	-0,48	-0,42
ПАО «Ашинский метзавод»	0,01	0,37	0,23	-0,06	0,10
ПАО «Северсталь»	0,31	0,20	-0,09	0,14	-0,15

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Предложенная методика формирования индекса стратегического потенциала с использованием анализа главных компонент позволяет определить ключевые показатели эффективности предприятия в металлургической отрасли. Важно отметить, что все индексы находятся в диапазоне $[-1;1]$, что отражает нормализованные значения данных факторов. Несмотря на то что индексы могут быть отрицательными, их сравнение должно проводиться внутри отрасли, поскольку такая интерпретация позволяет более точно оценить положение предприятия относительно конкурентов и выявить внутренние слабые и сильные стороны. Важно понимать, что отрицательные значения индексов не обязательно указывают на негативные результаты, а, скорее, служат индикаторами для более глубокого анализа ситуации в рамках отраслевых стандартов и тенденций.

Сравнительную стабильность показало ПАО «ММК», чей индекс, несмотря на последовательное снижение с 0,29 (2019) до -0,08 (2023), остается ближе к нулевой границе и указывает на сохраняющуюся сбалансированность внутренних ресурсов и стратегических приоритетов.

ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», начавшие период с достаточно высоких значений (более 0,25), уже к 2023 году демонстрируют устойчивое снижение до -0,17 и -0,15 соответственно. Такая динамика может быть интерпретирована как результат отставания темпов стратегической трансформации по сравнению с

изменениями внешней среды, в том числе усложнения логистических цепочек, санкционного давления и технологических вызовов. В частности, у ПАО «НЛМК» на фоне высоких значений индексов производственно-технологического и кадрового потенциалов проявились низкие значения инвестиционно-инновационной и экологической компонент, что отражается на общем индексе.

К числу наиболее уязвимых предприятий по итогам пятилетнего периода следует отнести компании ПАО «Мечел» и ПАО «ТМК». В случае с ПАО «Мечел» снижение индекса с 0,28 до -0,42 указывает на недостаточную состоятельность в области стратегического реагирования, особенно в инвестиционно-инновационном и экологическом направлениях. У ПАО «ТМК» индекс снижается до -0,29, что фиксирует не столько резкий, сколько устойчивый тренд истощения стратегических возможностей.

Отдельного внимания заслуживает ПАО «Ашинский метзавод» металлургический завод, чьи показатели демонстрируют выраженную нестабильность, но при этом в 2023 году сохраняют положительное значение (0,10). Индекс компании варьировался от минимального уровня 0,01 в 2019 году до пикового значения 0,37 в 2020 году, затем вновь снижался в 2021 году, и, несмотря на общеотраслевое падение, частично восстановился к 2023 году. Это может свидетельствовать о наличии гибкой управленческой структуры и высокой чувствительности к стратегическим корректировкам, несмотря на ограниченные исходные ресурсы.

Таким образом, полученные результаты подтверждают наличие отраслевого кризиса стратегического потенциала в 2021–2023 годах, сопровождающегося общей тенденцией к снижению интегральных значений по всем компаниям. Вместе с тем межфирменный анализ выявляет неоднородность стратегического потенциала: одни компании демонстрируют признаки устойчивости или частичного восстановления (ПАО «Ашинский метзавод»), тогда как другие – системное стратегическое истощение (ПАО «Мечел», ПАО «ТМК»). Это свидетельствует о необходимости реформирования отраслевых стратегий в сторону приоритетов производственно-технологической модернизации и

экологической устойчивости, наиболее чувствительных к институциональной и макроэкономической турбулентности компонент стратегического потенциала.

Далее в ходе эмпирического анализа были рассчитаны коэффициенты корреляции между значениями индекса стратегического потенциала и темпами роста ключевых финансовых показателей – EBITDA, стоимости предприятия (EV) и рыночной капитализации (Capitalization) – с лагом в один период для рассматриваемых в исследовании ведущих российских металлургических компаний: ПАО «Северсталь», ПАО «ТМК», ПАО «НЛМК», ПАО «ММК», ПАО «Мечел» и ПАО «Ашинский металлургический завод». Лаговая корреляция между значением индекса стратегического потенциала и темпами роста EBITDA, рыночной капитализации (Capitalization) и стоимости предприятия (EV) через два года позволяет оценить, насколько индекс предсказывает будущую динамику и, следовательно, устойчивую конкурентоспособность компании. Индекс стратегического потенциала демонстрирует высокую прогностическую силу в отношении темпов роста рыночной капитализации и стоимости предприятия через два года у большинства компаний, что указывает на его применимость как индикатора долгосрочной конкурентоспособности. Компании с высоким значением индекса в базовом году показывают значительный рост стоимости и операционной эффективности в будущем.

Коэффициенты корреляции между значениями индекса стратегического потенциала и темпами роста ключевых финансовых показателей – EBITDA, стоимости предприятия (EV) и рыночной капитализации – с лагом в один период (2 года) для ряда ведущих российских металлургических компаний: ПАО «Северсталь», ПАО «ТМК», ПАО «НЛМК», ПАО «ММК», ПАО «Мечел» и ПАО «Ашинский металлургический завод» представлены в таблице 5.37.

Наиболее значимые положительные корреляции выявлены у ПАО «Северсталь», ПАО «ММК», ПАО «НЛМК» и ПАО «Ашинский металлургический завод», где значения коэффициентов превышают 0,8-0,9, что по эконометрическим стандартам свидетельствует о наличии сильной связи между стратегическим потенциалом и будущей финансовой результативностью. Следует подчеркнуть,

что лаг в один период логически оправдан, так как стратегические решения реализуются и дают результат не мгновенно, а в среднем в течение 1-2 лет. В то же время наблюдаются и отрицательные корреляции (у ПАО «ТМК»), что может быть следствием сбоя в реализации стратегии, структурных изменений в отрасли, либо влияния внешних факторов. У ПАО «Мечел» корреляции слабые, что может быть обусловлено высокой волатильностью или непоследовательной стратегией. Таким образом, наличие устойчивых положительных корреляций в ряде случаев с коэффициентами $> 0,9$ свидетельствует об эконометрически значимом и практически релевантном свойстве индекса – быть ранним сигналом долгосрочной конкурентоспособности предприятия металлургической промышленности.

Таблица 5.37 – Коэффициенты корреляции между значениями индекса стратегического потенциала и темпами роста ключевых финансовых показателей компаний

Компания	Темпы роста EBITDA	Темпы роста EV	Темпы роста капитализации
ПАО «Северсталь»	0,47	0,10	0,10
ПАО «ТМК»	-0,80	-0,70	-0,95
ПАО «ММК»	0,40	0,99	0,98
ПАО «Мечел»	-0,15	0,23	0,23
ПАО «НЛМК»	0,90	0,85	0,84
ПАО «Ашинский метзавод»	0,75	0,54	0,81
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.			

Результаты анализа позволяют утверждать, что разработанный индекс стратегического потенциала может рассматриваться как полноценная статистическая модель, обладающая признаками опережающего индикатора устойчивости и долгосрочной конкурентоспособности. Высокая корреляция между значениями индекса и последующим ростом стоимости компании у ряда предприятий металлургической отрасли подтверждает его прикладную ценность для стратегической диагностики, комплексного экономического анализа и оценки реализации корпоративной стратегии.

Таким образом, индекс стратегического потенциала может быть рекомендован для включения в систему мониторинга долгосрочной конкурентоспособности и стратегической устойчивости компаний.

5.3 Прогнозирование динамики индексов стратегического потенциала металлургических компаний России на основе сценарного анализа

Проведем сравнительный анализ прогнозных значений ключевых обобщающих индексов стратегического потенциала шести ведущих металлургических компаний России (ПАО «Ашинский метзавод», ПАО «Мечел», ПАО «ММК», ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь», ПАО «ТМК») по трем сценариям: умеренное развитие, акцент на инновации и экологический кризис. Исследование основано на прогнозировании шести частных обобщающих индексов стратегического потенциала: организационно-управленческий, финансово-экономический, кадровый, инвестиционно-инновационный, производственно-технологический и экологический.

Предлагаемая методика включает в себя использование для прогнозирования временных рядов метод ARIMA в совокупности с методом анализа главных компонент для формирования индексов и экспертное сценарное моделирование на основе теории нечетких когнитивных карт. Построенные по трем сценариям развития прогнозы расширяют возможности комплексного экономического и статистического анализа СП, позволяют выявить наилучшие траектории развития компаний и слабые звенья стратегического потенциала. Сценарный подход в прогнозировании стратегического потенциала позволяет учитывать многофакторные внешние изменения (технологические, экологические, институциональные), разрабатывать гибкие антикризисные и адаптационные стратегии, а также повысить обоснованность инвестиционных решений и ресурсного планирования.

Прогноз индексов стратегического потенциала отобранных металлургических предприятий в каждом из трех сценариев будет реализовываться по-разному для каждого частного индекса стратегического потенциала.

Рассмотрим основные аспекты сценарного развития.

1. Организационно-управленческий потенциал.

Умеренное развитие: Незначительные улучшения за счет цифровизации, повышения прозрачности управления.

Акцент на инновации: Существенный рост за счет внедрения agile-структур, проектного управления, цифровых платформ.

Экологический кризис: Снижение – ресурсы уходят на антикризисное реагирование, управленческая структура перегружена.

2. Финансово-экономический потенциал.

Умеренное развитие: Стабильность, рост за счет оптимизации затрат.

Акцент на инновации: Рост за счет инвестиционных притоков, господдержки, роста добавленной стоимости продукции.

Экологический кризис: Падение прибыли, штрафы, снижение инвестиционной привлекательности.

3. Кадровый потенциал.

Умеренное развитие: Сохраняется текущее состояние с плавным ростом компетенций.

Акцент на инновации: Сильный рост – переквалификация кадров, привлечение ИТ-специалистов, R&D.

Экологический кризис: Отток кадров, демотивация, рост социальных рисков.

4. Инвестиционно-инновационный потенциал.

Умеренное развитие: Локальные проекты без высокого риска.

Акцент на инновации: Всплеск инвестиций в R&D, зеленые технологии, автоматизацию.

Экологический кризис: Резкое снижение инвестиционной активности, приостановка НИОКР.

5. Производственно-технологический потенциал.

Умеренное развитие: Модернизация частичная, обновление оборудования.

Акцент на инновации: Интенсивная автоматизация, роботизация, цифровые двойники.

Экологический кризис: Вынужденные остановки производства, затраты на переоборудование под экологические нормы.

6. Экологический потенциал.

Умеренное развитие: Плавное соответствие стандартам.

Акцент на инновации: Устойчивое развитие, ESG-подходы, замкнутые циклы производства.

Экологический кризис: Резкое падение – выбросы, загрязнения, протесты, ущерб окружающей среде.

На основе представленных в приложении Д частных индексов стратегического потенциала по сценариям 1 (умеренный), 2 (инновационный) и 3 (экологический кризис) за период 2026–2030, можно провести оценку эффективности каждого сценария по среднему индексу по компаниям и по динамике рангов.

Частота лидирования компаний (1–3 ранги) представлена в таблице 5.38.

Таблица 5.38 – Результаты сценарного анализа предприятий металлургической промышленности России по частоте лидирования компаний

Сценарий	Компаний в ТОП-3 чаще всего (сумма за 5 лет)
Сценарий 1	ТМК (5), ПАО «Мечел» (5), ПАО «ММК» (4)
Сценарий 2	ТМК (5), ПАО «Мечел» (5), ПАО «ММК» (4)
Сценарий 3	ТМК (5), ПАО «Мечел» (5), ПАО «ММК» (5)

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

ТМК и ПАО «Мечел» лидируют во всех сценариях, но только в сценарии 3 все три компании стабильно входят в тройку лучших во всех годах.

Поведение ПАО «Ашинский метзавод» представлено в таблице 5.39.

Таблица 5.39 – Результаты сценарного анализа «отстающих» предприятий металлургической промышленности России

Компания	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
ПАО «Ашинский метзавод»	6 место стабильно	6 место	6 место

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сценарий «Умеренное развитие» отражает продолжение существующих тенденций без значительного ускорения модернизационных процессов. Финансово-экономический индекс остается высоким у большинства компаний металлургической промышленности (1,00-1,21), за исключением ПАО «Мечел» (0,83), что может быть связано с долговой нагрузкой и низкой инвестиционной активностью. Кадровый потенциал стабилен у большинства субъектов (0,83-0,90), однако ПАО «ММК» существенно отстает (0,24), указывая на возможные проблемы с удержанием и развитием кадров. Экологический индекс отрицателен у всех компаний, с минимумом у ПАО «Северсталь» (-0,30), что сигнализирует о вероятных экологических рисках и слабости природоохранных программ при умеренном уровне государственного давления.

Результаты анализа по сценарию «Акцент на инновации» показывают, что в условиях акцента на технологические преобразования, инвестиции в НИОКР и цифровую трансформацию наблюдаются высокие прогнозные значения следующих индексов. Финансово-экономический индекс достигает максимальных значений у ПАО «ММК» (1,33), ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» (по 1,27), отражая высокую степень капитализации и адаптивности компаний к условиям инновационной экономики. Инновационно-инвестиционный индекс положителен практически у всех компаний (0,44-0,51), за исключением ПАО «Мечел» (-0,15), что указывает на его ограниченные инвестиционные ресурсы или консервативную политику развития. Производственно-технологический индекс наиболее высок у ПАО «ТМК» (1,15), что свидетельствует о массовом внедрении современных технологических решений. Экологический индекс, несмотря на общий тренд на устойчивое развитие, демонстрирует разнородность: от положительных значений (ПАО «Мечел» – 0,11) до отрицательных (ПАО «Северсталь» – -0,16), что требует дополнительных корректировок стратегий ESG.

Анализ демонстрирует, что инновационный сценарий обеспечивает более высокие значения по всем индексам стратегического потенциала, за исключением экологического компонента, который остается слабо позитивным или негативным во всех сценариях. Это подчеркивает необходимость интеграции экологических

стратегий даже при переходе к высокотехнологичной модели производства. Сценарий 3 (экологический кризис) демонстрирует наименьшие отрицательные значения интегральных индексов и самую стабильную структуру лидерства – он наиболее устойчивый на среднесрочном горизонте.

Сценарный анализ позволяет утверждать, что стратегия инновационного развития обеспечивает более высокую устойчивость и потенциал роста для большинства металлургических компаний. Однако значительная дифференциация по экологическому и кадровому индексам требует адресных управленческих решений. Наиболее сбалансированный профиль по всем направлениям продемонстрировали ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», тогда как ПАО «Мечел» и ПАО «ТМК» характеризуются разнонаправленными значениями и нуждаются в стратегической трансформации.

Таким образом, первый этап методологии предполагает формирование прогнозных частных обобщающих индексов по шести направлениям с использованием сценарного подхода и метода прогнозирования ARIMA. Второй этап методологии основан на прогнозировании индексов стратегического потенциала компаний на методе анализа главных компонент.

Прогнозируемые индексы стратегического потенциала по компаниям с 2026 по 2030 год в соответствии со сценариями, представленными в таблицах 5.40–5.42.

Компании, показывающие меньшую чувствительность к экологическим угрозам (например, ПАО «НЛМК», ПАО «ММК»), нуждаются в адаптации стратегий с акцентом на снижение эмиссий и циркулярные технологии. ПАО «Ашинский метзавод» завод требует приоритетной поддержки и глубокой трансформации всех компонентов потенциала. При сохранении текущих трендов он останется вне конкурентного поля. Сценарий 2 (Инновационный) демонстрирует наибольшую положительную отдачу по большинству компаний и может рассматриваться как наиболее перспективный с точки зрения стратегического управления. Методика доказала свою эффективность для выявления критически слабых и сильных направлений развития, что подтверждает ее научную и прикладную значимость для стратегического планирования и мониторинга.

Таблица 5.40 – Результаты сценарного анализа предприятий металлургической промышленности России по Сценарию 1

Ранг	Компания	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
1	ПАО «ТМК»	-0,28	-0,26	0,09	-0,26	-0,27
2	ПАО «Мечел»	-0,20	-0,20	-0,15	-0,20	-0,20
3	ПАО «ММК»	-0,15	-0,14	-0,21	-0,13	-0,15
4	ПАО «Северсталь»	-0,10	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10
5	ПАО «НЛМК»	-0,09	-0,08	-0,06	-0,08	-0,09
6	ПАО «Ашинский метзавод»	0,29	0,28	0,23	0,28	0,30

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 5.41 – Результаты сценарного анализа предприятий металлургической промышленности России по Сценарию 2

Ранг	Компания	2026 год	2027год	2028 год	2029 год	2030 год
1	ПАО «ТМК»	-0,28	-0,28	-0,30	-0,29	-0,30
2	ПАО «Мечел»	-0,20	-0,21	-0,23	-0,23	-0,24
3	ПАО «ММК»	-0,15	-0,16	-0,18	-0,18	-0,18
4	ПАО «Северсталь»	-0,10	-0,12	-0,12	-0,12	-0,13
5	ПАО «НЛМК»	-0,09	-0,10	-0,12	-0,12	-0,13
6	ПАО «Ашинский метзавод»	0,29	0,29	0,30	0,27	0,26

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица 5.42 – Результаты сценарного анализа предприятий металлургической промышленности России по Сценарию 3

Ранг	Компания	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
1	ПАО «ТМК»	-0,28	-0,25	-0,18	-0,15	-0,10
2	ПАО «Мечел»	-0,20	-0,18	-0,13	-0,11	-0,06
3	ПАО «ММК»	-0,15	-0,12	-0,06	-0,02	0,03
4	ПАО «Северсталь»	-0,10	-0,08	-0,03	0,01	0,05
5	ПАО «НЛМК»	-0,09	-0,08	-0,03	0,00	0,05
6	ПАО «Ашинский метзавод»	0,29	0,27	0,24	0,23	0,24

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Сценарий 3 демонстрирует наибольшее влияние на устойчивость компаний и уже к 2028 году выходит на уровень выше остальных сценариев. К 2030 году имеет наилучший интегральный индекс ($\approx -0,03$), что свидетельствует о восстановлении и росте стратегического потенциала даже в условиях экологических вызовов. Общий тренд полученных сценариев представлен в таблице 5.43.

Сценарий 1 остается неустойчивым, несмотря на кратковременное улучшение в 2028 году. Индексы колеблются, но в 2030 году ситуация ухудшается.

Сценарий 2 хоть и направлен на инновации, уступает в темпах роста. Возможная причина – недостаточная поддержка других элементов стратегического потенциала (например, кадрового или экологического).

Таблица 5.43 – Общий тренд сценариев

Сценарий	Тренд (2026–2030)	Характеристика
Сценарий 1: Умеренный импульс	Стабильно низкий с флуктуациями	Колебания без устойчивой траектории роста
Сценарий 2: Инновационный	Слабый рост, остается в «минусе»	Стабильная, но медленная положительная динамика
Сценарий 3: Экологический кризис	Уверенный рост и выход в положительные значения	Единственный сценарий с выходом в устойчивый рост
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.		

Наиболее результативным оказался экстремальный сценарий, имитирующий условия экологического кризиса, что может указывать на эффективность жестких трансформационных мер, связанных с циркулярной экономикой, технологической адаптацией и экологическим переосмыслением бизнес-моделей. Такой результат подтверждает тезис о том, что именно принципиальные вызовы и внешние ограничения могут служить катализатором долгосрочной устойчивости, стимулируя компании к переосмыслению стратегических приоритетов.

Полученные результаты адаптированы для сравнительного сценарного анализа стратегического потенциала. Разработанная интегральная методика прогнозирования стратегического потенциала на основе PCA и ARIMA позволяет: рано выявлять дисбалансы в развитии ключевых направлений (организационно-управленческого, финансово-экономического, кадрового, инвестиционно-инновационного, производственно-технологического и экологического), обоснованно формировать долгосрочные стратегии развития предприятий с учетом сценариев внешней среды (акцент на инновации, экологический кризис, умеренный импульс).

Результаты могут быть использованы органами государственной власти (Минпромторг, Минэкономразвития, региональные администрации) для ранжирования предприятий по уровню устойчивости, определения приоритетов при распределении государственной поддержки (субсидии, налоговые стимулы),

мониторинга эффективности индустриальных и ESG-программ, в разработке стратегий импортозамещения, модернизации и «зеленого» перехода металлургии.

Исследование дает количественную базу для оценки эффективности внедрения циркулярных практик (ресурсосбережение, вторичное сырье, безотходные технологии), оценки влияния инициатив по достижению углеродной нейтральности (Net Zero) на стратегический потенциал и включение экологических факторов в стратегическое планирование.

Разработанный подход может быть адаптирован под другие отрасли промышленности (нефтехимия, машиностроение), использован для оценки кластеров, регионов, транснациональных групп компаний, а также дополнен ESG-метриками, цифровыми данными, экспертными оценками, расширяя возможности для цифровых двойников предприятий.

Практическое значение исследования заключается в создании инструментария для количественной и сценарной оценки стратегического потенциала металлургических предприятий, позволяющего принимать обоснованные управленческие, инвестиционные и регуляторные решения в условиях неопределенности, технологических и экологических вызовов. Представленные в приложении Е результаты сопоставления свидетельствуют о том, что разработанный инструментарий обеспечивает реализацию приоритетов государственной промышленной политики Российской Федерации в части повышения конкурентоспособности металлургической промышленности, развития экспортного потенциала, внедрения экологически ориентированных механизмов управления и совершенствования стратегического планирования отраслевого развития.

Предлагаемые в диссертации методики и методологии, включая применение методологии сценарного анализа, прогнозирование с использованием моделей ARIMA и анализа главных компонент, а также интеграцию экологических и инновационных факторов, в совокупности обеспечивают комплексный эффект на стратегический потенциал металлургических предприятий и нашли отражение в

расчетах прогнозируемых индексов стратегического потенциала. Это способствует более точному экономического и статистическому анализу деятельности предприятий металлургической промышленности в условиях неопределенности и трансформации внешней среды. Все мероприятия направлены на оптимизацию стратегического планирования и усиление позиций предприятий в условиях технологических и экологических вызовов. Важной частью предложенной методологии является внедрение сбалансированной системы показателей, которая позволяет интегрировать ключевые показатели устойчивого развития в стратегическое управление. Включение принципов циркулярной экономики в систему показателей позволяет предприятиям не только снижать экологические риски, но и повышать свою ресурсную эффективность, минимизируя отходы и максимизируя повторное использование ресурсов. Эти подходы создают основу для долгосрочного устойчивого развития металлургических предприятий и эффективной адаптации к глобальным изменениям.

Выводы по главе 5

1. На основе индексов стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России проведена рейтинговая классификация и анализ динамики. Сравнимую стабильность показало ПАО «ММК», чей индекс снизился с 0,29 (2019) до -0,08 (2023), но остался близким к нулевой границе. ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», начавшие период с высоких значений, к 2023 году показали устойчивое снижение до -0,17 и -0,15 соответственно, что может свидетельствовать об отставании темпов стратегической трансформации от изменений внешней среды, включая санкции и технологические вызовы. У ПАО «НЛМК» низкие значения инвестиционно-инновационной и экологической компонент также повлияли на интегральный обобщающий индекс.

2. К числу наиболее уязвимых предприятий по итогам пятилетнего периода следует отнести компании ПАО «Мечел» и ПАО «ТМК». В случае с ПАО «Мечел» снижение индекса с 0,28 до -0,42 указывает на недостаточную состоятельность в

области стратегического реагирования, особенно в инвестиционно-инновационном и экологическом направлениях. У ПАО «ТМК» индекс снижается до -0,29, что фиксирует не столько резкий, сколько устойчивый тренд истощения стратегических возможностей.

3. Отдельного внимания заслуживает ПАО «Ашинский метзавод», чьи показатели демонстрируют нестабильность, но в 2023 году сохраняют положительное значение (0,10). Индекс компании варьировался от 0,01 в 2019 году до 0,37 в 2020 году, затем снизился, но частично восстановился к 2023 году. Это может свидетельствовать о гибкой управленческой структуре и высокой чувствительности к стратегическим корректировкам. Результаты подтверждают наличие отраслевого кризиса стратегического потенциала в 2021–2023 годах с общей тенденцией к снижению значений по всем компаниям. Межфирменный анализ показывает неоднородность: одни компании демонстрируют устойчивость или восстановление (ПАО «Ашинский метзавод»), другие – стратегическое истощение (ПАО «Мечел», ПАО «ТМК»). Это указывает на необходимость реформирования отраслевых стратегий с акцентом на производственно-технологическую модернизацию и экологическую устойчивость.

4. На основе рассчитанных индексов стратегического потенциала по трем сценариям – «умеренный», «инновационный» и «экологический кризис» – была проведена прогнозная до 2030 года оценка устойчивости и потенциала роста для большинства металлургических компаний. Оценка показала, что стратегия инновационного развития обеспечивает более высокую устойчивость и потенциал роста для большинства металлургических компаний. Однако значительная дифференциация по экологическому и кадровому индексам требует адресных управленческих решений. Наиболее сбалансированный профиль по всем направлениям продемонстрировали ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», тогда как ПАО «Мечел» и ПАО «ТМК» характеризуются разнонаправленными значениями и нуждаются в стратегической трансформации.

5. Результаты анализа позволяют утверждать, что разработанный индекс стратегического потенциала может рассматриваться как полноценная

статистическая модель, обладающая признаками опережающего индикатора устойчивости и долгосрочной конкурентоспособности. Высокая корреляция между значениями индекса и последующим ростом стоимости компании у ряда предприятий металлургической отрасли подтверждает его прикладную ценность для стратегической диагностики, анализа и оценки реализации корпоративной стратегии.

6. Полученные в ходе прогноза индексы стратегического потенциала служат основой для формирования целевых сценариев устойчивого развития предприятий и отрасли в целом. Каждый сценарий описывает желаемое состояние потенциала по шести ключевым направлениям. На основе этих сценариев, с применением подхода бэккастинга, осуществляется обратное проектирование стратегических траекторий, включая разработку расширенной сбалансированной системы показателей, дополненной ESG-компонентами. Индексы стратегического потенциала служат метрологической базой для построения KPI-индикаторов, отражающих как текущую устойчивость, так и целевые ориентиры развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационного исследования разработан концептуально-методологический подход к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России в условиях глобальных экономических, институциональных и экологических трансформаций.

Ключевым теоретическим результатом исследования стало обоснование стратегического потенциала как объекта комплексного экономического и статистического анализа. В отличие от традиционных трактовок, рассматривающих его преимущественно как совокупность ресурсов или конкурентных преимуществ, стратегический потенциал представлен как динамическая, системная и многомерная характеристика предприятия, отражающая его способность к адаптации, устойчивому развитию и обеспечению долгосрочной конкурентоспособности. Разработана структурная типология стратегического потенциала, включающая шесть взаимосвязанных компонентов: финансово-экономический, организационно-управленческий, инвестиционно-инновационный, производственно-технологический, кадровый и экологический.

На методологическом уровне сформирована система универсальных и отраслевых статистических индикаторов, позволяющих перейти от концептуального описания к количественной операционализации стратегического потенциала. Разработана интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности на основе двухуровневого применения метода анализа главных компонент (РСА), обеспечивающая объективное взвешивание показателей и агрегирование системы показателей частных потенциалов в единый интегральный индекс.

Существенным научным результатом является разработка методологического инструментария анализа внешних детерминант развития

отрасли. Проведена кластеризация стран – участников мирового рынка стали и железной руды, что позволило выявить устойчивую структуру глобального металлургического пространства. Установлены причинно-следственные и лаговые взаимосвязи между объемами производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами, включая валовое накопление капитала, а также выявлены закономерности взаимодействия производства стали и экологических показателей (выбросы CO₂, CH₄, N₂O). Полученные результаты позволили интерпретировать динамику производства стали как опережающий индикатор инвестиционной активности и как фактор экологической нагрузки.

Разработана методика прогнозирования ключевых показателей развития мировой и российской сталелитейной промышленности на основе моделей временных рядов ARIMA, адаптированная к условиям отраслевой волатильности и институциональной неопределенности. Прогнозные оценки формируют количественную основу для стратегического планирования и сценарного анализа.

Особое внимание в исследовании уделено экологической трансформации отрасли. Разработана интегративная методика анализа экологических аспектов устойчивого развития предприятий металлургической промышленности с использованием инструментария нечетких когнитивных карт. Введено понятие сценарной чувствительности стратегического потенциала, отражающее степень изменчивости его структурных принципов под воздействием альтернативных внешних условий. Это позволило дифференцировать устойчивые и уязвимые элементы стратегической системы предприятия и повысить обоснованность сценарного анализа.

Методологическим развитием исследования стала интеграция инструментария сбалансированной системы показателей с ESG-перспективой и подходом бэккастинга. Разработана расширенная модель BSC–ESG, обеспечивающая стратегическое планирование «от будущего к настоящему» и формирование поэтапной системы KPI-индикаторов устойчивого развития. Данная модель формирует управляемую траекторию циркулярной трансформации предприятий металлургического комплекса.

На основе эмпирических данных за 2019–2023 гг. проведена апробация интегральной методики оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России, построены прогнозные сценарии на 2026–2030 гг. Полученные индексы стратегического потенциала продемонстрировали прикладную значимость как инструмент стратегической диагностики и количественной оценки устойчивости предприятий в условиях усиления экологических ограничений и институциональных изменений.

Научное приращение исследования заключается в:

- теоретическом обосновании стратегического потенциала как самостоятельной категории комплексного экономического и статистического анализа;
- разработке его структурной типологии;
- формировании системы универсальных и отраслевых индикаторов;
- интеграции методов многомерной статистики, анализа временных рядов и когнитивного моделирования в единую аналитическую систему;
- введении категории сценарной чувствительности;
- создании интегрального статистического индекса стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности.

Методическое приращение состоит в разработке многоуровневого инструментария диагностики, прогнозирования и сценарного моделирования стратегического потенциала, обеспечивающего учет экономических, экологических и институциональных факторов.

Практическая значимость результатов определяется возможностью их применения:

- для стратегической диагностики предприятий металлургической отрасли;
- для разработки управленческих решений в условиях экологической трансформации;
- при формировании отраслевых и региональных программ устойчивого развития;

- при интеграции ESG-факторов в систему стратегического управления промышленными предприятиями.

Таким образом, стратегический потенциал в диссертационной работе представлен не только как агрегированный количественный индекс, но как динамическая и сценарно чувствительная система, отражающая адаптивность предприятий металлургической промышленности к глобальным экономическим, институциональным и экологическим трансформациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Результаты библиографического поиска по словосочетанию «strategic potential of the enterprise». – URL: https://openalex.org/works?filter=title_and_abstract.search:strategic+potential+of+the+enterprise,type:types/article,language:languages/en&group_by=publication_year,open_access.is_oa,primary_topic.id,authorships.institutions.lineage,type,authorships.count (дата обращения: 24.12.2024). – Текст : электронный.
2. Давтян, В. Стратегический потенциал транспортного коридора «Армения–Иран–Индия» / В. Давтян, Н. Маргарян. – Текст : непосредственный // Россия и новые государства Евразии. – 2024. – № 1. – С. 99-112.
3. Назаренко, Т. С. Стратегический потенциал программного и проектного управления в цифровой трансформации отраслей национальной экономики России / Т. С. Назаренко, И. В. Новикова. – Текст : непосредственный // Экономика промышленности. – 2023. – Т. 16. – № 3. – С. 284-298.
4. Сабина, А. Л. Цифровая трансформация региональной экономики как стратегический потенциал ее развития / А. Л. Сабина, С. А. Измалкова, И. В. Сычева. – Текст : непосредственный // Economic Analysis: Theory and Practice. – 2019. – Т. 18. – № 6. – С. 999-1013.
5. Кострюкова, О. Н. Стратегический потенциал развития туристско-рекреационной сферы региона: проблемы и направления изучения / О. Н. Кострюкова. – Текст : непосредственный // Проблемы современной экономики. – 2011. – С. 268-272.
6. Шелкоплясова, Г. С. Стратегический потенциал как основа стратегического выбора региональной социально-экономической системы / Г. С. Шелкоплясова, С. В. Исламова. – Текст : непосредственный // Экономические и гуманитарные исследования регионов. – 2013. – № 1. – С. 111-120.

7. Кириллова, А. Н. Стратегический потенциал и ключевые факторы развития жилищно-коммунального хозяйства / А. Н. Кириллова. – Текст : непосредственный // Международный научно-технический журнал. – 2018. – № 3. – С. 12-16.

8. Баранова, Н. А. Стратегический потенциал агропромышленного комплекса / Н. А. Баранова. – Текст : непосредственный // Проблемы агрорынка. – 2016. – № 4. – С. 23-28.

9. Логинов, Е. Л. Стратегический потенциал субъектов регионального холдинга / Е. Л. Логинов, А. Д. Екутеч, Т. Д. Екутеч. – Текст : непосредственный // Региональная экономика: теория и практика. – 2007. – Т. 15. – № 54. – С. 26-33.

10. Arefieva, O. V. The Strategic Resources of Ensuring the Economic Potential in the Context of Integration-Diversification Development of Enterprise / O. V. Arefieva, S. T. Piletska, D. V. Zabolotna. – Text : direct // Business Inform. – 2020. – Vol. 11, No. 514. – Pp. 398-404.

11. Vovk, O. Enterprise Development Potential Management: A Strategic Approach / O. Vovk, A. Dudik. – Text : direct // Economic Scope. – 2020.

12. Результаты библиографического поиска по словосочетанию «dynamic capabilities». – URL: https://openalex.org/works?page=1&filter=title_and_capabilities,type:types/article&group_by=publication_year,open_access.is_oa,primary_topic.id,authorships.institutions.lineage,type,authorships.countries,language,authorships.author (дата обращения: 24.12.2024). – Текст : электронный.

13. Teece, D. J. Dynamic Capabilities and Strategic Management / D. J. Teece, G. Pisano, A. Shuen. – Text : direct // Knowledge and Strategy. – Elsevier, 1999. – Pp. 77-115.

14. Constance, E. H. Know-how and Asset Complementarity and Dynamic Capability Accumulation: The Case of R&D / E. H. Constance. – Text : direct // Strategic Management Journal. – 1997. – Vol. 18, No. 5.

15. Dynamic Capabilities and Performance: Strategy, Structure and Environment / R. Wilden, S. P. Gudergan, B. B. Nielsen, I. Lings. – Text : direct // Long Range Planning. – 2013. – Vol. 46, No. 1–2. – Pp. 72–96.

16. Barreto, I. Dynamic Capabilities: A Review of Past Research and an Agenda for the Future / I. Barreto. – Text : direct // Journal of Management. – 2010. – Vol. 36.

17. Martins, M. S. Inovações tecnológicas e indústria 4.0 na siderurgia / M. S. Martins, G. M. de Paula, M. dos R. A. Botelho. – Text : direct // Revista Brasileira de Inovação. – 2021. – Vol. 20. – С. e021006.

18. Miles, R. E. Organizations: New Concepts for New Forms / R. E. Miles, C. C. Snow. – Text : direct // California Management Review. – 1986. – Vol. 28, No. 3. – Pp. 62-73.

19. Dynamic marketing capabilities, foreign ownership modes, sub-national locations and the performance of foreign affiliates in developing economies / Z. Konwar, N. Papageorgiadis, M. F. Ahammad [et al.]. – Text : direct // International Marketing Review. – 2017. – Vol. 34, No. 5. – Pp. 674-704.

20. Завгородняя, Ю. В. Управление стратегическим потенциалом предприятия сельского хозяйства : специальность 5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика (экономика агропромышленного комплекса (АПК)) (экономические науки)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Завгородняя Юлия Валентиновна ; Донецкий государственный университет. – Донецк, 2023. – 226 с. – Текст : непосредственный.

21. Климова, П. А. Социально-экономический потенциал предприятия: стратегический аспект / П. А. Климова. – Текст : непосредственный // ГОУ ВПО «ДонАУиГС». Менеджер. – 2018. – Т. 4, № 86. – С. 119-124.

22. Improving the sustainability of metal-producing industries in Russia / A. Rodionov, M. Danilina, S. Blagova [et al.]. – Text : direct // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 217.

23. Misani, N. The Convergence of Corporate Social Responsibility Practices / N. Misani. – Text : direct // Management Research Review. – 2010. – Vol. 33, No. 7. – Pp. 734-748.

24. Ключева, Е. Ю. Стратегический потенциал организации как основа повышения ее конкурентоспособности / Е. Ю. Ключева, Я. Э. Нагаева. – Текст : непосредственный // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2013.

25. Анташкиева, Т. Стратегический потенциал предприятия индустрии гостеприимства как средство достижения конкурентоспособности / Т. Анташкиева. – Текст : непосредственный // Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. – 2012. – Т. 4. – С. 335-337.

26. Коновалова, Н. В. Теоретический анализ понятия «стратегический потенциал» в стратегическом менеджменте / Н. В. Коновалова. – Текст : непосредственный // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2017.

27. Квочкина, В. И. Стратегический потенциал управления оборотным капиталом организации / В. И. Квочкина, А. Н. Квочкин, С. М. Свиридова. – Текст : непосредственный // Наука и образование. – 2022.

28. Артамонов, Б. В. Стратегический потенциал предприятия и его основные составляющие / Б. В. Артамонов. – Текст : непосредственный // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 202. – С. 5-9.

29. Марабаева, Л. В. Стратегический потенциал инновационного предприятия: содержание, структура, особенности / Л. В. Марабаева, И. А. Горин. – Текст : непосредственный // Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева. – 2013. – № 1 (27). – С. 13-83.

30. Романцов, А. Н. Стратегический потенциал производственной организации: содержание и необходимость управления / А. Н. Романцов. – Текст : непосредственный // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2014. – Т. 2, № 27. – С. 97-99.

31. Булгакова, Л. Н. Стратегический потенциал устойчивого социально-экономического развития региона: сущность, показатели, оценка взаимосвязей / Л. Н. Булгакова, Д. А. Дурдыева. – Текст : непосредственный // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2013. – С. 1-12.

32. Лукиных, М. И. Стратегический потенциал организации / М. И. Лукиных. – Текст : непосредственный // Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. – 2018. – Т. 8, № 3А. – С. 118-125.

33. Меньшенина, А. О. Стратегический потенциал предпринимательской организации / А. О. Меньшенина, Г. С. Мерзликина. – Текст : непосредственный // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2010. – Т. 3, № 13.

34. Вутрова, Е. Н. Управление стратегической конкурентоспособностью : монография / Е. Н. Вутрова. – 2013. – Текст : непосредственный.

35. Коренная, К. А. Основы эффективного управления промышленными предприятиями в современных условиях / К. А. Коренная, А. В. Голлай, О. В. Логиновский. – Текст : непосредственный // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 161-170.

36. Одинцов, Б. Е. Алгоритмическое встраивание бюджетов в стратегическое управление предприятием / Б. Е. Одинцов. – Текст : непосредственный // Управленческие науки. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 14-22.

37. Mazur, V. Bridging Sustainable Human Resource Management and Corporate Sustainability / V. Mazur, A. Walczyna. – Text : direct // Sustainability (Switzerland). – 2020. – Vol. 12, No. 21. – Pp. 1-21.

38. Романова, О. А. Стратегический вектор развития металлургии России в условиях новой реальности / О. А. Романова, Д. В. Сиротин. – Текст : непосредственный // Известия Уральского государственного горного университета. – 2022. – Т. 3, № 67. – С. 133-145.

39. Müller, J. M. What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability / J. M. Müller, D. Kiel, K. I. Voigt. – Text : direct // Sustainability (Switzerland). – 2018. – Vol. 10, No. 1.

40. Васильева, В. В. Стратегический потенциал организации: вопросы диагностики и управления / В. В. Васильева. – Текст : непосредственный // Менеджмент и бизнес-администрирование. – 2011. – № 1. – С. 106-123.

41. Васильева, В. В. Стратегический потенциал организации через призму ресурсного подхода к стратегии / В. В. Васильева. – Текст : непосредственный // Государственное управление. Электронный вестник. – 2009. – № 20. – С. 1-6.

42. Алексеев, С. Б. Стратегический инновационный потенциал торгового предприятия / С. Б. Алексеев. – Текст : непосредственный // Вестник института экономических исследований. – 2016. – № 3. – С. 46-52.

43. Овсянников, С. В. Стратегический потенциал вузов в системе управления устойчивым экономическим развитием предприятий / С. В. Овсянников. – Текст : непосредственный // Территория науки. – 2014. – № 3. – С. 12-18.

44. Москалькова, О. А. Стратегический потенциал развития транснациональной корпорации / О. А. Москалькова, Е. В. Сумина. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы экономических наук. – 2013. – № 32. – С. 244-248.

45. Tervonen, P. Development of Environmental Management: A Case Study of Steel Production / P. Tervonen, H. Naapasalo, S. Juntunen. – Text : direct // International Journal of Sustainable Economy. – 2010. – Vol. 2, No. 2. – Pp. 144-163.

46. Жулина, Е. Г. Стратегический потенциал региона и его инновационность / Е. Г. Жулина. – Текст : непосредственный // Бизнес и стратегии. – 2018. – Т. 1, № 10. – С. 16-22.

47. Цуцкарёв, В. К. Стратегический потенциал предприятия по наземному обслуживанию рейсов бизнес-авиации / В. К. Цуцкарёв. – Текст : непосредственный // *π-Economy*. – 2022. – Т. 15, № 6. – С. 71-84.

48. Ладонько, Л. С. Стратегический потенциал предприятия: формирование и оценка / Л. С. Ладонько, М. В. Ганжа. – Текст : непосредственный // Науковий вісник Полісся. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 109-114.

49. Мартыненко, О. В. Стратегический потенциал и текущая конкурентоспособность ведущих секторов российского машиностроения / О. В. Мартыненко. – Текст : непосредственный // Экономика: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 39. – С. 41-48.

50. United Nations. World Population Prospects. – URL: <https://population.un.org/wpp/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

51. United Nations. The 17 Goals. – URL: <https://sdgs.un.org/goals> (дата обращения: 19.01.2024). – Текст : электронный.

52. Склепович, М. В. Стратегический потенциал изменений организации сектора государственного управления / М. В. Склепович, К. З. Склепович. – Текст : непосредственный // Экономический вестник ДонГТИ. – 2021. – № 9. – С. 67-77.

53. Латышев, Д. В. Стратегический потенциал метода SWOT-анализа в маркетинговой деятельности образовательного учреждения / Д. В. Латышев. – Текст : непосредственный // Научный журнал «Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири». – 2017. – № 1. – С. 63-74.

54. Richnák, P. Impact and Potential of Sustainable Development Goals in Dimension of the Technological Revolution Industry 4.0 within the Analysis of Industrial Enterprises / P. Richnák, H. Fidlerová. – Text : direct // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 10.

55. Fateeva, O. A Systematic Approach to Evaluating the Strategic Potential of Agricultural Enterprises / O. Fateeva, E. Muratova, E. Ivanova. – Text : direct // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 113.

56. Ruigrok, W. Board Characteristics and Involvement in Strategic Decision Making: Evidence from Swiss Companies / W. Ruigrok, S. I. Peck, H. Keller. – Text : direct // Journal of Management Studies. – 2006. – Vol. 43, No. 5. – Pp. 1201-1226.

57. Faizova, S. Prospects for Improving the Methodology of Strategic Enterprise Management / S. Faizova, M. Ivanova, T. Pozhuieva. – Text : direct // Baltic Journal of Economic Studies. – 2019. – Vol. 4, No. 5. – Pp. 371-378.

58. Великая, Е. Г. Стратегический потенциал и рентабельность организации / Е. Г. Великая, В. В. Чурко. – Текст : непосредственный // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. – 2014. – Т. 2, № 17. – С. 7-9.

59. Савенков, Л. Д. Концептуально-методологические подходы к комплексному экономическому и статистическому анализу стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 11, № 11 (164). – С. 47-55.

60. Савенков, Л. Д. Методика формирования индексов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности /

Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Теория и практика общественного развития. – 2025. – № 10 (210). – С. 182-189.

61. Савенков, Л. Д. Эволюция метода бэккастинга: семантический кластерный анализ и его роль в устойчивом развитии промышленности / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 235. – С. 192-197.

62. Мерзликина, Г. Л. Оценка экономической состоятельности предприятия : монография / Г. Л. Мерзликина, Л. С. Шаховская. – Волгоград : Волгоградский гос. техн. ун-т, 1998. – 265 с. – Текст : непосредственный.

63. Петров, П. А. Формирование единой методологии контроллинга стратегического потенциала промышленного предприятия / П. А. Петров. – Текст : непосредственный // Научный вестник Уральской академии государственной службы: политология, экономика, социология, право. – 2011. – № 3 (16). – С. 128-137.

64. Яблочкина, Е. А. Развитие методических основ формирования механизма управления экономическим потенциалом строительного предприятия : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Яблочкина Елена Анатольевна ; Тюменский государственный архитектурно-строительный университет. – Тюмень, 2006. – 167 с. – Текст : непосредственный.

65. Grynko, T. Assessment of the Financial Potential of the Enterprise in Strategic Management / T. Grynko, T. Hviniashvili, I. Konev. – Text : direct // Actual Problems of Economics. – 2023. – Vol. 1, No. 267. – Pp. 40-48.

66. Бородин, А. И. Экономико-математическая модель оценки потенциала предприятия / А. И. Бородин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2012. – № 4 (44). – С. 198-203.

67. Васильева, Н. А. Методические подходы к оценке стратегического потенциала промышленного предприятия / Н. А. Васильева. – Текст : непосредственный // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2011. – № 1 (35). – С. 49-53.

68. Башелутсков, П. П. Комплексный мониторинг стратегического потенциала предприятия / П. П. Башелутсков. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2006. – № 10. – С. 111-115.

69. Principal Component Analysis: A Natural Approach to Data Exploration / F. L. Gewers, G. R. Ferreira, H. F. De Arruda [et al.]. – Text : direct // ACM Computing Surveys. – 2021. – Vol. 54, No. 4. – Pp. 1-34.

70. Tang, Y. Enterprise Financial Strategy and Performance Management Analysis Based on Principal Component Analysis / Y. Tang, S. H. Aldulaimi. – Text : direct // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. – 2023. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 1265-1276.

71. Валько, Д. В. Методический инструментарий оценки стратегического потенциала организации / Д. В. Валько. – Текст : непосредственный // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. – 2015. – № 3 (10). – С. 66-73.

72. Лагунова, Е. В. Стратегический потенциал компании и его оценка / Е. В. Лагунова. – Текст : непосредственный // Проблемы управления. – 2007. – № 6. – С. 40-44.

73. Kaplan, R. S. The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance / R. S. Kaplan, D. P. Norton. – Text : direct // Harvard Business Review. – 1992. – Vol. 70, No. 1. – Pp. 71-79.

74. Кузнецова, С. А. Стратегический менеджмент : учеб.-метод. пособие / С. А. Кузнецова, В. Д. Маркова. – Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2004. – 78 с. – Текст : непосредственный.

75. Плеханов, А. Г. Управление стратегическим потенциалом строительных организаций : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора

экономических наук / Плеханов Александр Георгиевич ; Государственный университет управления. – Москва, 2011. – 39 с. – Текст : непосредственный.

76. Карпова, М. В. Оценка стратегического потенциала организации / М. В. Карпова, Н. В. Рознина, И. С. Лушникова. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы современной экономики. – 2019. – № 5.

77. Иванова, О. В. Методика расчета стратегического потенциала промышленного предприятия / О. В. Иванова. – Текст : непосредственный // Инновации. – 2007. – № 5 (103). – С. 86-88.

78. Dreborg, K. H. Essence of Backcasting / K. H. Dreborg. – Text : direct // Futures. – 1996. – Vol. 28, No. 9.

79. Bibri, S. E. A Methodological Framework for Futures Studies: Integrating Normative Backcasting Approaches and Descriptive Case Study Design for Strategic Data-Driven Smart Sustainable City Planning / S. E. Bibri. – Text : direct // Energy Informatics. – 2020. – Vol. 3, No. 1. – Pp. 1-42.

80. Bibri, S. E. Backcasting in Futures Studies: A Synthesized Scholarly and Planning Approach to Strategic Smart Sustainable City Development / S. E. Bibri. – Text : direct // European Journal of Futures Research. – 2018. – Vol. 6.

81. Robinson, J. B. Futures under Glass: A Recipe for People Who Hate to Predict / J. B. Robinson. – Text : direct // Futures. – 1990. – Vol. 22. – Pp. 820-842.

82. Broman, G. I. A Framework for Strategic Sustainable Development / G. I. Broman, K.-H. Robèrt. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 140. – Pp. 17-31.

83. Vergragt, P. J. Sustainable Technology Development in the Netherlands: The First Phase of a Participatory Programme / P. J. Vergragt, L. Jansen. – Text : direct // Journal of Cleaner Production. – 1993. – Vol. 1, No. 4. – Pp. 213-220.

84. Kamp, L. M. Notions on Learning Applied to Wind Turbine Development in the Netherlands and Denmark / L. M. Kamp, R. E. H. M. Smits, C. D. Andriess. – Text : direct // Energy Policy. – 2004. – Vol. 32, No. 14. – Pp. 1625-1637.

85. Zwikael, O. A General Framework for Gauging the Performance of Initiatives to Enhance Organizational Value / O. Zwikael, J. Smyrk. – Text : direct // British Journal of Management. – 2012. – Vol. 23, No. S1.

86. Xue, R. Optimising Product Development in Industry by Alignment of the ISO/IEC 15288 Systems Engineering Standard and the PMBoK Guide / R. Xue, C. Baron, P. Esteban. – Text : direct // International Journal of Product Development. – 2017. – Vol. 22, No. 1. – P. 65.

87. Bryson, J. M. Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations: A Guide to Strengthening and Sustaining Organizational Achievement / J. M. Bryson. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2018. – Text : direct.

88. Galli, B. J. How Statistical Analysis Tools Can Be Used to Effectively Plan and Execute a Strategic Plan for an Organization / B. J. Galli. – Text : direct // International Journal of Applied Industrial Engineering. – 2021. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 1-16.

89. Савенков, Л. Д. Оценка динамики производства стали странами мира на основе их группировки / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2024. – № 10 (240). – С. 17-27.

90. Стратегия развития черной металлургии Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года : приказ Минпромторга РФ от 05.05.2014 № 839. – URL: <http://www.minpromtorg.gov.ru> (дата обращения: 15.12.2025). – Текст : электронный.

91. Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 № 4260-р. – URL: <https://www.government.ru> (дата обращения: 15.12.2025). – Текст : электронный.

92. О Государственной программе Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» : постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 328 (ред. действующая). – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.12.2025). – Текст : электронный.

93. Энциклопедический словарь по металлургии : справ. изд. : в 2 т. Т. 1 : А–О / ред. Н. П. Лякишев. – Москва : Интермет Инжиниринг, 2000. – 412 с. – Текст : непосредственный.

94. Production of Pig Iron Worldwide from 2009 to 2019 (in thousand metric tons).– URL: <https://www.statista.com/statistics/1168624/pig-iron-production-worldwide/>– (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

95. World Steel in Figures 2022. – URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2022/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

96. Доничев, О. А. Кластерный анализ как инструмент оценки социально-экономического развития регионов / О. А. Доничев, Н. Л. Красюкова, Д. Ю. Фраймович. – Текст : непосредственный // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 47 (254). – С. 39-45.

97. Овсянникова, Р. В. Кластерный анализ в оценке уровня и качества жизни населения субъектов РФ / Р. В. Овсянникова. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2018. – № 1 (159). – С. 38-45.

98. Петрыкина, И. Н. Применение кластерного анализа для типологизации муниципальных образований / И. Н. Петрыкина, М. И. Солосина, И. Н. Щепина. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 4. – С. 154-164.

99. Пискун, Е. И. Экономическое развитие регионов Российской Федерации. Факторно-кластерный анализ / Е. И. Пискун, В. В. Хохлов. – Текст : непосредственный // Экономика региона. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 363-376.

100. Протасов, Ю. М. Кластеризация регионов РФ по уровню их социально-экономического развития / Ю. М. Протасов, В. М. Юров. – Текст : непосредственный // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. – 2022. – № 2. – С. 95-103.

101. Неслухов, Д. С. Использование кластерного и регрессионного анализа в изучении экономической деятельности судостроительных и судоремонтных

предприятий / Д. С. Неслухов. – Текст : непосредственный // Науковедение. – 2016. – Т. 8, № 4 (35). – С. 71.

102. Бобков, А. Л. Верификация модели эволюции производственной структуры металлургических предприятий Чешской Республики с использованием кластерного анализа / А. Л. Бобков. – Текст : непосредственный // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2022. – Т. 19, № 3 (123). – С. 43-51.

103. The Use of Cluster Analysis in Entrepreneurship Research: Review of Past Research and Future Directions / M. Crum, T. Nelson, J. de Borst, P. Byrnes. – Text : direct // Journal of Small Business Management. – 2022. – Vol. 60, No. 4. – Pp. 961–1000.

104. The Path to Digital Maturity: A Cluster Analysis of the Retail Industry in an Emerging Economy / M. R. Pinto, P. K. Salume, M. W. Barbosa, P. R. de Sousa. – Text : direct // Technology in Society. – 2023. – Vol. 72. – P. 102191.

105. Ljungkvist, T. A Taxonomy of Ecopreneurship in Small Manufacturing Firms: A Multidimensional Cluster Analysis / T. Ljungkvist, J. Andersén. – Text : direct // Business Strategy and the Environment. – 2021. – Vol. 30, No. 2. – Pp. 1374-1388.

106. British Geological Survey (BGS). – URL: <https://www.bgs.ac.uk/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

107. Statbase. – URL: <https://statbase.ru> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

108. Primetals Technologies. Metallurgical Plant Solutions. – URL: <https://www.primetals.com> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

109. Криворучко, А. Jackshaft: промышленные печи + экологичные технологии / А. Криворучко. – Текст : непосредственный // Промышленные страницы Сибири. – 2020. – Т. 8 (151).

110. Shandong Molong. Official website. – URL: <http://www.molong-group.com> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

111. Goodman, N. J. The HIs melt Technology: From Australia to China... and Back Again? / N. J. Goodman. – Text : direct // Iron Ore 2019 : Proceedings of the Conference. – 2019.

112. U.S. Geological Survey (USGS). – URL: <https://www.usgs.gov/> (дата обращения: 18.01.2024). – Текст : электронный.

113. Рейтинги по производству ЖРС в мире и в России. – URL: <https://nedradv.ru/nedradv/ru/ratings?rubric=b8ce6228fc2b2cdbdf8b61cdf58f9aef> (дата обращения: 19.01.2024). – Текст : электронный.

114. General Administration of Customs of the People's Republic of China. – URL: <http://english.customs.gov.cn/> (дата обращения: 19.01.2024). – Текст : электронный.

115. TrendEconomy. – URL: <https://trendeconomy.com> (дата обращения: 20.01.2024). – Текст : электронный.

116. China Iron and Steel Association. – URL: <https://www.chinaisa.org.cn/gxportal/xfgl/portal/index.html> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

117. Кондратьев, В. Б. Горная промышленность Австралии: состояние и перспективы / В. Б. Кондратьев. – Текст : непосредственный // Горная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 91-102.

118. Годовая статистика международной торговли всеми товарами Японии за 2012–2023 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/Japan> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

119. World Steel in Figures 2024. – URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/> (дата обращения: 15.01.2024). – Текст : электронный.

120. Годовая статистика международной торговли всеми товарами США за 2012–2023 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/UnitedStatesOfAmerica/TOTAL> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

121. Годовая статистика международной торговли товарами группы 7201 «Чугун переделанный и зеркальный в чушках, болванках или прочих первичных формах» США за 2012–2023 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/UnitedStatesOfAmerica/7201> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

122. Midrex Technologies, Inc. – URL: <https://www.midrex.com> (дата обращения: 27.01.2024). – Текст : электронный.

123. Чепига, В. Чем интересна индийская модель металлургии: специфика, вызовы и перспективы / В. Чепига. – URL: https://www.prometall.info/analitika/chem_interesna_indiyskaya_model_metallurgii (дата обращения: 28.01.2024). – Текст : электронный.

124. Будрис, А. Падение и лихорадка: что ждет российский экспорт металлов / А. Будрис. – Текст : непосредственный // Forbes. – 2025.

125. Статистика импорта стали за 2022 год (по данным World Steel Association). – URL: <https://worldsteel.org/> (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

126. Годовая статистика международной торговли товарами группы 2601 «Руды и концентраты железные, включая обожженный пирит» Южной Кореи за 2011–2022 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/Korea/2601> (дата обращения: 15.02.2024). – Текст : электронный.

127. Годовая статистика международной торговли всеми товарами Южной Кореи за 2011–2022 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/Korea/TOTAL> (дата обращения: 17.02.2024). – Текст : электронный.

128. Мамедова, Н. Иранская черная металлургия — состояние и проблемы / Н. Мамедова. – Текст : непосредственный // Мировое и национальное хозяйство. – 2012. – № 1 (20).

129. Годовая статистика международной торговли товарами группы 2601 «Руды и концентраты железные, включая обожженный пирит» Ирана за 2003–2018 гг. – URL: <https://trendeconomy.ru/data/h2/Iran/2601> (дата обращения: 27.02.2024). – Текст : электронный.

130. Office of Foreign Assets Control (OFAC) Министерства финансов США. – URL: <https://ofac.treasury.gov/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

131. Office of Financial Sanctions Implementation (OFSI) Министерства финансов Великобритании. – URL: <https://www.gov.uk/government/organisations/>

office-of-financial-sanctions-implementation (дата обращения: 01.01.2024). – Текст : электронный.

132. Авраменко, А. Аналог OFAC в Европе / А. Авраменко. – URL: <https://art.ohmyswift.io/finance/analog-ofac-v-evrope> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

133. Белокуров, Д. Стальной прорыв: как растет иранская металлургия / Д. Белокуров. – URL: <https://gmk.center/opinion/stalnoj-proryv-kak-rastet-iranskaya-metallurgiya/> (дата обращения: 22.01.2024). – Текст : электронный.

134. Government of India. National Steel Policy (NSP), 2017 // The Gazette of India. – 2017. – Текст : непосредственный.

135. Савенков, Л. Д. Статистический анализ влияния макроэкономических факторов на мировое производство стали / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Общество: политика, экономика, право. – 2025. – № 10 (147). – С. 261-267.

136. Marwala, T. Causal, Correlation and Automatic Relevance Determination Machines for Granger Causality / T. Marwala. – Text : direct // Causality, Correlation and Artificial Intelligence for Rational Decision Making. – Singapore : World Scientific, 2015. – С. 125-145.

137. Dynamic Granger–Geweke Causality Modeling with Application to Interictal Spike Propagation / F. Lin, K. Hara, V. Solo [et al.]. – Text : direct // Human Brain Mapping. – 2009. – Vol. 30, No. 6. – Pp. 1877-1886.

138. Jordaan, A. C. Export and Economic Growth in Namibia: A Granger Causality Analysis / A. C. Jordaan, J. H. Eita. – Text : direct // South African Journal of Economics. – 2007. – Vol. 75, No. 3. – Pp. 540-547.

139. A Methodology to Incorporate Organizational Factors into Individual Safety Behavior Analysis / J. Gao, B. Zhang, J. Duanmu, P. Zhang. – Text : direct // 2014 10th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS). – IEEE, 2014. – Pp. 422-428.

140. Causal Inference of Optimal Control Water Level and Inflow in Reservoir Optimal Operation Using Fuzzy Cognitive Map / Y. Liu, J. Zhou, Z. He [и др.]. – Text : direct // Water. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – P. 2147.

141. Zanon, L. G. Combining Grey Clustering and Fuzzy Grey Cognitive Maps: An Approach to Group Decision-Making on Cause-and-Effect Relationships / L. G. Zanon, L. C. R. Carpinetti. – Text : direct // Soft Computing. – 2021. – Vol. 25, No. 24. – Pp. 15201-15220.

142. Ценовая и финансовая стабильность: возможно ли противоречие между этими целями Банка России / Л. Г. Гадий, Е. Д. Джаохадзе, А. М. Киюцевская, М. Е. Чембулатова. – Текст : непосредственный // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2020. – Т. 47, № 3. – С. 67-83.

143. Леонтьева, Е. А. Моделирование влияния кредитно-денежной политики на макроэкономические показатели (на примере России) : специальность 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики» : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Леонтьева Елена Анатольевна ; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. – Москва, 2010. – Текст : непосредственный.

144. Золотарев, А. А. Оценка влияния ключевой ставки на уровень инфляции с применением векторных авторегрессионных моделей / А. А. Золотарев, А. Ю. Румянцева. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2025. – № 70. – С. 40-67.

145. Федорова, Е. А. Влияние цены на нефть на финансовый рынок России в кризисный период / Е. А. Федорова, М. П. Лазарев. – Текст : непосредственный // Финансы и кредит. – 2014. – № 20 (596). – С. 14-22.

146. Салманов, О. Н. Установление волатильности между фондовыми рынками России и развитых стран / О. Н. Салманов. – Текст : непосредственный // Управление финансовыми рисками. – 2020. – Т. 2. – С. 92-107.

147. Григорьев, Р. А. Грейнджеровская причинность для мировых бирж: множество решений / Р. А. Григорьев. – Текст : непосредственный // Terra Economicus. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 146-168.

148. Kapetanios, G. Testing for Strict Stationarity in Financial Variables / G. Kapetanios. – Text : direct // *Journal of Banking & Finance*. – 2009. – Vol. 33, No. 12. – Pp. 2346-2362.

149. Showalter, S. Validating Weak-Form Market Efficiency in United States Stock Markets with Trend Deterministic Price Data and Machine Learning / S. Showalter, J. Gropp. – Text : direct // arXiv. – 2019. – Pp. 1-15.

150. Application of Modern Tests for Stationarity to Single-Trial MEG Data / L. Kipiński, R. König, C. Sielużycki, W. Kordecki. – Text : direct // *Biological Cybernetics*. – 2011. – Vol. 105, No. 3–4. – Pp. 183-195.

151. Becker, R. A Stationarity Test in the Presence of an Unknown Number of Smooth Breaks / R. Becker, W. Enders, J. Lee. – Text : direct // *Journal of Time Series Analysis*. – 2006. – Vol. 27, No. 3. – Pp. 381-409.

152. Güriş, B. The Validity of Purchasing Power Parity in BRICS Countries / B. Güriş, M. Tıraşoğlu. – Text : direct // *Prague Economic Papers*. – 2018. – Vol. 27, No. 4. – Pp. 417-426.

153. Bawdekar, A. A. Sensitivity Analysis of Stationarity Tests' Outcome to Time Series Facets and Test Parameters / A. A. Bawdekar, B. R. Prusty, K. Bingi. – Text : direct // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2022. – Vol. 2022. – Pp. 1-24.

154. Xiao, Z. Testing Covariance Stationarity / Z. Xiao, L. R. Lima. – Text : direct // *Econometric Reviews*. – 2007. – Vol. 26, No. 6. – Pp. 643-667.

155. Wilms, H. On the Necessity of Exogenous Variables for Load, PV and Wind Day-Ahead Forecasts Using Recurrent Neural Networks / H. Wilms, M. Cupelli, A. Monti. – Text : direct // *2018 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*. – IEEE, 2018. – Pp. 1-6.

156. Müller, U. K. Size and Power of Tests for Stationarity in Highly Autocorrelated Time Series / U. K. Müller. – Text : direct // *SSRN Electronic Journal*. – 2003.

157. Aí, H. T. Are the Non-Stationarities in Global Market Shares of Top Automotive Nations of the World Same? / H. T. Aí, M. I. Subhani, S. Prachyangprecha. – Text : direct // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 244. – P. 08016.

158. Ribeiro, M. B. An Econometric Analysis of Private-Sector Investment in Brazil / M. B. Ribeiro, J. R. Teixeira. – Text : direct // CEPAL Review. – 2001. – No. 74. – Pp. 153-166.

159. Bawdekar, A. A. Selection of Stationarity Tests for Time Series Forecasting Using Reliability Analysis / A. A. Bawdekar, B. R. Prusty. – Text : direct // Mathematical Problems in Engineering. – 2022. – Vol. 2022. – Pp. 1-8.

160. Wang, W. Testing for Nonlinearity of Streamflow Processes at Different Timescales / W. Wang, J. K. Vrijling, P. H. A. J. M. Van Gelder, J. Ma. – Text : direct // Journal of Hydrology. – 2006. – Vol. 322, No. 1–4. – Pp. 247-268.

161. Lu, Z. Stationarity Testing of Accumulated Ethernet Traffic / Z. Lu, M. Li, W. Zhao. – Text : direct // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – Vol. 2013. – Pp. 1-8.

162. World Steel Association AISBL. – URL: <https://worldsteel.org> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

163. GDP (current US\$). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

164. GDP per capita (current US\$). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

165. Access to Electricity (% of Population) – World. World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=1W> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

166. Gross Capital Formation (% of GDP). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.TOTL.ZS> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

167. Ores and Metals Exports (% of Merchandise Exports). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.MMTL.ZS.UN> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

168. Ores and Metals Imports (% of Merchandise Imports). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/TM.VAL.MMTL.ZS.UN> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

169. Official Exchange Rate (LCU per US\$, Period Average). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.FCRF> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

170. Industry (Including Construction), Value Added (% of GDP). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

171. SanctionsExplorer. – URL: <https://sanctionsexplorer.org> (дата обращения: 19.09.2024). – Текст : электронный.

172. Iron Ore (Fe). – URL: <https://www.marketindex.com.au/iron-ore> (дата обращения: 08.02.2025). – Текст : электронный.

173. Ravazzolo, F. World Steel Production: A New Monthly Indicator of Global Real Economic Activity / F. Ravazzolo, J. Vespignani. – Text : direct // Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'économie. – 2020. – Vol. 53, No. 2. – Pp. 743-766.

174. Palamalai, S. On the Temporal Causal Relationship Between Macroeconomic Variables / S. Palamalai, K. Mariappan, C. Devakumar. – Text : direct // Sage Open. – 2014. – Vol. 4, No. 1.

175. Paul, P. Revisiting Economic Growth and Steel Consumption: Evidence from India / P. Paul, P. Mitra // The Indian Economic Journal. – 2024. – Vol. 72, No. 3. – Pp. 427-441.

176. Dynamic Linkage Between Industrialization, Energy Consumption, Carbon Emission, and Agricultural Products Export of Pakistan: An ARDL Approach / Z. A. Khan, M. A. Koondhar, I. Khan [et al.]. – Text : direct // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28, No. 32. – C. 43698-43710.

177. Alsaedi, Y. The Relationship Between Electricity Consumption, Peak Load and GDP in Saudi Arabia: A VAR Analysis / Y. Alsaedi, G. Tularam. – Text : direct // Mathematics and Computers in Simulation. – 2020. – Vol. 175. – Pp. 164-178.

178. Савенков, Л. Д. Прогнозирование производства стали и мирового торгового баланса руды и металлов с использованием метода ARIMA / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2024. – № 7 (237). – С. 37-43.

179. Forecasting LoRaWAN RSSI Using Weather Parameters: A Comparative Study of ARIMA, Artificial Intelligence and Hybrid Approaches / R. R. Guerra, A. Vizziello, P. Savazzi [et al.]. – Text : direct // Computer Networks. – 2024. – Vol. 243. – P. 110258.

180. Mariati, N. P. A. M. Inflation Value Forecasting Post COVID-19 in Denpasar Using ARIMA / N. P. A. M. Mariati, L. P. E. Setiawati, N. L. P. S. Dewi. – Text : direct // International Journal of Application on Economics and Business. – 2023. – Vol. 1, No. 3. – Pp. 1165-1169.

181. Maxwell, O. On Modeling Murder Crimes in Nigeria / O. Maxwell. – Text : direct // Scientific Journal of Research & Reviews. – 2019. – Vol. 2, No. 1.

182. Albarr, H. Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average–Support Vector Regression for Stock Price Forecasting / H. Albarr, R. Kusumawati. – Text : direct // Jurnal Matematika Sains dan Teknologi. – 2023. – Vol. 24, No. 2. – Pp. 1-17.

183. Zhang, L. Prediction of Liaoning Province Steel Import and Export Trade Based on Deep Learning Models / L. Zhang. – Text : direct // Expert Systems. – 2024. – Vol. 42, No. 1.

184. Gajdzik, B. Influence of the COVID-19 Crisis on Steel Production in Poland Compared to the Financial Crisis of 2009 and to Boom Periods in the Market / B. Gajdzik, R. Wolniak. – Text : direct // Resources. – 2021. – Vol. 10, No. 1.

185. Małysa, T. Application of Forecasting as an Element of Effective Management in the Field of Improving Occupational Health and Safety in the Steel Industry in Poland / T. Małysa. – Text : direct // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – P. 1351.

186. Rakhmawan, S. Forecasting the Export Value of Iron and Steel During the COVID-19 Pandemic / S. Rakhmawan. – Text : direct // Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan. – 2022. – Vol. 4, No. 3. – Pp. 196-210.

187. Romanuke, V. ARIMA Model Optimal Selection for Time Series Forecasting / V. Romanuke. – Text : direct // Maritime Technical Journal. – 2022. – Vol. 224, No. 1. – Pp. 28-40.

188. Fatima, S. S. W. A Review of Time-Series Forecasting Algorithms for Industrial Manufacturing Systems / S. S. W. Fatima, A. Rahimi. – Text : direct // Machines. – 2024. – Vol. 12, No. 6. – P. 380.

189. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики : учеб. для вузов / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Москва : ЮНИТИ, 1998. – Текст : непосредственный.

190. Канторович, Г. Г. Анализ временных рядов / Г. Г. Канторович. – Текст : непосредственный // Экономический журнал ВШЭ. – 2002. – № 1.

191. Лебедева, А. Д. Прогнозирование цены на золото на основе ARIMA-модели / А. Д. Лебедева. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет, анализ, аудит и статистика: информационные инструменты достижения целей устойчивого развития экономики : материалы междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 2023. – Ростов-на-Дону : АзовПринт, 2023. – С. 181-185.

192. Трифонова, Н. Д. Прогнозирование доходности ценных бумаг в портфеле Блэка–Литтермана на основе моделей CAPM, ARIMA-GARCH и Хольта / Н. Д. Трифонова, В. В. Карасев. – Текст : непосредственный // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем (АМУР-2019) : сб. науч. тр., Симферополь–Судак, 2019. – Симферополь–Судак : ИП Корниенко А. А., 2019. – С. 390-393.

193. Трегуб, А. В. Методика построения модели ARIMA для прогнозирования динамики временных рядов / А. В. Трегуб, И. В. Трегуб. – Текст : непосредственный // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 5. – С. 179-183.

194. Шабанова, Е. Ю. Прогнозирование инфляции: подход на основе ARIMA-моделей на примере Томской области / Е. Ю. Шабанова. – Текст : непосредственный // Глобальные тенденции в науке и технике: новые горизонты :

сб. статей междунар. науч.-практ. конф., Москва, 2024. – Москва : ЦДПО «Цифровая академия», 2024. – С. 339-345.

195. Нурсултанова, Ж. Г. Прогнозирование экспорта товаров Казахстана на основе модели ARIMA: оценка и перспективы / Ж. Г. Нурсултанова. – Текст : непосредственный // Экономические исследования. – 2025. – № 3.

196. Мингазова, Г. Г. Прогнозирование финансовых результатов ОАО «АИКБ „Татфондбанк“» на основе модели ARIMA (p, d, q) / Г. Г. Мингазова. – Текст : непосредственный // Институциональные и инфраструктурные аспекты развития экономики : сб. статей междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 23 мая 2015 г. / ред. А. А. Сукиасян. – Уфа : Аэтерна, 2015. – С. 88-90.

197. Айдынов, З. П. Основы прогнозирования временных рядов на основе метода ARIMA / З. П. Айдынов, Н. С. Нуркашева, Р. А. Карабасов. – Текст : непосредственный // Статистика, учет и аудит. – 2019. – № 4 (75). – С. 184-191.

198. Савенков, Л. Д. Определение направлений стратегий устойчивого развития сталелитейной промышленности / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2024. – № 6. – С. 42-46.

199. Савенков, Л. Д. Развитие стратегического потенциала металлургических компаний России в контексте ресурсно-ориентированного подхода: современные тенденции и перспективы / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 241. – С. 326-335.

200. Савенков, Л. Д. Управление рисками устойчивого развития иностранных металлургических предприятий / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Вестник МГПУ. Серия: Экономика. – 2025. – № 1 (43). – С. 34-42.

201. Савенков, Л. Д. Анализ рейтинговых оценок устойчивого развития предприятий металлургического комплекса / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 237. – С. 222-228.

202. Gratzner, G. Mountain Forests and Sustainable Development: The Potential for Achieving the United Nations' 2030 Agenda / G. Gratzner, W. S. Keeton. – Text : direct // Mountain Research and Development. – 2017. – Vol. 37, No. 3.

203. Ahmad, S. Environmental Life Cycle Assessment – A Successful Tool for Sustainable Development in Steel Industries / S. Ahmad, A. S. Patel. – Text : direct // International Journal of Environment and Development. – 2012. – Vol. 9, No. 2.

204. Fărcean, I. Sustainable Development Indicators in the Steel Industry / I. Fărcean, G. Proștean, A. Socalici. – Text : direct // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2540, No. 1.

205. Xu, J. Sustainability Assessment of Steel Industry in the Belt and Road Area Based on DPSIR Model / J. Xu, Q. Yu, X. Hou. – Text : direct // Sustainability (Switzerland). – 2023. – Vol. 15, No. 14.

206. World Top 100 Largest Companies by Market Cap as of Jan. 1, 2026. – URL: <https://disfold.com/world/companies/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

207. Сайт рейтинговой группы RAEX. – URL: <https://raex-rr.com> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

208. Сайт рейтингового агентства АК&М. – URL: <https://akmrating.ru> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

209. Savchenkov, S. A. Tendencies of Innovation Development of the Russian Iron and Steel Industry on the Base of Patent Analytics for the Largest National Metallurgical Companies / S. A. Savchenkov, V. Y. Bazhin, O. Volkova. – Text : direct // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – С. 76-82.

210. The Interdependence of Environmental Activities and Investment Attractiveness: Finances of Russian Metallurgy / L. I. Chernikova, D. A. Egorova, K. S. Melikhov, A. I. Yashchenko. – Text : direct // Finance: Theory and Practice. – 2023. – Vol. 27, No. 4. – Pp. 42-53.

211. Varamezov, L. Strategic Aspects of Development of the Bulgarian Metallurgical Industry / L. Varamezov, I. Pantaleeva, K. Vranchev. – Text : direct // SPM. – 2023. – Vol. 1, No. 1. – Pp. 60-69.

212. Anisimov, A. Y. Digitalization of Business Processes of a Metallurgical Enterprise as a Sustainable Development Direction / A.Y. Anisimov,

M. A. Plakhotnikova, A. A. Grabsky. – Text : direct // Surgut State University Journal. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – Pp. 6-15.

213. Чешев, М. А. Цифровизация бизнес-процессов металлургического производства как инструмент повышения качества экономических ресурсов / М. А. Чешев, Е. С. Замбржицкая. – Текст : непосредственный // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 9 (170). – С. 452-458.

214. Kazakova, N. A. Analysis of Factors Influencing the Level of Environmental Risks of Ferrous Metallurgy Companies / N. A. Kazakova, V. G. Kogdenko. – Text : direct // Chernye Metally. – 2021. – Pp. 69–75.

215. Dolzhenko, S. B. Analysis of the Level and Dynamics of Labor Productivity of Metallurgical Enterprises / S. B. Dolzhenko, D. S. Malyshev. – Text : direct // Herald of Omsk University. Series: Economics. – 2022. – Vol. 20, No. 4. – Pp. 48-63.

216. Velikaya, O. A. A Strategic Development Mechanism to Improve the Competitiveness and Sustainability of Metallurgical Enterprises / O. A. Velikaya. – Text : direct // Vestnik Universiteta. – 2024. – No. 6. – Pp. 55-61.

217. Du, Y. A Generation and Transmission Expansion Planning Model for the Electricity Market with Decarbonization Policies / Y. Du, X. Shen, D. M. Kammen [et al.]. – Text : direct // Advances in Applied Energy. – 2024. – Vol. 13.

218. Madurai Elavarasan, R. State-of-the-Art Sustainable Approaches for Deeper Decarbonization in Europe – An Endowment to Climate Neutral Vision / R. Madurai Elavarasan, R. Pugazhendhi, M. Irfan [et al.]. – Text : direct // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 159.

219. Turner, K. The Need for a Net Zero Principles Framework to Support Public Policy at Local, Regional and National Levels / K. Turner, A. Katris, J. Race. – Text : direct // Local Economy. – 2020. – Vol. 35, No. 7.

220. Johnstone, I. Net-Zero Norm Entrepreneurship: Principles and Prospects in the U.S. / I. Johnstone. – Text : direct // SSRN Electronic Journal. – 2022.

221. Савенков, Л. Д. Моделирование принципов устойчивого развития предприятий металлургического комплекса на основе теории нечетких когнитивных карт / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Вестник

Самарского государственного экономического университета. – 2025. – № 10 (252). – С. 60-68.

222. Fuzzy Cognitive Maps in Systems Risk Analysis: A Comprehensive Review / E. Bakhtavar, M. Valipour, S. Yousefi [et al.]. – Text : direct // Complex & Intelligent Systems. – 2021. – Vol. 7, No. 2. – Pp. 621-637.

223. Papageorgiou, E. I. A Fuzzy Inference Map Approach to Cope with Uncertainty in Modeling Medical Knowledge and Making Decisions / E. I. Papageorgiou. – Text : direct // Intelligent Decision Technologies. – 2011. – Vol. 5, No. 3. – Pp. 219-235.

224. Fuzzy Cognitive Map Applications in Medicine over the Last Two Decades: A Review Study / I. D. Apostolopoulos, N. I. Papandrianos, N. D. Papathanasiou, E. I. Papageorgiou. – Text : direct // Bioengineering. – 2024. – Vol. 11, No. 2. – P. 139.

225. Iakovidis, D. K. Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Making / D. K. Iakovidis, E. Papageorgiou. – Text : direct // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. – 2011. – Vol. 15, No. 1. – Pp. 100-107.

226. Kok, J. de. Application of Fuzzy Sets and Cognitive Maps to Incorporate Social Science Scenarios in Integrated Assessment Models: A Case Study of Urbanization in Ujung Pandang, Indonesia / J. de Kok, M. Titus, H. G. Wind. – Text : direct // Integrated Assessment. – 2000. – No. 1. – Pp. 177-188.

227. Pythagorean Fuzzy Cognitive Maps in Making Optimal Decisions on Feasible Strategies for Inhibiting Electronic Waste / L. F. X. Deepak, R. Priya, W. Merline [et al.]. – Text : direct // Proceedings of the First International Conference on Computing, Communication and Control System (I3CAC 2021). – EAI, 2021.

228. Xirogiannis, G. Fuzzy Cognitive Maps in Business Analysis and Performance-Driven Change / G. Xirogiannis, M. Glykas. – Text : direct // IEEE Transactions on Engineering Management. – 2004. – Vol. 51, No. 3. – Pp. 334-351.

229. Jia, Z. An Extended Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map via Dempster–Shafer Theory / Z. Jia, Y. Zhang, X. Dong. – Text : direct // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – Pp. 23186-23196.

230. Pereira, I. P. C. A Fuzzy Cognitive Mapping–System Dynamics Approach to Energy-Change Impacts on the Sustainability of Small and Medium-Sized Enterprises / I. P. C. Pereira, F. A. F. Ferreira, L. F. Pereira [et al.]. – Text : direct // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 256. – P. 120154.

231. Ameli, M. COVID-19 and Sustainable Development Goals (SDGs): Scenario Analysis through Fuzzy Cognitive Map Modeling / M. Ameli, Z. Shams Esfandabadi, S. Sadeghi [et al.]. – Text : direct // Gondwana Research. – 2023. – Vol. 114. – Pp. 138-155.

232. Zanon, L. G. Relations between Supply Chain Performance and Circular Economy Implementation: A Fuzzy Cognitive Map-Based Analysis for Sustainable Development / L. G. Zanon, A. C. Bertassini, T. F. A. C. Sigahi [et al.]. – Text : direct // Business Strategy & Development. – 2024. – Vol. 7, No. 2.

233. Ziolo, M. Environmental, Social, Governance Risk versus Cooperation Models between Financial Institutions and Businesses: Sectoral Approach and ESG Risk Analysis / M. Ziolo, I. Bąk, K. Cheba [et al.]. – Text : direct // Frontiers in Environmental Science. – 2023. – Vol. 10.

234. Han, C. Research on the Influence of Artificial Intelligence on Economy and Society / C. Han, L. Cao, Y. Yang. – Text : direct // DEStech Transactions on Engineering and Technology Research. – 2020. – No. mcaee.

235. Papageorgiou, E. Fuzzy Cognitive Map-Based Sustainable Socio-Economic Development Planning for Rural Communities / E. Papageorgiou, H. Chudasama, D. Bochtis, G. Stamoulis. – Text : direct // Sustainability. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – P. 305.

236. Özesmi, U. Ecological Models Based on People's Knowledge: A Multi-Step Fuzzy Cognitive Mapping Approach / U. Özesmi, S. L. Özesmi. – Text : direct // Ecological Modelling. – 2004. – Vol. 176, No. 1–2. – Pp. 43-64.

237. Савенков, Л. Д. Влияние мирового производства стали на выбросы парниковых газов: анализ и перспективы / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 233. – С. 342-347.

238. Fennell, P. Cement and Steel – Nine Steps to Net Zero / P. Fennell, J. Driver, C. Bataille, S. J. Davis. – Text : direct // Nature. – 2022. – Vol. 603, No. 7902. – Pp. 574-577.

239. Kim, J. Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review of Sociotechnical Systems, Technological Innovations, and Policy Options / J. Kim, B. K. Sovacool, M. Bazilian [et al.]. – Text : direct // Energy Research & Social Science. – 2022. – Vol. 89. – P. 102565.

240. Kasman, A. CO₂ Emissions, Economic Growth, Energy Consumption, Trade and Urbanization in New EU Member and Candidate Countries: A Panel Data Analysis / A. Kasman, Y. S. Duman. – Text : direct // Economic Modelling. – 2015. – Vol. 44. – Pp. 97-103.

241. Ren, Y.-S. FDI, Economic Growth, and Carbon Emissions of the Chinese Steel Industry: New Evidence from a 3SLS Model / Y.-S. Ren, N. Apergis, C. Ma [et al.]. – Text : direct // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28, No. 37. – Pp. 52547-52564.

242. Zaman, K. Decomposing the Linkages between Energy Consumption, Air Pollution, Climate Change, and Natural Resource Depletion in Pakistan / K. Zaman, I. Abdullah, M. Ali. – Text : direct // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2017. – Vol. 36, No. 2. – Pp. 638-648.

243. Xinfu, T. Carbon Emission Reduction in China's Iron and Steel Industry through Technological Innovation: A Quadrilateral Evolutionary Game Analysis under Government Subsidies / T. Xinfu, L. Shuai, W. Yonghua [et al.]. – Text : direct // Frontiers in Environmental Science. – 2025. – No. 12.

244. CO₂ Emissions (kt). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

245. Methane Emissions (kt of CO₂ Equivalent). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

246. Nitrous Oxide (N₂O) Emissions (Thousand Metric Tons of CO₂ Equivalent). World Bank Open Data. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.KT.CE> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

247. Xu, D. Consumption-Driven Carbon Emission Reduction Path and Simulation Research in Steel Industry: A Case Study of China / D. Xu, E. Liu, W. Duan, K. Yang. – Text : direct // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 20. – P. 13693.

248. Савенков, Л. Д. Моделирование принципов оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 10, № 10 (164). – С. 70-83.

249. Bonelli, M. I. Ansoff's Strategic Posture Analysis of Small Businesses in Henan Province, China, Post COVID-19 / M. I. Bonelli. – Text : direct // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 253. – P. 03085.

250. Kamkankaew, P. Current Trends in Strategic Management: A Comparative Analysis of SWOT and SOAR Approaches / P. Kamkankaew. – Text : direct // RMUTT Global Business Accounting and Finance Review. – 2023. – Vol. 7, No. 2. – Pp. 63-78.

251. Błaszczyk, M. Strategic synergies and perspectives of their evaluation in the process of strategic analysis / M. Błaszczyk. – Text : direct // Management Sciences. – 2018. – Vol. 23, No. 4. – Pp. 9-17.

252. Analyzing Sustainable Competitive Advantage: Strategically Managing Resource Allocations to Achieve Operational Competitiveness / N. A. Abdul Malek, K. Shahzad, J. Takala [et al.]. – Text : direct // Management and Production Engineering Review. – 2015. – Vol. 6, No. 4. – Pp. 70-86.

253. Süzen, E. Analysis techniques for strategic management in the aviation sector / E. Süzen. – Text : direct // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 452. – Article 05022.

254. Comprehensive Strategic Analysis for Sustainability: An Aviation Industry Case Study / G. Heyes, C. Urquhart, P. Hooper, C. Thomas. – Text : direct // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 11. – Article 8806.

255. Федулов, А. С. Нечеткие реляционные когнитивные карты / А. С. Федулов. – Текст : непосредственный // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2005. – № 1. – С. 120-132.

256. Заграновская, А. В. Системный анализ на основе нечетких когнитивных карт / А. В. Заграновская. – Текст : непосредственный // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2018. – № 4(100). – С. 152-160.

257. Гибридные модели прогнозирования показателей внешнеэкономической деятельности РФ на основе нечетких когнитивных карт и деревьев решений / С. А. Ярушев, А. Н. Аверкин, В. М. Савинова [и др.]. – Текст : непосредственный // Мягкие измерения и вычисления. – 2023. – Т. 62, № 1. – С. 5-19.

258. Рогачев, А. Ф. Нечеткое когнитивное моделирование продовольственной безопасности с учетом экспорта в условиях импортозамещения : препринт / А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, Т. В. Плещенко. – Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2020. – 40 с. – Текст : непосредственный.

259. Ротштейн, А. П. Нечеткие когнитивные карты в анализе надежности систем / А. П. Ротштейн. – Текст : непосредственный // Надежность. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 24-31.

260. Оськин, А. Ф. Применение нечетких когнитивных карт для моделирования плохоструктурированных систем / А. Ф. Оськин, Д. А. Оськин. – Текст : непосредственный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2017. – № 4. – С. 15-20.

261. Диваева, Э. Р. Использование аппарата нечетких когнитивных карт для идентификации и оценки информационных рисков / Э. Р. Диваева, М. А. Николаева. – Текст : непосредственный // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) : Proceedings of the 4th International Conference, Ufa, 17–19 May 2016. – Т. 3. – Уфа : Уфимский государственный авиационный технический университет, 2016. – С. 14-19.

262. Савенков, Л. Д. Методология экономического анализа предприятий металлургической промышленности на основе модели сбалансированной системы показателей / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2025. – № 10 (251). – С. 192-201.

263. Савенков, Л. Д. Стратегические направления предприятий металлургической промышленности в рамках циркулярной экономики / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 238. – С. 220-226.

264. Formulating key performance indicators for an integrated enterprise management system using a sustainable development balanced scorecard / I. Chmutova, X. Guo, Q. Zhang [et al.]. – Text : direct // Development Service Industry Management. – 2024. – No. 2. – Pp. 270-278.

265. Chalmeta, R. Developing a business intelligence tool for sustainability management / R. Chalmeta, M. Ferrer Estevez. – Text : direct // Business Process Management Journal. – 2023. – Vol. 29, No. 8. – Pp. 188-209.

266. Oliveira, H. C. Sustainability-Balanced Scorecard for an Energy Company / H. C. Oliveira, I. Sousa, S. Bastos. – 2024. – Pp. 31-48. – Text : direct.

267. Садченко, О. Integration of ESG principles in production: opportunities for sustainable development, circular economy and marketing / О. Садченко, І. Гайворонська, В. Шмагіна. – Текст : непосредственный // Сталий розвиток економіки. – 2025. – № 1 (52). – С. 262-268.

268. The role of green bonds and sustainable finance in accelerating circular economy transition / F. R. Azhari, R. S. N. Fauziah, Dewangga, A. Yuli. – Text : direct // The International Conference on Sustainable Economics Management and Accounting Proceeding. – 2025. – Vol. 1. – Pp. 3543-3553.

269. Equity, technological innovation and sustainable behaviour in a low-carbon future / B. K. Sovacool, P. Newell, S. Carley, J. Fanzo. – Text : direct // Nature Human Behaviour. – 2022. – Vol. 6, No. 3. – Pp. 326-337.

270. The implementation of ESG indicators in the balanced scorecard – case study of LGOs / S. Garefalakis, E. Angelaki, K. Spinthiropoulos [et al.]. – Text : direct // Risks. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – P. 154.

271. Samiun, A. A. Evaluation of corporate sustainability performance through the integration of ESG and balanced scorecard in manufacturing companies in Surabaya / A. A. Samiun, U. O. Damau. – Text : direct // West Science Accounting and Finance. – 2024. – Vol. 2, No 2. – Pp. 321-328.

272. Оценка рисков металлургического предприятия с использованием системы сбалансированных показателей / М. В. Кузнецова, Е. Г. Зиновьева, Н. С. Шкурко, О. А. Ивачева. – Текст : непосредственный // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 10 (171). – С. 1043-1049.

273. Ловкая, А. В. Управление металлургическим предприятием с использованием системы сбалансированных показателей (на примере ОАО «Уральская Сталь») / А. В. Ловкая, А. С. Измайлова. – Текст : непосредственный // Наука и производство Урала. – 2015. – № 11. – С. 152-155.

274. Елисеева, Е. Н. Построение сбалансированной системы показателей как инструмента стратегического и оперативного управления предприятием металлургии / Е. Н. Елисеева, Н. В. Шмелева. – Текст : непосредственный // Экономика промышленности. – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 359-366.

275. Колмыков, А. М. Совершенствование организации и управления металлургическими предприятиями с использованием метода «Система сбалансированных показателей» / А. М. Колмыков. – Брянск, 2004. – Текст : непосредственный.

276. Тихонова, А. А. Сбалансированная система показателей как фактор финансовой эффективности металлургических компаний / А. А. Тихонова. – Текст : непосредственный // Дайджест-финансы. – 2006. – № 5 (137). – С. 39-44.

277. Юрьева, Л. В. Особенности формирования системы сбалансированных показателей для холдингов металлургической отрасли / Л. В. Юрьева. – Текст : непосредственный // Вестник ИПБ (Вестник профессиональных бухгалтеров). – 2014. – № 1. – С. 26-35.

278. Песин, А. М. Повышение эффективности управления качеством в металлургии с использованием сбалансированной системы показателей с учетом ограничений / А. М. Песин, В. М. Салганик, Г. А. Бережная. – Текст : непосредственный // Управление большими системами : материалы VIII Всерос. школы-конф. молодых ученых, Магнитогорск, 25–27 мая 2011 г. / ред. Д.А. Новиков [и др.]. – Магнитогорск : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2011. – С. 365-368.

279. Леднева, Г. А. Повышение эффективности управления качеством в металлургии с использованием сбалансированной системы показателей с учетом ограничений / Г. А. Леднева. – Магнитогорск, 2008. – Текст : непосредственный.

280. Eifert, A. Challenges and how to overcome them in the formulation and implementation process of a sustainability balanced scorecard (SBSC) / A. Eifert, C. Julmi. – Text : direct // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 22. – P. 14816.

281. Šukutytė, I. Tvarumo subalansuotų rodiklių sistemos kūrimas: atvejo analizė / I. Šukutytė, R. Sakalauskaitė, V. Zaicaitė. – Text : direct // Būhalterinės apskaitos teorija ir praktika. – 2025. – Vol. 31. – Pp. 1-16.

282. Pereira, I. Public sector sustainability in the balanced scorecard – a Portuguese city council case / I. Pereira, H. C. Oliveira. – Text : direct // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 208. – P. 06017.

283. Philemon, M. Assessing the use of sustainability balanced scorecard as an environmental management accounting tool by firms in Nigeria / M. Philemon. – Text : direct // International Journal of Management Science and Business Analysis Research. – 2025.

284. A study on balanced scorecard and its impact on sustainable development of renewable energy organizations: a mediating role of political and regulatory institutions / M. Rafiq, S. Maqbool, J. M. Martins [et al.]. – Text : direct // Risks. – 2021. – Vol. 9, No. 6. – P. 110.

285. Глинская, О. С. Сбалансированная система показателей как инструмент реализации стратегии устойчивого развития кооперации / О. С. Глинская,

Р. В. Калиничева, И. С. Джарарах. – Текст : непосредственный // Бизнес. Образование. Право. – 2022. – № 4 (61).

286. Quesado, P. Integrating sustainability goals into the balanced scorecard: a bibliometric analysis of the sustainability balanced scorecard / P. Quesado, H. Costa Oliveira, R. Silva. – Text : direct // Measuring Business Excellence. – 2025. – Vol. 29, No. 2. – Pp. 352-367.

287. Yang, F. ESG management and corporate sustainability based on balanced scorecard / F. Yang. – Text : direct // International Business & Economics Studies. – 2024. – Vol. 6, No. 4. – P. 39.

288. Dong, X. Strategic linkages to ESG performance: the role of performance measurement system and psychological empowerment / X. Dong, S. Son, T. Roh. – Text : direct // Business Strategy and the Environment. – 2025. – Vol. 34, No. 4. – Pp. 4372-4391.

289. Fernández-González, R. Environmental strategy and the petroleum industry: a sustainability balanced scorecard approach / R. Fernández-González, F. Puime-Guillén, J. E. Vila-Biglieri. – Text : direct // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2023. – Vol. 13, No. 2. – Pp. 763-774.

290. Construction and application of carbon performance evaluation index system for Chinese industrial enterprises from the perspective of low-carbon transition / L. Wang, L. Chen, P. Gao, C. Li. – Text : direct // Journal of International Development. – 2025. – Vol. 37, No. 3. – Pp. 736-757.

291. Jassem, S. Sustainability balanced scorecard architecture and environmental performance outcomes: a systematic review / S. Jassem, Z. Zakaria, A. Che Azmi. – Text : direct // International Journal of Productivity and Performance Management. – 2022. – Vol. 71, No. 5. – Pp. 1728-1760.

292. Mio, C. Performance measurement tools for sustainable business: a systematic literature review on the sustainability balanced scorecard use / C. Mio, A. Costantini, S. Panfilo. – Text : direct // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. – 2022. – Vol. 29, No. 2. – Pp. 367-384.

293. Corsi, K. Role and implementation of sustainability management control tools: critical aspects in the Italian context / K. Corsi, B. Arru. – Text : direct // Accounting, Auditing & Accountability Journal. – 2021. – Vol. 34, No. 9. – Pp. 29-56.

294. Paziienza, M. Why corporate sustainability is not yet measured / M. Paziienza, M. de Jong, D. Schoenmaker. – Text : direct // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 7. – P. 6275.

295. Circular economy to enhance sustainability of small and medium-sized enterprises / P. K. Dey, C. Malesios, D. De [et al.]. – Text : direct // Business Strategy and the Environment. – 2020. – Vol. 29, No. 6. – Pp. 2145-2169.

296. Sustainability evaluation of the steel industry in belt and road countries using an ESG-MI and obstacle analysis framework / B. Ren, Q. Wang, H. Ge [et al.]. – Text : direct // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 36615.

297. Jain, N. K. Institutional pressures and circular economy performance: the role of environmental management system and organizational flexibility in oil and gas sector / N. K. Jain, A. Panda, P. Choudhary. – Text : direct // Business Strategy and the Environment. – 2020. – Vol. 29, No. 8. – Pp. 3509-3525.

298. Fenisa, D. The role of big data in circular supply chain practices and corporate sustainability performance / D. Fenisa, W. Santosa. – Text : direct // Widya Cipta: Jurnal Sekretari dan Manajemen. – 2024. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 40-45.

299. Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data / M. Del Giudice, R. Chierici, A. Mazzucchelli, F. Fiano. – Text : direct // The International Journal of Logistics Management. – 2021. – Vol. 32, No. 2. – Pp. 337-356.

300. Ho, Y.-H. Circular economy implementation and sustainability performance of the textile industry in an emerging economy / Y.-H. Ho, C.-Y. Lin. – Text : direct // International Journal of Clothing Science and Technology. – 2024. – Vol. 36, No. 5. – Pp. 887-906.

301. Макарова, Е. А. Интеллектуальный анализ производственного потенциала регионов: метод главных компонент и деревья решений / Е. А. Макарова, Е. Ш. Закиева, В. Е. Тараканова. – Текст : непосредственный //

Актуальные вопросы экономической теории: развитие и применение в практике российских преобразований : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 25–26 мая 2018 г. – Уфа : Уфимский государственный авиационный технический университет, 2018. – С. 196-200.

302. Кузнецова, Е. О. Метод главных компонент в анализе рынка ипотечного кредитования / Е. О. Кузнецова, В. А. Титов. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 3-2. – С. 330-331.

303. Айвазян, С. А. Интегральный индикатор качества условий жизни / С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев, А. В. Кудров. – Текст : непосредственный // Цифровая экономика. – 2019. – № 1 (5). – С. 43-56.

304. Жгун, Т. В. Построение интегральной характеристики качества жизни субъектов Российской Федерации с помощью метода главных компонент / Т. В. Жгун. – Текст : непосредственный // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 214-235.

305. Жгун, Т. В. Применение метода главных компонент для построения объективных показателей изменения качества систем / Т. В. Жгун, А. В. Липатов, Д. Д. Лемешова. – Текст : непосредственный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 446-455.

306. Логинов, К. К. Вычисление весовых коэффициентов в интегральном индексе экономической безопасности региона на примере Омской области / К. К. Логинов. – Текст : непосредственный // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2020. – № 1 (39). – С. 186-194.

307. Макаров, И. А. Композитные индексы для управления цифровизацией: методы формирования / И. А. Макаров. – Текст : непосредственный // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2024. – № 3. – С. 81-109.

308. Principal component analysis / M. Greenacre, P. J. F. Groenen, T. Hastie [et al.]. – Text : direct // Nature Reviews Methods Primers. – 2022. – Vol. 2, No. 1. – P. 100.

309. Abdi, H. Principal component analysis / H. Abdi, L. J. Williams. – Text : direct // WIREs Computational Statistics. – 2010. – Vol. 2, No. 4. – Pp. 433-459.

310. Jolliffe, I. T. Principal component analysis: a review and recent developments / I. T. Jolliffe, J. Cadima. – Text : direct // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2016. – Vol. 374, No. 2065. – P. 20150202.

311. Salih Hasan, B. M. A review of principal component analysis algorithm for dimensionality reduction / B. M. Salih Hasan, A. M. Abdulazeez. – Text : direct // Journal of Soft Computing and Data Mining. – 2021. – Vol. 2, No. 1. – Pp. 20-30.

312. Camargo, A. PCAtest: testing the statistical significance of principal component analysis in R / A. Camargo. – Text : direct // PeerJ. – 2022. – Vol. 10. – P. e12967.

313. Dorabiala, O. Ensemble principal component analysis / O. Dorabiala, A. Y. Aravkin, J. N. Kutz. – Text : direct // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – Pp. 6663-6671.

314. Principal components analysis / D. Groth, S. Hartmann, S. Klie, J. Selbig. – Text : direct // Methods in Molecular Biology. – 2013. – Vol. 930. – Pp. 527-547.

315. Beattie, J. R. Exploration of principal component analysis: deriving principal component analysis visually using spectra / J. R. Beattie, F. W. L. Esmonde-White. – Text : direct // Applied Spectroscopy. – 2021. – Vol. 75, No. 4. – Pp. 361-375.

316. Jolliffe, I. Principal component analysis / I. Jolliffe. – Text : direct // Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. – Wiley, 2014.

317. Scalable probabilistic PCA for large-scale genetic variation data / A. Agrawal, A. M. Chiu, M. Le [et al.]. – 2019. – Text : direct.

318. Савенков, Л. Д. Статистическая оценка экологического потенциала предприятий металлургической промышленности России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2025. – № 5. – С. 14-16.

319. Савенков, Л. Д. Сравнительная оценка эффективности деятельности компаний металлургического комплекса России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 231. – С. 192-197.

320. Vyas, S. Constructing socio-economic status indices: how to use principal components analysis / S. Vyas, L. Kumaranayake. – Text : direct // Health Policy and Planning. – 2006. – Vol. 21, No. 6. – Pp. 459-468.

321. Mirshojaeian Hosseini, H. Dynamic sustainability assessment of countries at the macro level: a principal component analysis / H. Mirshojaeian Hosseini, S. Kaneko. – Text : direct // Ecological Indicators. – 2011. – Vol. 11, No. 3. – Pp. 811-823.

322. Abou-Ali, H. Integrated paradigm for sustainable development: a panel data study / H. Abou-Ali, Y. M. Abdelfattah. – Text : direct // Economic Modelling. – 2013. – Vol. 30. – Pp. 334-342.

323. Assessing energy sustainability of rural communities using principal component analysis / H. Doukas, A. Papadopoulou, N. Savvakis [et al.]. – Text : direct // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 1949-1957.

324. Fifield, S. G. M. Macroeconomic factors and share returns: an analysis using emerging market data / S. G. M. Fifield, D. M. Power, C. D. Sinclair. – Text : direct // International Journal of Finance & Economics. – 2002. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 51-62.

325. Yilanci, V. Are shocks to ecological footprint in OECD countries permanent or temporary? / V. Yilanci, M. S. Gorus, M. Aydin. – Text : direct // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 212. – Pp. 270-301.

326. Савенков, Л. Д. Оценка инновационно-инвестиционного потенциала предприятий металлургического комплекса России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2025. – № 5 (246). – С. 316-322.

327. Савенков, Л. Д. Кластерный анализ предприятий металлургического комплекса России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2024. – № 3 (233). – С. 40-48.

328. Савенков, Л. Д. Анализ проблем управления на предприятиях металлургического комплекса России / Л. Д. Савенков. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2024. – № 234. – С. 371-375.

329. Консолидированная отчетность ПАО «ММК». – URL: <https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=9&type=4> (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

330. ПАО «Ашинский металлургический завод» : официальный сайт. – URL: <https://www.amet.ru> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

331. ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» : официальный сайт. – URL: <https://mmk.ru> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

332. ПАО «Мечел» : официальный сайт. – URL: <https://mchel.ru> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

333. ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» : официальный сайт. – URL: <https://nlmk.com/> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

334. ПАО «Северсталь» : официальный сайт. – URL: <https://severstal.com> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

335. ПАО «Трубная металлургическая компания» : официальный сайт. – URL: <https://www.tmk-group.ru> (дата обращения: 29.10.2024). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А.1 – Матрица весов (Эксперты База)

Факторы влияния	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6
Ресурсная обеспеченность	0	0,6	0	0	0	0
Устойчивое развитие	0	0	0,7	0,4	0,2	0,3
Экологическая ответственность	0	0	0	0	0	0
Технологическое обновление	0,3	0,4	0,3	0	0,6	0,2
Декарбонизация	0,2	0,5	0,6	0,7	0	0,4
Социальная ответственность	0	0,2	0,5	0,3	0,2	0

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица А.2 – Матрица весов (Сценарий 1)

Факторы влияния	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6
Ресурсная обеспеченность	0	0,6	0	0	0	0
Устойчивое развитие	0	0	0,7	0,4	0,2	0,3
Экологическая ответственность	0	0	0	0	0	0
Технологическое обновление	0,3	0,4	0,3	0	0,9	0,2
Декарбонизация	0,2	0,8	0,85	0,9	0	0,5
Социальная ответственность	0	0,2	0,5	0,3	0,2	0

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица А.3 – Матрица весов (Сценарий 2)

Факторы влияния	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6
Ресурсная обеспеченность	0	0,6	0	0	0	0
Устойчивое развитие	0	0	0,7	0,4	0,2	0,3
Экологическая ответственность	0	0	0	0	0	0
Технологическое обновление	0,3	0,4	0,3	0	0,4	0,2
Декарбонизация	0,2	0,3	0,4	0,4	0	0,3
Социальная ответственность	0	0,2	0,5	0,3	0,2	0

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Таблица А.4 – Матрица весов (Сценарий 3)

Факторы влияния	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6
Ресурсная обеспеченность	0	0,6	0	0	0	0
Устойчивое развитие	0	0	0,7	0,4	0,2	0,3
Экологическая ответственность	0	0,8	0	0,6	0	0,5
Технологическое обновление	0,3	0,4	0,3	0	0,9	0,3
Декарбонизация	0,3	0,9	0,9	0,9	0	0,6
Социальная ответственность	0	0,2	0,5	0,3	0,3	0
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.						

Приложение Б

Таблица Б.1 – Матрица экспертной оценки принципов оценки стратегического потенциала

Наименование принципа	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Эксперт 8	Эксперт 9	Эксперт 10	Эксперт 11	Эксперт 12	Эксперт 13	Эксперт 14	Эксперт 15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
П1. Принцип единства и целостности	0,0	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,8	0,6	0,6	0,7	0,4	0,3	0,9	0,5	0,6
П2. Принцип разграничения полномочий	0,5	0,0	0,6	0,7	0,8	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,5
П3. Принцип сбалансированности	0,7	0,6	0,0	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7
П4. Принцип результативности и эффективности	0,6	0,7	0,5	0,0	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6
П5. Принцип ответственности участников	0,4	0,8	0,6	0,6	0,0	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5
П6. Принцип прозрачности	0,5	0,4	0,7	0,8	0,7	0,0	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6
П7. Принцип реалистичности	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7
П8. Принцип ресурсной обеспеченности	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7	0,0	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7
П9. Принцип измеряемости целей	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6
П10. Принцип соответствия показателей целям	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7	0,0	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5

Окончание таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
П11. Программно-целевой принцип	0,4	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,0	0,6	0,7	0,8	0,7
П12. Принцип устойчивого развития	0,3	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,0	0,9	0,6	0,8
П13. Принцип экологической ответственности	0,9	0,5	0,7	0,9	0,6	0,6	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,0	0,6	0,5
П14. Принцип инноваций и технологического обновления	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6	0,0	0,7
П15. Принцип социальной ответственности	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,8	0,5	0,7	0,0
<p>Примечания</p> <p>1 Составлено автором в процессе исследования.</p> <p>2 Значения показывают степень взаимосвязи между принципами, где 0 – отсутствие влияния, 1 – максимальное влияние.</p>															

Приложение В

Таблица В.1 – Результаты сценарного моделирования принципов стратегического потенциала

Принцип	Устойчивость	Чувствительность	Ключевой вывод
Единство и целостность	Умеренная	Умеренная	Высокая Зависит от начальных условий
Сбалансированность	Высокая	Низкая	Быстрая стабилизация (0,95+)
Результативность и эффективность	Высокая	Низкая	S-кривая, максимум к шагу 3-4
Ресурсная обеспеченность	Высокая	Низкая	Инерционна, структурно устойчива
Измеряемость целей	Низкая	Низкая	Монотонное снижение (0,14-0,16)
Перспективность	Высокая	Низкая	Трансверсальна, 0,99+ к шагу 3-4
Системность	Высокая	Низкая	S-кривая, фундаментальна
Динамичность	Низкая	Высокая	Тенденция к снижению
Учет внешней среды	Низкая	Высокая	Экспоненциальное затухание
Устойчивое развитие	Высокая	Низкая	Мощные основные системы, стабилизация 0,998
Экологическая ответственность	Высокая	Низкая	Конвергенция к 0,998
Инновации и технообновление	Высокая	Низкая	«Эффект прорыва» даже при 0,3
Социальная ответственность	Высокая	Низкая	Конвергенция к 0,997 к шагу 4
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.			

Приложение Г

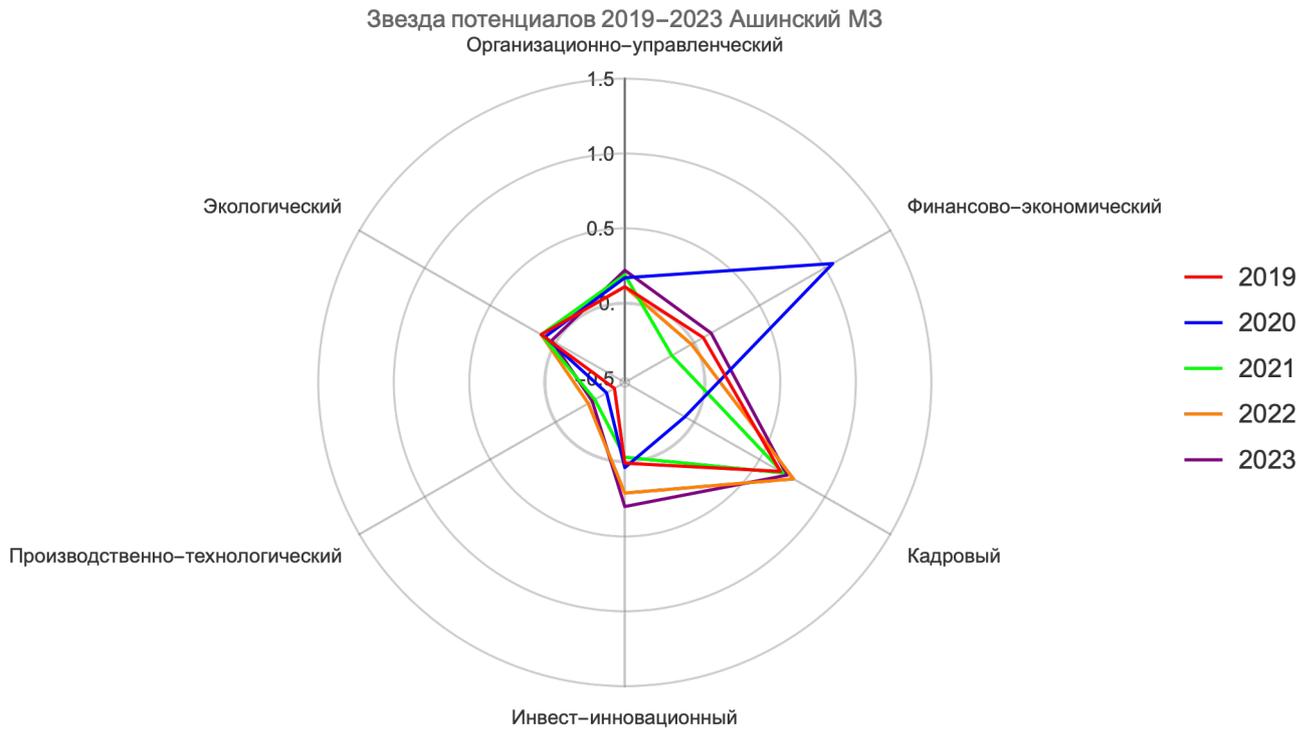


Рисунок Г.1 – Звезда потенциалов: ПАО «Ашинский метзавод»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

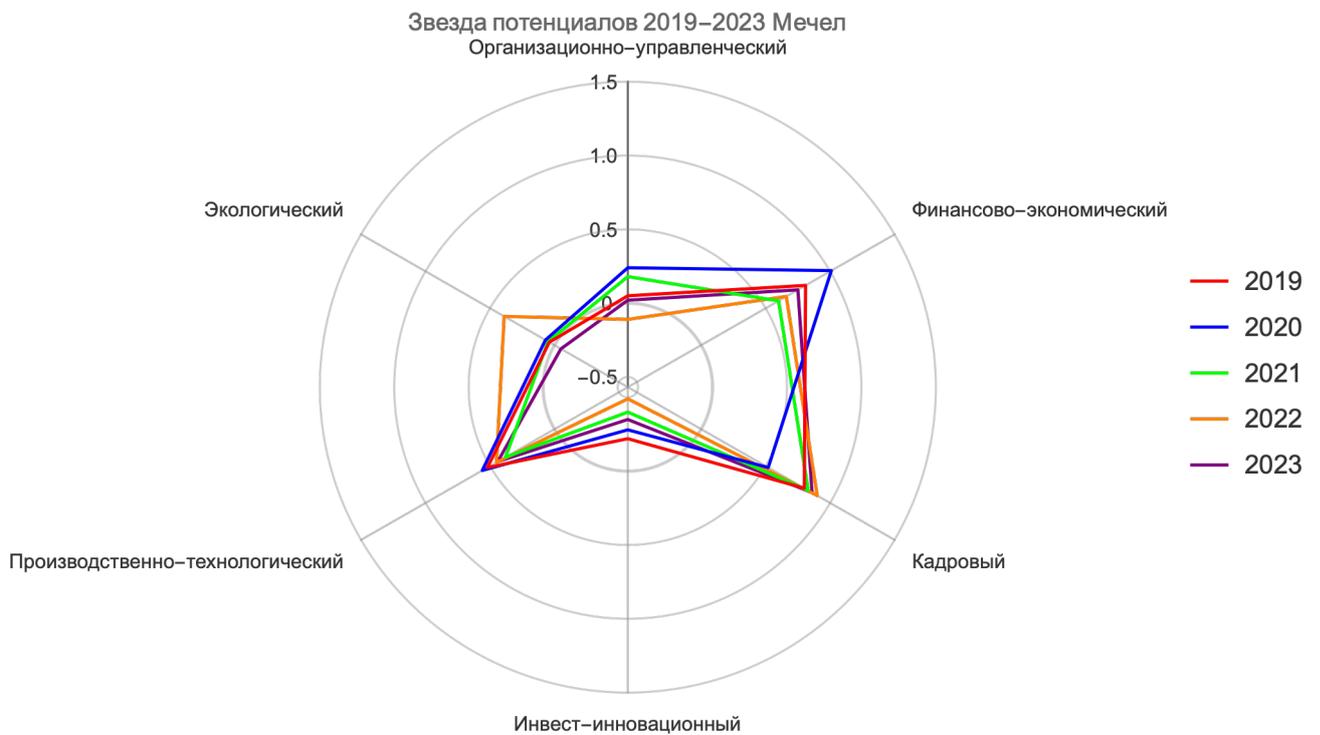


Рисунок Г.2 – Звезда потенциалов: ПАО «Мечел»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

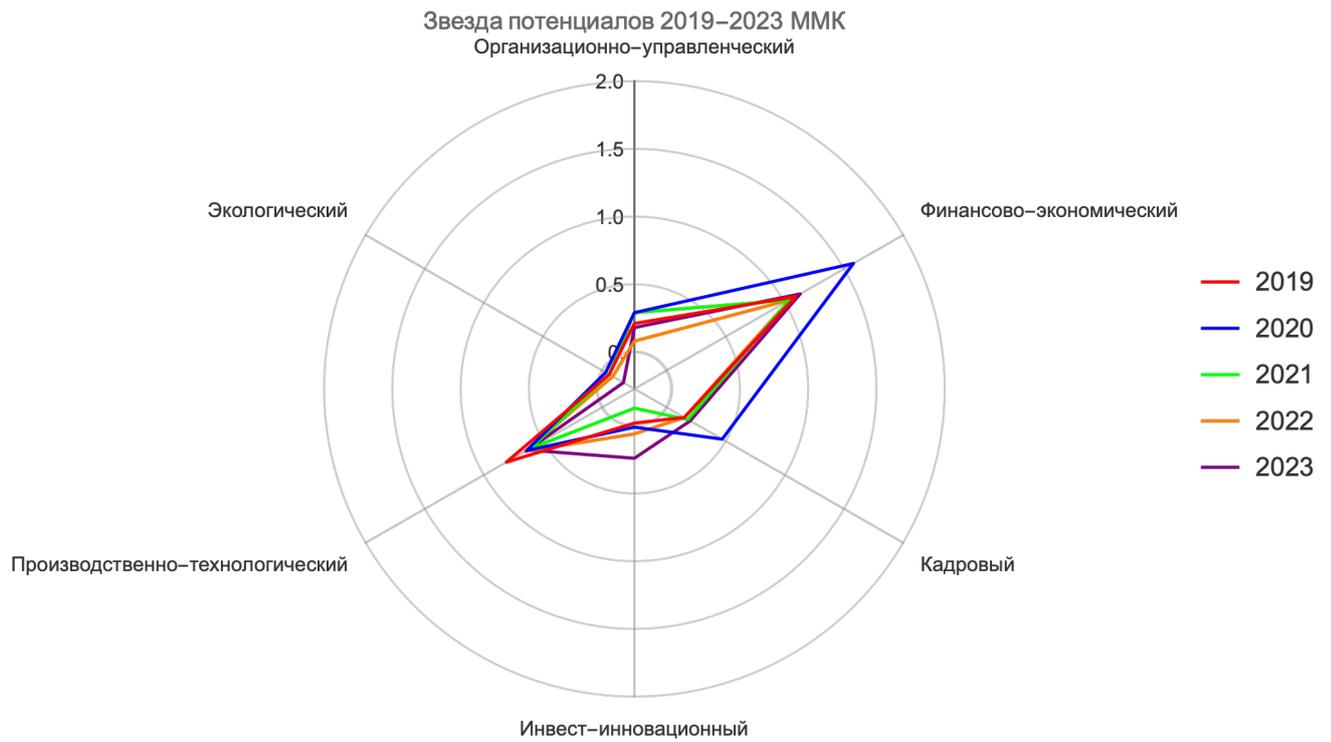


Рисунок Г.3– Звезда потенциалов: ПАО «ММК»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

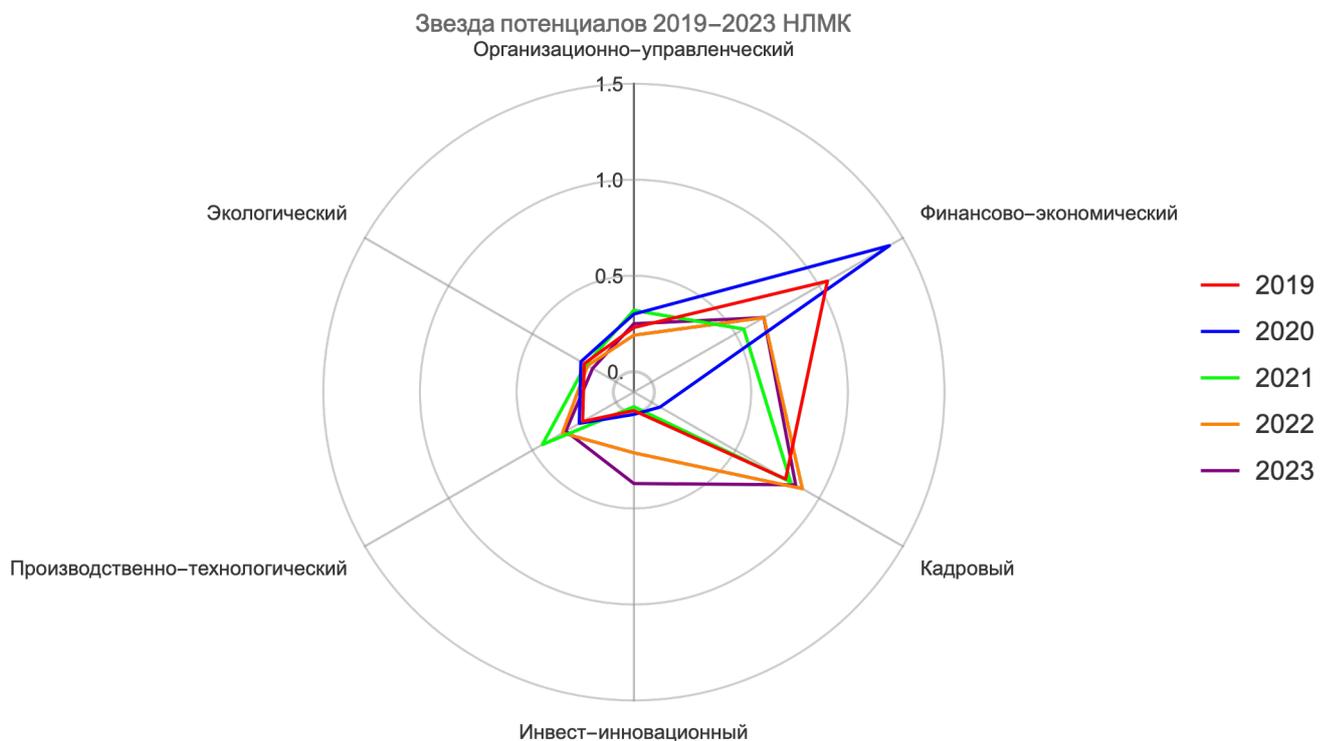


Рисунок Г.4 – Звезда потенциалов: ПАО «НЛМК»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.



Рисунок Г.5– Звезда потенциалов: ПАО «Северсталь»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

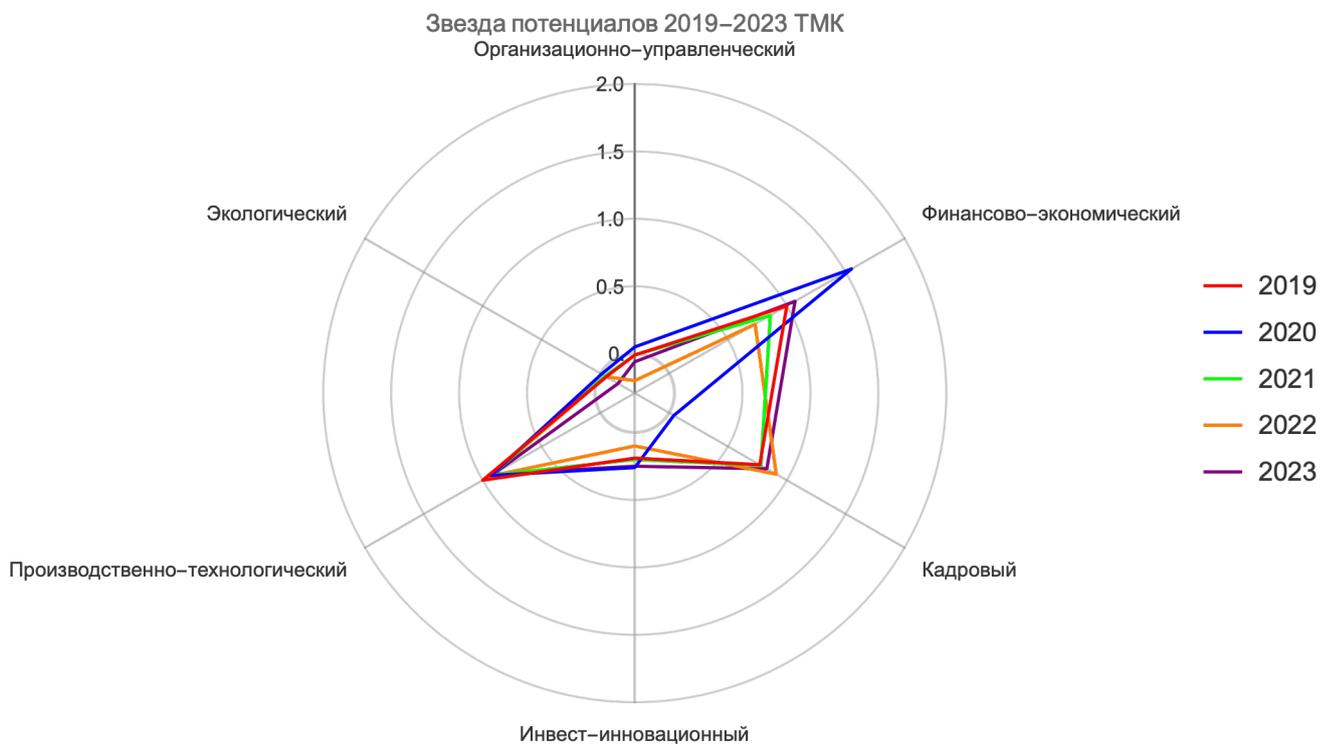


Рисунок Г.6 – Звезда потенциалов: ПАО «ТМК»

Примечание – Составлено автором в процессе исследования.

Приложение Д

Таблица Д.1 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для ПАО «Ашинский метзавод» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
Финансово-экономический	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21
Кадровый	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
Инвестиционно-инновационный	0,30	0,315	0,33	0,345	0,36
Производственно-технологический	-0,28	-0,27	-0,26	-0,25	-0,24
Экологический	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.2 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для ПАО «Ашинский метзавод» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34
Финансово-экономический	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33
Кадровый	0,71	0,75	0,79	0,83	0,87
Инвестиционно-инновационный	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Производственно-технологический	-0,28	-0,22	-0,16	-0,10	-0,04
Экологический	0,03	0,07	0,11	0,15	0,19
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.3 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для ПАО «Ашинский метзавод» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
Финансово-экономический	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05
Кадровый	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63
Инвестиционно-инновационный	0,30	0,295	0,28	0,275	0,26
Производственно-технологический	-0,28	-0,31	-0,34	-0,37	-0,40
Экологический	0,03	-0,02	-0,07	-0,12	-0,17
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.4 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Мечел» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Финансово-экономический	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83
Кадровый	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90
Инвестиционно-инновационный	-0,35	-0,335	-0,32	-0,305	-0,29
Производственно-технологический	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48
Экологический	-0,05	-0,045	-0,04	-0,035	-0,03
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.5 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Мечел» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,02	0,05	0,08	0,11	0,14
Финансово-экономический	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Кадровый	0,86	0,90	0,94	0,98	1,02
Инвестиционно-инновационный	-0,35	-0,30	-0,25	-0,20	-0,15
Производственно-технологический	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68
Экологический	-0,05	-0,01	0,03	0,07	0,11
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.6 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Мечел» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,02	0,01	0,00	-0,01	-0,02
Финансово-экономический	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
Кадровый	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78
Инвестиционно-инновационный	-0,35	-0,38	-0,41	-0,44	-0,47
Производственно-технологический	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32
Экологический	-0,05	-0,10	-0,15	-0,20	-0,25
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.7 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ММК» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
Финансово-экономический	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21
Кадровый	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
Инвестиционно-инновационный	0,24	0,255	0,27	0,285	0,30
Производственно-технологический	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67
Экологический	-0,18	-0,175	-0,17	-0,165	-0,16
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.8 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ММК» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
Финансово-экономический	1,13	1,18	1,23	1,28	1,33
Кадровый	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
Инвестиционно-инновационный	0,24	0,29	0,34	0,39	0,44
Производственно-технологический	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87
Экологический	-0,18	-0,14	-0,10	-0,06	-0,02
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.9 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ММК» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
Финансово-экономический	1,13	1,11	1,09	1,07	1,05
Кадровый	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12
Инвестиционно-инновационный	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12
Производственно-технологический	0,63	0,60	0,57	0,54	0,51
Экологический	-0,18	-0,23	-0,28	-0,33	-0,38
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.10 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «НЛМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
Финансово-экономический	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
Кадровый	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83
Инвестиционно-инновационный	0,31	0,325	0,34	0,355	0,37
Производственно-технологический	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56
Экологический	-0,12	-0,115	-0,11	-0,105	-0,10
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.11 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «НЛМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34
Финансово-экономический	1,07	1,12	1,17	1,22	1,27
Кадровый	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95
Инвестиционно-инновационный	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51
Производственно-технологический	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76
Экологический	-0,12	-0,08	-0,04	0,00	0,04
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.12 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «НЛМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
Финансово-экономический	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99
Кадровый	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71
Инвестиционно-инновационный	0,31	0,28	0,25	0,22	0,19
Производственно-технологический	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40
Экологический	-0,12	-0,17	-0,22	-0,27	-0,32
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.13 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Северсталь» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
Финансово-экономический	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
Кадровый	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,265	0,28	0,295	0,31
Производственно-технологический	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60
Экологический	-0,32	-0,315	-0,31	-0,305	-0,30
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.14 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Северсталь» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26
Финансово-экономический	1,07	1,12	1,17	1,22	1,27
Кадровый	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Производственно-технологический	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80
Экологический	-0,32	-0,28	-0,24	-0,20	-0,16
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.15 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «Северсталь» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
Финансово-экономический	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99
Кадровый	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13
Производственно-технологический	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44
Экологический	-0,32	-0,37	-0,42	-0,47	-0,52
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.16 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ТМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Умеренное развитие»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02
Финансово-экономический	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
Кадровый	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,265	0,28	0,295	0,31
Производственно-технологический	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
Экологический	-0,15	-0,145	-0,14	-0,135	-0,13
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.17 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ТМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Акцент на инновации»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	-0,06	-0,03	0,00	0,03	0,06
Финансово-экономический	1,07	1,12	1,17	1,22	1,27
Кадровый	0,83	0,87	0,91	0,95	0,99
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Производственно-технологический	0,91	0,97	1,03	1,09	1,15
Экологический	-0,15	-0,11	-0,07	-0,03	0,01
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Таблица Д.18 – Сводная таблица полученных прогнозных индексов для компании ПАО «ТМК» на 2026–2030 годы по сценарию «Экологический кризис»

Частный обобщающий индекс потенциалов	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год
Организационно-управленческий	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14
Финансово-экономический	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99
Кадровый	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75
Инвестиционно-инновационный	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13
Производственно-технологический	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79
Экологический	-0,15	-0,20	-0,25	-0,30	-0,35
Примечание – Составлено автором в процессе исследования.					

Приложение Е

Таблица Е.1 – Соответствие результатов диссертационного исследования положениям стратегических и программных документов Российской Федерации

№ п/п	Пункт научной новизны	Задачи стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года ¹ ;	Задачи стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 года ² ;	Задачи государственной программы РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» ³ ;
1	2	3	4	5
1	Концептуальная модель исследования стратегического потенциала, система универсальных и отраслевых статистических индикаторов	<ul style="list-style-type: none"> - Повышение конкурентоспособности металлопродукции - Снижение ресурсоемкости производства - Координация развития отрасли с другими секторами экономики 	<ul style="list-style-type: none"> - Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса - Удержание позиции российских компаний на зарубежных рынках 	<ul style="list-style-type: none"> - Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции - Опережающее создание инновационной инфраструктуры для развития традиционных и новых отраслей промышленности
2	Научно обоснованный статистический подход к кластеризации стран – участников мирового рынка стали и железной руды	<ul style="list-style-type: none"> - Укрепление и защита позиций России на мировом рынке металлопродукции - Уменьшение зависимости от импорта 	<ul style="list-style-type: none"> - Удержание позиции российских компаний на зарубежных рынках - Обеспечение сырьевой безопасности российской металлургической отрасли 	<ul style="list-style-type: none"> Стимулирование экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью с учетом ограничений Всемирной торговой организации, снятие регуляторных барьеров и формирование паритетных условий для вывода на рынок инновационной продукции
3	Методологический подход к статистическому анализу взаимосвязей между объемами мирового и российского производства стали и ключевыми макроэкономическими индикаторами	<ul style="list-style-type: none"> - Стимулирование внутреннего спроса на металлопродукцию; удовлетворение спроса для реализации инвестиционных проектов - Координация развития с инфраструктурными программами 	<ul style="list-style-type: none"> Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса 	<ul style="list-style-type: none"> Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции.

Продолжение таблицы Е.1

1	2	3	4	5
4	Методика прогнозирования статистических ключевых показателей развития сталелитейной промышленности	<ul style="list-style-type: none"> - Удовлетворение спроса на металлопродукцию - Увеличение производства высокотехнологичной продукции - Координация планов развития отрасли 	<ul style="list-style-type: none"> - Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса - Удержание позиции российских компаний на зарубежных рынках 	<ul style="list-style-type: none"> - Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции; опережающее создание инновационной инфраструктуры для развития традиционных и новых отраслей промышленности
5	Интегративная методика комплексного экономического анализа экологических аспектов устойчивого развития	<ul style="list-style-type: none"> - Снижение негативного воздействия на окружающую среду - Повышение энергоэффективности - Сокращение выбросов парниковых газов 	<ul style="list-style-type: none"> - Стимулирование развития экологических технологий производства металлургической продукции, а также технологий производства металлургической продукции из вторичного сырья 	<ul style="list-style-type: none"> - Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции; опережающее создание инновационной инфраструктуры для развития традиционных и новых отраслей промышленности
6	Методологический подход к статистической оценке стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности с учетом экологических факторов	<ul style="list-style-type: none"> - Снижение выбросов вредных веществ - Содействие сохранению климата - Повышение энергоэффективности металлургического производства 	<ul style="list-style-type: none"> - Стимулирование развития экологических технологий производства металлургической продукции, а также технологий производства металлургической продукции из вторичного сырья 	<ul style="list-style-type: none"> - Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции
7	Методика комплексного экономического анализа принципов оценки стратегического потенциала предприятий на основе инструментария нечетких когнитивных карт	<ul style="list-style-type: none"> - Повышение конкурентоспособности - Координация планов отраслевого развития 	<ul style="list-style-type: none"> - Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса - Удержание позиции российских компаний на зарубежных рынках 	<ul style="list-style-type: none"> - Опережающее создание инновационной инфраструктуры для развития традиционных и новых отраслей промышленности
8	Методология комплексного экономического анализа предприятий	<ul style="list-style-type: none"> - Увеличение производства высокотехнологичной продукции 	<ul style="list-style-type: none"> - Стимулирование развития экологических технологий производства металлургической 	<ul style="list-style-type: none"> - Расширение производства современной высокотехнологичной промышленной продукции

Окончание таблицы Е.1

1	2	3	4	5
	металлургического комплекса, основанная на расширенной модели BSC, дополненной ESG-перспективой и подходом бэккастинга	- Снижение ресурсоемкости - Разработка инновационных технологий - Повышение конкурентоспособности	продукции, а также технологий производства металлургической продукции из вторичного сырья - Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса	- Стимулирование экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью с учетом ограничений Всемирной торговой организации, снятие регуляторных барьеров и формирование паритетных условий для вывода на рынок инновационной продукции
9	Интегральная методика статистической оценки стратегического потенциала предприятий металлургической промышленности России на основе РСА	- Повышение конкурентоспособности металлопродукции - Стимулирование внутреннего спроса - Координация планов отраслевого развития - Снижение ресурсоемкости производства	- Создание условий для реализации потенциала внутреннего спроса на продукцию металлургического комплекса - Удержание позиции российских компаний на зарубежных рынках - Обеспечение сырьевой безопасности российской металлургической отрасли	
Примечани е – Составлено автором на основе анализа научных результатов автора и следующих документов:				
1 Стратегия развития черной металлургии Российской Федерации на 2014 –2020 годы и на перспективу до 2030 года : приказ Минпромторга РФ от 05.05.2014 № 839. URL: http://www.minpromtorg.gov.ru (дата обращения: 15.12.2025).				
2 Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 № 4260-р. URL: https://www.government.ru (дата обращения: 15.12.2025).				
3 О Государственной программе Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» : постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 328 (ред. действующая). URL: http://www.consultant.ru (дата обращения: 15.12.2025).				