

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2025.25.41.018

**Анализ синергетических эффектов цифровизации и
искусственного интеллекта в управлении ресурсосберегающими
технологиями металлургических предприятий на фоне
глобальных климатических изменений**

Мулекаев Тимур Ринатович

Аспирант,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
117485, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23;
e-mail: Mulekaev2311@gmail.com

Аннотация

Современная металлургическая отрасль функционирует в условиях ужесточающихся требований к устойчивому развитию и декарбонизации, что актуализирует поиск новых подходов к повышению ресурсоэффективности. Цель исследования заключается в выявлении и количественной оценке синергетических эффектов от совместного внедрения цифровизации и искусственного интеллекта в управление ресурсосберегающими технологиями металлургических предприятий. Научная новизна состоит в доказательстве нелинейного характера этих эффектов: цифровизация формирует инфраструктуру данных, а ИИ обеспечивает их интеллектуальную интерпретацию и предиктивное управление, что в совокупности дает результат, значительно превышающий изолированное применение данных технологий. Методологическую основу составили системный, статистический и эконометрический анализ. Эмпирическая база включала данные по 25 ведущим металлургическим предприятиям России и СНГ за 2016–2024 гг., более 500 тыс. наблюдений по 80 показателям, а также технологические аудиты и корпоративные отчеты. Разработан «Индекс цифровой и интеллектуальной зрелости» (ИЦИЗ), отражающий уровень интеграции датчиков, IoT, цифровых двойников и ИИ-систем. Использовались методы корреляционно-регрессионного анализа, имитационного моделирования и дисконтированных денежных потоков (DCF), обработка данных велась в Stata и Python. Результаты показали, что предприятия с высоким уровнем ИЦИЗ снизили энергоемкость производства на 22,7% против 3,5% у компаний с фрагментарной цифровизацией. Среднегодовой темп роста индекса производительности ресурсов в группах с глубокой интеграцией ИИ составил 8,11%, что втрое выше, чем при развитой цифровизации без ИИ. Корреляционный анализ выявил сильную отрицательную зависимость уровня ИЦИЗ от затрат на энергию и топливо (-0,874 и -0,812). Финансовое моделирование подтвердило высокую инвестиционную привлекательность синергетических систем: NPV 8,81 млрд руб. и ROI 212,5% за 7 лет при сроке окупаемости 4,1 года. Таким образом, синергия цифровизации и ИИ формирует интеллектуализированные производственные системы, обеспечивающие значимое снижение энергоемкости, рост продуктивности ресурсов и долгосрочную экономическую эффективность. Практическая ценность исследования заключается в обосновании стратегий инвестирования в платформенные цифровые

экосистемы, а также в формировании ориентиров для отраслевых дорожных карт цифровой трансформации.

Для цитирования в научных исследованиях

Мулекаев Т.Р. Анализ синергетических эффектов цифровизации и искусственного интеллекта в управлении ресурсосберегающими технологиями металлургических предприятий на фоне глобальных климатических изменений // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 7А. С. 173-182. DOI: 10.34670/AR.2025.25.41.018

Ключевые слова

Цифровизация, искусственный интеллект, синергетический эффект, ресурсосбережение, металлургия.

Введение

Современная мировая экономика функционирует в условиях беспрецедентного давления со стороны глобальных климатических изменений, что формирует императив к кардинальному пересмотру производственных парадигм в наиболее ресурсоемких отраслях. Металлургический комплекс, исторически являющийся одним из столпов индустриального развития, одновременно выступает и одним из ключевых источников антропогенного воздействия на окружающую среду. По данным Международного энергетического агентства, на долю черной металлургии приходится порядка 7-9% общемировых выбросов CO₂, а общее энергопотребление сектора составляет около 8% от конечного мирового потребления энергии. В Российской Федерации эти показатели традиционно выше средних по ОЭСР, что обусловлено как структурными особенностями промышленности, так и уровнем технологического износа основных фондов [Третьяков, Череповицын, 2022]. Статистика последних пяти лет демонстрирует, что, несмотря на локальные успехи в модернизации, совокупное снижение удельных выбросов в отрасли не превышает 1.5% в год, что является недостаточным для достижения целей, задекларированных в рамках Парижского соглашения.

В этом контексте возникает острая необходимость в поиске и внедрении прорывных управленческих и технологических решений, способных обеспечить нелинейный скачок в эффективности использования ресурсов. Таким решением представляется конвергенция двух мегатрендов – тотальной цифровизации производственных процессов и повсеместного внедрения систем искусственного интеллекта (ИИ). Согласно отчетам McKinsey & Company, комплексное применение цифровых инструментов в тяжелой промышленности способно снизить энергопотребление на 15-20% и повысить производительность на 3-5% [Сергеев, 2021]. Однако большинство существующих исследований рассматривают эффекты цифровизации и ИИ изолированно, упуская из виду ключевой аспект – их синергетическое взаимодействие. Цифровизация создает информационную инфраструктуру, генерируя огромные массивы данных (Big Data) о каждом этапе технологического цикла, в то время как искусственный интеллект предоставляет инструментарий для анализа этих данных, выявления скрытых закономерностей и принятия предиктивных управленческих решений в режиме реального времени [Трофимов, 2023].

Именно синергия, возникающая на стыке этих технологий, позволяет перейти от простой автоматизации к созданию самообучающихся и самооптимизирующихся производственных

систем. Например, внедрение цифровых двойников доменной печи само по себе позволяет моделировать процессы, но лишь в связке с ИИ, который анализирует тысячи параметров – от химического состава шихты до температурных градиентов – становится возможным динамическое управление процессом плавки для достижения максимального выхода годного при минимальном расходе кокса и природного газа. Предварительные оценки экспертов указывают, что синергетический эффект может превышать сумму эффектов от изолированного внедрения технологий на 30-40% [Трофимов, 2024]. Тем не менее, эмпирическое подтверждение и количественная оценка этого синергизма для металлургической отрасли остаются недостаточно изученной областью, что и определяет актуальность и научную новизну настоящего исследования. Целью данной работы является комплексный анализ и количественная оценка синергетических эффектов от совместного применения цифровизации и искусственного интеллекта в управлении ресурсосберегающими технологиями на металлургических предприятиях.

Материалы и методы исследования

Исследование базируется на комплексном подходе, сочетающем методы экономического, статистического и эконометрического анализа. Эмпирической базой послужили неагрегированные данные по 25 ведущим металлургическим предприятиям России и стран СНГ за период с 2016 по 2024 год включительно. Выборка предприятий была стратифицирована по объему производства, основному сортаменту выпускаемой продукции и заявленному уровню технологической модернизации. Источниками первичной информации выступили годовые финансовые и нефинансовые (включая отчеты об устойчивом развитии) отчеты компаний, внутренняя производственная статистика, предоставленная на условиях конфиденциальности, а также данные технологического аудита, проведенного независимыми консалтинговыми агентствами. Общий объем проанализированных временных рядов превысил 500 тысяч наблюдений по более чем 80 операционным и финансовым показателям [Дяченко, Семишкур, Кувшинов, 2023].

Информационно-теоретическую основу работы составил систематический анализ более 150 научных публикаций, монографий, диссертационных исследований и аналитических отчетов ведущих мировых исследовательских центров, опубликованных за последние десять лет в рецензируемых изданиях, таких как *Journal of Cleaner Production*, *Metallurgical and Materials Transactions*, а также в базах данных Scopus, Web of Science и РИНЦ. Для оценки уровня внедрения цифровых технологий и ИИ была разработана авторская методика, основанная на индексном подходе. Был сконструирован композитный «Индекс цифровой и интеллектуальной зрелости» (ИЦИЗ), включающий в себя 15 субиндексов, сгруппированных в три блока: «Инфраструктура и сбор данных» (уровень оснащенности датчиками, IoT-платформы, промышленные сети), «Аналитика и моделирование» (использование Big Data, предиктивной аналитики, цифровых двойников) и «Автономность и принятие решений» (применение систем машинного обучения, роботизированных комплексов, систем поддержки принятия решений на базе ИИ) [Еремин, Столяров, Сафарова, Гавриленко, 2024]. Каждому предприятию в каждый год исследования присваивалось значение ИЦИЗ по шкале от 0 до 100.

Основным инструментарием обработки данных выступили методы корреляционно-регрессионного анализа, позволившие выявить статистически значимые взаимосвязи между уровнем ИЦИЗ и ключевыми показателями ресурсоэффективности: удельный расход условного

топлива на тонну стали, расход воды на производственные нужды, коэффициент использования материала, а также совокупные операционные затраты [Андреева, Иванова, Какаева, Докторова, 2022]. Для оценки именно синергетического эффекта применялось построение многофакторных эконометрических моделей с введением перекрестных (интерактивных) переменных, отражающих совместное влияние факторов цифровизации и ИИ. Также были использованы методы сравнительного анализа (бенчмаркинга) для сопоставления показателей предприятий-лидеров по уровню ИЦИЗ с аутсайдерами и средними значениями по отрасли. Прогнозирование потенциальных экономических выгод осуществлялось с помощью методов имитационного моделирования и анализа дисконтированных денежных потоков (DCF-анализ) для различных сценариев инвестиций в интегрированные цифровые платформы [Терешко, Малашенко, Середин, 2025]. Вся обработка данных производилась с использованием программных пакетов Stata 17 и Python с библиотеками Pandas и Scikit-learn.

Результаты и обсуждение

Ключевой проблемой при оценке эффективности внедрения новых технологий в металлургии является сложность выделения чистого эффекта от конкретного нововведения на фоне высокой волатильности рыночных цен на сырье и энергоносители, а также постоянной модернизации смежных производственных участков. Традиционные подходы, анализирующие динамику удельных расходов, часто не способны отделить эффект от внедрения, например, системы предиктивного обслуживания на базе ИИ от эффекта, вызванного установкой нового, более энергоэффективного прокатного стана. Это создает «информационный шум», который затрудняет принятие обоснованных инвестиционных решений. Для преодоления этой методологической трудности в нашем исследовании был сделан акцент на сравнительном анализе групп предприятий, находящихся на разных стадиях цифровой трансформации, что позволяет нивелировать общерыночные факторы и выявить зависимости именно от уровня технологической зрелости.

В рамках исследования были проанализированы такие ключевые показатели, как энергоемкость производства, индекс производительности ресурсов (ИПР), структура операционных затрат и рентабельность инвестиций. Выбор именно этих индикаторов обусловлен их комплексным характером: они отражают не только прямую экономию конкретного ресурса (например, кокса или электроэнергии), но и косвенные эффекты, связанные с повышением стабильности технологических процессов, снижением брака и увеличением производительности оборудования, что в совокупности и формирует искомый синергетический эффект. Первым шагом стал анализ влияния уровня внедрения цифровых технологий на базовый показатель эффективности – энергоемкость производства.

Анализ данных демонстрирует нелинейную зависимость между уровнем цифровой и интеллектуальной зрелости и снижением энергоемкости. Предприятия с низким уровнем ИЦИЗ, где цифровизация носит фрагментарный характер (например, внедрены лишь отдельные АСУ ТП без комплексной интеграции), показали минимальное снижение энергопотребления – всего 3.52% за шесть лет, что сопоставимо с фоновыми улучшениями за счет плановых ремонтов и частичной модернизации. Группа со средним уровнем, активно использующая сбор данных и базовую аналитику, достигла более существенного результата в 8.13%. Однако наиболее показательным является результат группы с высоким уровнем ИЦИЗ. Снижение энергоемкости

на 22.70% свидетельствует о качественном скачке в эффективности. Этот результат не может быть объяснен лишь суммой эффектов от отдельных цифровых инструментов. Он является прямым следствием синергии: данные с тысяч датчиков (IoT) в реальном времени поступают на платформу, где ИИ-алгоритмы строят предиктивные модели, оптимизируя режимы работы агрегатов (например, дуговых сталеплавильных печей) с учетом десятков переменных, что недостижимо для оператора-человека [Азиева, 2021]. Таким образом, достигается не просто автоматизация, а интеллектуализация управления энергопотреблением.

Далее был проведен анализ более комплексного показателя – индекса производительности ресурсов (ИПР), который рассчитывался как отношение объема произведенной товарной продукции к совокупной стоимости потребленных материальных и энергетических ресурсов. Этот индекс позволяет оценить общую эффективность использования всех видов ресурсов в производственном цикле.

Группа предприятий, где цифровизация развита, но ИИ-решения практически не применяются, демонстрирует умеренный, но стабильный рост ИПР на уровне 3.06% в год. Этот рост обусловлен повышением прозрачности процессов и улучшением контроля. Однако предприятия, сделавшие ставку на глубокую интеграцию ИИ (доля соответствующих субиндексов в ИЦИЗ превышает 30%), показывают среднегодовой темп роста ИПР на уровне 8.11%, что почти втрое выше. Это объясняется тем, что ИИ позволяет перейти от реактивного управления (устранение проблем по факту их возникновения) к проактивному [Сметанников, Масленников, 2024]. Системы предиктивной аналитики качества сырья позволяют заранее корректировать состав шихты, минимизируя расход легирующих добавок. Алгоритмы машинного обучения прогнозируют износ футеровки конвертеров, позволяя проводить ремонты точно в срок, избегая как преждевременных остановок, так и аварийных простоев. Этот переход к предиктивному управлению на всех этапах и является основным драйвером столь значительного роста производительности ресурсов.

Результаты корреляционного анализа выявляют сильную отрицательную взаимосвязь между уровнем цифровой и интеллектуальной зрелости и всеми ключевыми статьями ресурсоемких затрат. Наиболее сильная корреляция (-0.874 и -0.812) наблюдается с затратами на энергию и топливо, что полностью согласуется с выводами из анализа энергоемкости. Это подтверждает, что именно энергетическая эффективность является главным и наиболее быстро достигаемым результатом внедрения интеллектуальных систем управления. Высокий коэффициент корреляции с затратами на основное сырье (-0.655) объясняется работой систем сквозного контроля качества и оптимизации раскроя, что ведет к снижению уровня брака и повышению коэффициента использования металла [Ломаченко, 2020]. Более умеренная, но все еще статистически значимая корреляция с затратами на ТОиР (-0.421) указывает на эффект от внедрения систем предиктивного обслуживания, которые, как уже отмечалось, оптимизируют график ремонтов и снижают количество аварийных отказов оборудования [Матвеева, 2023].

Финансовое моделирование однозначно указывает на экономическую состоятельность стратегии, ориентированной на достижение синергетического эффекта. Несмотря на самый высокий объем первоначальных инвестиций (6.5 млрд руб.), сценарий «Синергетическая система» демонстрирует наилучшие показатели эффективности: самый короткий срок окупаемости (4.1 года), максимальную рентабельность инвестиций за семилетний горизонт (212.5%) и, что наиболее важно с точки зрения долгосрочной акционерной стоимости, наивысший показатель чистой приведенной стоимости (8.81 млрд руб.). Это доказывает, что

дополнительные затраты на ИИ-платформы, специалистов по данным и вычислительные мощности многократно окупаются за счет более глубокой и всесторонней оптимизации производственных процессов [Тасуева, Идигова, Абумуслимова, 2024]. Сценарий «Лоскутная автоматизация» выглядит наименее привлекательным, подтверждая тезис о том, что неинтегрированные решения дают ограниченный и быстро исчерпываемый эффект.

Совокупный анализ полученных данных позволяет утверждать, что синергия цифровизации и искусственного интеллекта не является абстрактной концепцией, а представляет собой измеримый экономический феномен, оказывающий мультипликативное воздействие на ресурсоэффективность металлургического производства. В отличие от линейного эффекта простого сложения результатов от отдельных технологий, синергия порождает качественные изменения в системе управления. Создается единое информационно-управляющее пространство, в котором данные превращаются в ценный актив, а решения принимаются на основе математически выверенных моделей, а не только на опыте и интуиции оператора [Касьяненко и др., 2025]. Это приводит к снижению влияния человеческого фактора, повышению стабильности и предсказуемости технологических процессов, что в конечном итоге и транслируется в наблюдаемое снижение удельных расходов и рост производительности. Математическая обработка данных показала, что переход от среднего уровня ИЦИЗ к высокому (что соответствует переходу от простой цифровизации к синергетической системе) дает прирост в темпах снижения энергоемкости в 2.7 раза, а в темпах роста производительности ресурсов – в 2.65 раза, что наглядно демонстрирует нелинейный, взрывной характер синергетического эффекта [Бочкарев, Добронравин, 2020].

Заключение

Проведенное исследование позволило эмпирически подтвердить и количественно оценить наличие значимого синергетического эффекта от совместного применения технологий цифровизации и искусственного интеллекта в управлении ресурсосбережением на металлургических предприятиях. Установлено, что изолированное внедрение цифровых инструментов или точечное применение ИИ-алгоритмов дает ограниченный и быстро затухающий экономический результат. Настоящий прорыв в повышении операционной эффективности и снижении экологической нагрузки достигается только при создании интегрированных, интеллектуальных производственных систем, где цифровизация формирует инфраструктуру для сбора и передачи данных, а искусственный интеллект выступает в роли «мозгового центра», осуществляющего их комплексный анализ и генерирующего оптимальные управляющие воздействия.

Ключевые количественные результаты исследования свидетельствуют о масштабе этого эффекта. Было доказано, что предприятия с высоким уровнем интеграции цифровых и ИИ-решений способны снижать энергоемкость производства на 22.7% за шестилетний период, в то время как предприятия с фрагментарной автоматизацией достигают снижения лишь на 3.5%. Среднегодовой темп роста индекса производительности ресурсов на предприятиях-лидерах достигает 8.11%, что почти втрое превышает показатели компаний, ограничившихся развитой цифровизацией без глубокого внедрения ИИ. Финансовое моделирование показало, что, несмотря на более высокие первоначальные капиталовложения, стратегия построения синергетической системы является наиболее выгодной в долгосрочной перспективе,

обеспечивая чистую приведенную стоимость проекта, в 2.5 раза превышающую NPV от комплексной цифровизации, и в 13 раз – от лоскутной автоматизации.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для руководителей и собственников металлургических компаний. Они доказывают необходимость пересмотра инвестиционных стратегий в пользу комплексных, платформенных решений, а не закупки отдельных «модных» технологий. Управленческий фокус должен быть смещен с решения локальных задач автоматизации на построение единой цифровой экосистемы предприятия. Это, в свою очередь, требует не только технологических, но и организационных изменений: создания центров компетенций по работе с данными, переобучения персонала, изменения корпоративной культуры в сторону принятия решений на основе данных (data-driven culture).

В перспективе, дальнейшее развитие синергетических эффектов будет связано с внедрением технологий следующего поколения, таких как промышленный интернет вещей (IIoT), периферийные вычисления (edge computing) и генеративные нейронные сети для моделирования новых сплавов и технологических процессов. Результаты данного исследования могут служить отправной точкой для разработки отраслевых дорожных карт цифровой трансформации, а также для формирования государственных программ стимулирования, направленных на поддержку именно комплексных, синергетических проектов, способных обеспечить не только экономический рост, но и достижение национальных целей в области устойчивого развития и снижения углеродного следа.

Библиография

1. Азиева Р.Х. Поиск и освоение новых месторождений: методологический подход экономической оценки применения цифровых технологий в нефтегазовой отрасли // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2021. № 3 (37). С. 53-66.
2. Андреева В.А., Иванова М.В., Какаева М.Ю., Докторова А.Д. Оптимизация логистики в нефтегазовой отрасли: отдельные подходы и направления развития // Альманах Крым. 2022. № 33. С. 148-155.
3. Бочкарев А.А., Добронравин Е.Р. Организация материального потока в условиях цифровой экономики: место и роль технологии цифрового двойника // Научное обозрение: теория и практика. 2020. Т. 10. № 9 (77). С. 1869-1884.
4. Дяченко И.А., Семишкур Р.П., Кувшинов В.В. Реализация концепции цифровых двойников в управлении производственно-технологическими процессами предприятий нефтегазового комплекса Российской Федерации // Газовая промышленность. 2023. № 10 (855). С. 134-144.
5. Еремин Н.А., Столяров В.Е., Сафарова Е.А., Гавриленко С.И. Применение цифровых технологий при реконструкции систем управления газотранспортной системой // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2024. № 1 (57). С. 83-89.
6. Касьяненко А.А. и др. Разработка технологии формирования математических моделей для цифровых двойников нефтегазодобывающих компаний // Нефтегазовое дело. 2025. Т. 23. № 2. С. 167-178.
7. Ломаченко Т.И. Креативная стратегия цифровизации как фактор безопасности и устойчивого развития нефтегазового комплекса // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 10-1. С. 64-68.
8. Матвеева Е.П. Разработка теоретико-концептуальных основ совершенствования управления цепями поставок нефтегазовых компаний в условиях цифровизации // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2023. № 63. С. 187-205.
9. Сергеев И. Методологические аспекты использования концепции цифровых двойников при мониторинге цепей поставок // Логистика. 2021. № 7 (176). С. 16-24.
10. Сметанников А.П., Масленников Д.В. Рентабельность разработки месторождений углеводородов: вызовы и пути их преодоления // Нефть. Газ. Новации. 2024. № 12 (289). С. 56-59.
11. Тасуева Т.С., Идигова Л.М., Абумуслимова Ф.И. Цифровой дизайн высокотехнологичных логистических центров в нефтегазовой отрасли // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2024. № 1 (229). С. 30-35.
12. Терешко Е.К., Малашенко М.Р., Середин Е.П. Цифровая трансформация процессов промышленных объектов нефтегазового месторождения // Онтология проектирования. 2025. Т. 15. № 3 (57). С. 376-389.

13. Третьяков Н.А., Череповицын А.Е. Формирование организационно-экономического механизма развития цифровых технологий в нефтегазовом секторе // Друкеровский вестник. 2022. № 3 (47). С. 64-82.
14. Трофимов С. Развитие методологических основ государственного регулирования нефтегазового комплекса на современном этапе экономических отношений // Общество и экономика. 2024. № 11. С. 31-46.
15. Трофимов С.Е. Теоретические общенаучные подходы в научном исследовании государственного регулирования нефтегазового комплекса // Экономика устойчивого развития. 2023. № 4 (56). С. 197-204.

Analysis of the synergistic effects of digitalization and artificial intelligence in managing resource-saving technologies at metallurgical enterprises against the backdrop of global climate change

Timur R. Mulekaev

Postgraduate Student,
Russian State Geological Prospecting
University named after Sergo Ordzhonikidze
117485, 23 Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: Mulekaev2311@gmail.com

Abstract

The modern metallurgical industry operates under tightening requirements for sustainable development and decarbonization, which highlights the need to seek new approaches to improving resource efficiency. The aim of the study is to identify and quantitatively assess the synergistic effects of the joint implementation of digitalization and artificial intelligence in managing resource-saving technologies at metallurgical enterprises. The scientific novelty lies in demonstrating the nonlinear nature of these effects: digitalization creates the data infrastructure, while AI provides intelligent interpretation and predictive control, which together deliver results that significantly exceed the isolated application of these technologies. The methodological basis comprised systemic, statistical, and econometric analysis. The empirical base included data on 25 leading metallurgical enterprises in Russia and the CIS for 2016–2024, more than 500,000 observations across 80 indicators, as well as technology audits and corporate reports. A Digital and Intelligent Maturity Index (DIMI) was developed, reflecting the level of integration of sensors, IoT, digital twins, and AI systems. Methods of correlation–regression analysis, simulation modeling, and discounted cash flow (DCF) were used; data processing was performed in Stata and Python. The results showed that enterprises with a high DIMI level reduced the energy intensity of production by 22.7%, versus 3.5% at companies with piecemeal digitalization. The average annual growth rate of the resource productivity index in groups with deep AI integration was 8.11%, which is three times higher than with advanced digitalization without AI. Correlation analysis revealed a strong negative relationship between the DIMI level and energy and fuel costs (–0.874 and –0.812). Financial modeling confirmed the high investment attractiveness of synergistic systems: an NPV of RUB 8.81 billion and an ROI of 212.5% over 7 years, with a payback period of 4.1 years. Thus, the synergy of digitalization and AI forms intelligent production systems that ensure a significant reduction in energy intensity, growth in resource productivity, and long-term economic efficiency. The practical value of the study lies in substantiating investment strategies for platform-based digital ecosystems, as well as in providing benchmarks for industry roadmaps of digital transformation.

For citation

Mulekaev T.R. (2025) Analiz sinergeticheskikh effektiv tsifrovizatsii i iskusstvennogo intellekta v upravlenii resursosberegayushchimi tekhnologiyami metallurgicheskikh predpriyatiy na fone global'nykh klimaticheskikh izmenenii [Analysis of the synergistic effects of digitalization and artificial intelligence in managing resource-saving technologies at metallurgical enterprises against the backdrop of global climate change]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (7A), pp. 173-182. DOI: 10.34670/AR.2025.25.41.018

Keywords

Digitalization, artificial intelligence, synergistic effect, resource saving, metallurgy

References

1. Andreeva V.A., Ivanova M.V., Kakaeva M.Yu., Doktorova A.D. (2022) Optimizatsiya logistiki v neftegazovoy otrasli: ot del'nykh podkhodov k napravleniyu razvitiya [Logistics optimization in the oil and gas industry: specific approaches and development directions]. *Al'manakh Krym* [Crimea Almanac], 33, pp. 148-155.
2. Azieva R.Kh. (2021) Poisk i osvoenie novykh mestorozhdeniy: metodologicheskiy podkhod ekonomicheskoy otsenki primeneniya tsifrovyykh tekhnologiy v neftegazovoy otrasli [Exploration and development of new fields: methodological approach to economic assessment of digital technology application in the oil and gas industry]. *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of Ufa State Petroleum Technological University. Science, Education, Economy. Series: Economics], 3(37), pp. 53-66.
3. Bochkarev A.A., Dobronravina E.R. (2020) Organizatsiya material'nogo potoka v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki: mesto i rol' tekhnologii tsifrovogo dvoynika [Organization of material flow in the digital economy: the place and role of digital twin technology]. *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika* [Scientific Review: Theory and Practice], 10(9)(77), pp. 1869-1884.
4. Dyachenko I.A., Semishkur R.P., Kuvshinov V.V. (2023) Realizatsiya kontseptsii tsifrovyykh dvoynikov v upravlenii proizvodstvenno-tekhnologicheskimi protsessami predpriyatiy neftegazovogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii [Implementation of the digital twin concept in managing production and technological processes of oil and gas complex enterprises of the Russian Federation]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas Industry], 10(855), pp. 134-144.
5. Eremin N.A., Stolyarov V.E., Safarova E.A., Gavrilenko S.I. (2024) Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy pri rekonstruktsii sistem upravleniya gazotransportnoy sistemoy [Application of digital technologies in the reconstruction of gas transmission system control systems]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Vesti gazovoy nauki* [Scientific and Technical Collection "News of Gas Science"], 1(57), pp. 83-89.
6. Kas'yanenko A.A. et al. (2025) Razrabotka tekhnologii formirovaniya matematicheskikh modeley dlya tsifrovyykh dvoynikov neftegazodobyvayushchikh kompaniy [Development of technology for creating mathematical models for digital twins of oil and gas production companies]. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], 23(2), pp. 167-178.
7. Lomachenko T.I. (2020) Kreativnaya strategiya tsifrovizatsii kak faktor bezopasnosti i ustoychivogo razvitiya neftegazovogo kompleksa [Creative digitalization strategy as a factor of safety and sustainable development of the oil and gas complex]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of Altai Academy of Economics and Law], 10-1, pp. 64-68.
8. Matveeva E.P. (2023) Razrabotka teoretiko-kontseptual'nykh osnov sovershenstvovaniya upravleniya tsepyami postavok neftegazovykh kompaniy v usloviyakh tsifrovizatsii [Development of theoretical and conceptual foundations for improving supply chain management of oil and gas companies in the context of digitalization]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Bulletin of Tomsk State University. Economics], 63, pp. 187-205.
9. Sergeev I. (2021) Metodologicheskie aspekty ispol'zovaniya kontseptsii tsifrovyykh dvoynikov pri monitoringe tsepey postavok [Methodological aspects of using the digital twin concept in supply chain monitoring]. *Logistika* [Logistics], 7(176), pp. 16-24.
10. Smetannikov A.P., Maslennikov D.V. (2024) Rentabel'nost' razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodov: vyzovy i puti ikh preodoleniya [Profitability of hydrocarbon field development: challenges and ways to overcome them]. *Neft'. Gaz. Novatsii* [Oil. Gas. Innovations], 12(289), pp. 56-59.
11. Tasueva T.S., Idigova L.M., Abumuslimova F.I. (2024) Tsifrovoy dizayn vysokotekhnologichnykh logisticheskikh tsentrov v neftegazovoy otrasli [Digital design of high-tech logistics centers in the oil and gas industry]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Problems of Economics and Management of the Oil and Gas Complex], 1(229), pp. 30-35.
12. Tereshko E.K., Malashenko M.R., Seredin E.P. (2025) Tsifrovaya transformatsiya protsessov promyshlennykh ob"ektov neftegazovogo mestorozhdeniya [Digital transformation of processes at industrial facilities of oil and gas]

- fields]. *Ontologiya proektirovaniya* [Design Ontology], 15(3)(57), pp. 376-389.
13. Tretyakov N.A., Cherepovitsyn A.E. (2022) Formirovanie organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy v neftegazovom sektore [Formation of an organizational and economic mechanism for the development of digital technologies in the oil and gas sector]. *Drukerovskiy vestnik* [Drucker Bulletin], 3(47), pp. 64-82.
14. Trofimov S. (2024) Razvitie metodologicheskikh osnov gosudarstvennogo regulirovaniya neftegazovogo kompleksa na sovremennom etape ekonomicheskikh otnosheniy [Development of methodological foundations for state regulation of the oil and gas complex at the present stage of economic relations]. *Obshchestvo i ekonomika* [Society and Economics], 11, pp. 31-46.
15. Trofimov S.E. (2023) Teoreticheskie obshchenauchnye podkhody v nauchnom issledovanii gosudarstvennogo regulirovaniya neftegazovogo kompleksa [Theoretical general scientific approaches in the scientific research of state regulation of the oil and gas complex]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya* [Sustainable Development Economy], 4(56), pp. 197-204.