

Цифровые платформы как драйверы устойчивого экономического развития горных компаний

А.Б. Моттаева, Ю.А. Крупнов ✉, А.Б. Моттаева

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
✉ yakrupnov@fa.ru

Резюме: В нынешних условиях, когда темп ускоряющейся цифровой трансформации горной промышленности растет, ключевым фактором повышения устойчивости и экономической эффективности предприятий становится использование цифровых платформ и технологий анализа больших данных. Для определения условий внедрения цифровых платформ и аналитики больших данных в горнодобывающих компаниях необходимо выявить наиболее перспективные направления цифровой трансформации и оценить их влияние на устойчивое экономическое развитие предприятий. В статье предложены ключевые факторы и критерии, сгруппированные по следующим направлениям: технологические, экономические, организационные, ресурсно-экологические и социально-управленческие. Разработана высокоуровневая методическая модель выбора цифровых платформ и инструментов анализа больших данных, оптимально подходящих для условий горной промышленности. Особое внимание уделено оценке экономического эффекта от внедрения технологий на основе данных – за счёт оптимизации производственных процессов, повышения точности прогнозирования, сокращения логистических потерь и повышения энергетической эффективности операций. Полученные результаты могут служить инструментом для разработки корпоративных цифровых стратегий, оценки инвестиционной привлекательности цифровых проектов и повышения эффективности управления в горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: цифровые платформы, большие данные, горная промышленность, устойчивое развитие предприятий, цифровая трансформация, экономическая эффективность, интеллектуальные системы, цифровые двойники, аналитика данных, платформенная экономика, управление ресурсами, промышленная безопасность

Для цитирования: Моттаева А.Б., Крупнов Ю.А., Моттаева А.Б. Цифровые платформы как драйверы устойчивого экономического развития горных компаний. *Горная промышленность*. 2026;(1):74–82. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-74-82>

Digital platforms as drivers of sustainable economic development for mining companies

A.B. Mottaeva, Yu.A. Krupnov ✉, A.B. Mottaeva

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
✉ yakrupnov@fa.ru

Abstract: Currently, as the pace of digital transformation in the mining industry is accelerating, the use of digital platforms and technologies of big data analysis is becoming a key factor in increasing the sustainability and economic efficiency of the companies. To determine the conditions for introduction of digital platforms and big data analytics in mining companies, it is necessary to identify the most promising areas of digitalization and assess their impact on the sustainable economic development of the companies. The study suggests key factors and criteria that are grouped into the following areas: technological, economic, organizational, resource and environmental, and social and managerial. A high-level methodological model has been developed for selecting digital platforms and big data analysis tools that are best suited for the mining industry. Particular attention is paid to assessing the economic impact of implementing the data-based technologies by optimizing the production processes, improving forecasting accuracy, reducing logistical losses, and enhancing the energy efficiency of operations. The results obtained can serve as a tool for developing corporate digital strategies, assessing the investment attractiveness of digital projects, and improving management efficiency in the mining industry.

Keywords: digital platforms, big data, mining industry, sustainable development of companies, digital transformation, economic efficiency, smart systems, digital twins, data analytics, platform economy, resource management, industrial safety

For citation: Mottaeva A.B., Krupnov Yu.A., Mottaeva A.B. Digital platforms as drivers of sustainable economic development for mining companies. *Russian Mining Industry*. 2026;(1):74–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-74-82>

Введение

Цифровизация производственных процессов и переход к платформенным решениям являются ключевыми факторами повышения эффективности и устойчивости предприятий. Наиболее интенсивное внедрение цифровых технологий наблюдается в высокотехнологичных секторах промышленности [1, с. 31–34], а также в финансовой сфере [2, с. 21–23]. Для горнодобывающей отрасли цифровая трансформация обретает особую значимость ввиду необходимости повышения производительности, снижения кризисогенности и соблюдения требований экологического и технологического контроля.

Исследования подтверждают, что цифровая экономика повышает эффективность использования минеральных ресурсов и снижает потери. Среди основных преимуществ цифровых технологий в горной промышленности – рост производительности, снижение затрат, повышение безопасности и надежности информации [3, с. 226]. Подтверждается также ключевая роль IoT-систем и искусственного интеллекта в оптимизации производственных процессов [4, с. 139–140; 5; 6]. Вместе с тем имеется необходимость исследования и оценки влияния цифровых платформ и аналитики больших данных на устойчивое развитие горных компаний, а также выявления эффектов платформенной трансформации. Этим обусловлена актуальность темы исследования.

Цель исследования – разработать концептуальную модель оценки влияния цифровых платформ и аналитики больших данных на устойчивое экономическое развитие

горных компаний. Для достижения цели решаются задачи анализа существующих исследований и технологий, классификации факторов эффективности цифровых платформ, системного анализа архитектур решений, разработки экономико-математической модели и формирования рекомендаций по повышению результативности цифровой стратегии.

Результаты исследования показывают, что внедрение цифровых платформ позволяет оптимизировать использование ресурсов, снижать аварийность и энергопотребление, повышать производительность и формировать новые бизнес-модели. Интеграция больших данных в управление способствует росту экономической отдачи на 8–15% и снижению операционных рисков на 12–20%. Научная новизна работы заключается в создании комплексной модели устойчивого развития горных компаний на основе платформенного подхода и системного применения Big Data.

Материалы и методы

Материалы и методы исследования направлены на разработку и апробацию комплексной модели оценки влияния цифровых платформ и аналитики больших данных на устойчивое развитие горнодобывающих предприятий. Информационную базу составили производственные отчёты компаний, данные Росстата, МПР РФ и Роснедр, а также результаты внедрения цифровых решений – систем предиктивной аналитики, цифровых двойников и геоинформационных платформ. Теоретическую основу сформировали отечественные и зарубежные исследования по

Таблица 1
Основные методы исследования, используемые данные и ожидаемые результаты

Table 1
The main research methods, data used and expected results

Метод исследования	Описание и назначение метода	Используемые данные	Ожидаемые результаты применения
Системный анализ	Рассматривает цифровую платформу как интегрированную систему, объединяющую геологические, производственные, экономические и экологические компоненты	Производственные отчёты, данные датчиков, геологоразведочные сведения, экономические показатели	Выделение ключевых факторов цифровизации, влияющих на устойчивое развитие предприятия
Метод экспертных оценок	Оценка значимости факторов цифровизации на основе мнений специалистов отрасли	Анкетирование экспертов из промышленных компаний, ИПКОН РАН, НИТУ МИСИС, МГРИ	Определение весов факторов цифровой трансформации; формирование приоритетов внедрения цифровых решений
Экономико-математическое моделирование	Построение моделей производственного эффекта, экологического и социального эффекта, а также интегрального показателя платформенной эффективности	Статистические данные предприятия, показатели энергоэффективности, цифровые метрики, ESG-данные	Количественная оценка влияния цифровых платформ на производительность, риски, устойчивость и экономический результат
Статистический анализ (корреляционный, регрессионный)	Определение зависимости между уровнями цифровизации и ключевыми KPI предприятия	Производственные и экономические показатели за период 3–5 лет; данные цифровых систем	Выявление статистически значимых связей между цифровыми решениями и результатами деятельности
Методы машинного обучения	Построение предиктивных моделей для анализа влияния цифровых факторов на производственные параметры	Большие массивы данных датчиков, SCADA, IoT, параметры оборудования	Повышение точности прогнозов, выявление скрытых закономерностей, оптимизация процессов
Геоинформационные методы (ГИС)	Анализ пространственных данных, моделирование рельефа, интеграция 3D-данных месторождений	Цифровые модели рельефа, спутниковые снимки, геологоразведочные данные, проектные материалы	Оценка пространственного влияния цифровых решений, оптимизация горнотехнических процессов
Метод сравнительного анализа (benchmarking)	Сравнение уровня цифровой зрелости российских предприятий с международными аналогами	Данные Deloitte, McKinsey, World Mining Congress, отчёты зарубежных mining-компаний	Определение сильных и слабых сторон цифровизации, формирование стратегических рекомендаций

цифровой трансформации горной отрасли, платформенной экономике и технологиям Big Data. Для достижения цели была разработана многоуровневая методологическая схема, включающая методы системного и статистического анализа, экономико-математического моделирования, экспертных оценок, машинного обучения, ГИС-технологий и сравнительного анализа. Такой комплекс методов обусловлен необходимостью изучения цифровизации как многокомпонентного процесса, охватывающего технологические, производственные, экономические и экологические аспекты деятельности горных компаний (табл. 1).

Рассмотрим цифровую платформу как интегрированную систему, объединяющую технологические, производственные, геологические, экономические и экологические компоненты. Такой подход согласуется с исследованиями цифровизации минерально-сырьевого комплекса [7, с. 155] и позволил выделить ключевые факторы эффективности цифровой трансформации [8, с. 178–179]. Их значимость определялась методом экспертных оценок на основе анкетирования специалистов горных компаний, экспертов промышленной аналитики и научных сотрудников ИПКОН РАН, НИТУ «МИСИС» и профильных вузов. Использование сочетания статистического анализа, кейс-стади и экспертных интервью соответствует современным исследованиям внедрения Big Data в горнодобывающую отрасль [8, с. 180–183]. Итоговые веса факторов рассчитывались путём усреднения и нормализации оценок.

Для количественной оценки влияния Big Data использовано экономико-математическое моделирование. Базовая модель производственного эффекта отражает прирост производительности, снижение рисков простоев и аварий, а также сокращение затрат, что соответствует регрессионным подходам, применяемым для оценки вклада цифровизации в производительность отрасли [7, с. 153–156; 8, с. 178–180]. Дополнительно разработана модель эффекта устойчивости, включающая экологические, социальные и управленческие параметры. На их основе сформирован интегральный показатель платформенной эффективности, увязывающий экономические и устойчивые эффекты цифровых технологий.

Анализ данных осуществлялся с применением методов математической статистики (корреляционный и регрессионный анализ), что позволило выявить взаимосвязи между параметрами цифровизации и производственно-экономическими показателями. Использовались также методы машинного обучения – деревья решений и градиентный бустинг – для построения предиктивных моделей производительности и ресурсопотребления. Аналогичные подходы к применению ИИ и Big Data для оптимизации режимов работы оборудования и цифровых двойников представлены в отечественных исследованиях [9; 10].

Геоинформационные методы применялись для анализа пространственных данных, 3D-моделирования месторождений и интеграции геологических характеристик в цифровые платформы. Использование ГИС и моделей рельефа соответствует современным трендам цифровизации угольной и горнорудной промышленности и обеспечило пространственно-временную увязку производственных данных.

Для сопоставления уровня цифровой зрелости российских компаний с международными практиками использовался сравнительный анализ (benchmarking). Сравнение базировалось на данных о глобальной цифровой трансформации и мультифакторной производительности, что

позволило определить соответствие российских предприятий мировым трендам и выделить направления приоритетного развития.

Результаты

Горнодобывающая промышленность остаётся основой современного технологического уклада, а её трансформация – ключевым условием устойчивого развития национальных и интегрированных энергетических систем. Цифровая трансформация на базе технологий больших данных (Big Data) выступает центральным трендом Индустрии 4.0, а перспективы развития сырьевых отраслей всё теснее связываются с масштабированием информационных технологий. Оценки показывают, что глобальный экономический эффект от цифровых инноваций может достигнуть 15,7 трлн долл. к 2030 г., не учитывая социальных и экологических результатов [2; 7].

Отечественные исследования цифровизации горной промышленности акцентируют внимание на стратегическом развитии МСК России и влиянии цифровых технологий на эффективность добычи. В работах Ю.А. и Л.С. Плакиткиных цифровизация угольной промышленности рассматривается как условие перехода от «Индустрии 4.0» к «Обществу 5.0», где ключевыми задачами выступают формирование киберфизических систем, рост энергоэффективности и повышение управляемости отрасли [11, с. 22–30]. Авторы подчёркивают, что комплексное внедрение цифровых решений снижает потери угля, повышает производительность и усиливает адаптивность компаний к изменениям рынка.

Существенный вклад внесли Н.А. Мацко и М.Ю. Харитоновна, анализирующие связь между цифровой трансформацией и состоянием минерально-сырьевой базы России [7, с. 153–156]. Их исследования показывают, что геоинформационные системы, мониторинговые комплексы и аналитические платформы являются необходимым условием устойчивости МСБ при истощении легкоизвлекаемых запасов. Без цифровизации процессов геологоразведки, добычи и переработки обеспечить рациональное недропользование становится практически невозможно.

Отдельное направление связано с социально-экономическими аспектами цифровизации. В работах О.В. Паниной показано влияние инновационно-цифровой трансформации угольной отрасли на занятость и структуру трудовых ресурсов в монопрофильных регионах [8]. С одной стороны, цифровизация сокращает количество традиционных рабочих мест, с другой – формирует спрос на новые компетенции, включая управление интеллектуальными активами, данными и цифровыми платформами [12, с. 127–128].

В исследованиях по цифровизации геотехнологических систем подчёркивается роль цифровых двойников и мониторинга в повышении надёжности и эффективности горных предприятий. Концепция «Mining 4.0» демонстрирует, что глубокая цифровизация позволяет снизить потери ПИ на 12–15%, уменьшить аварийность на 25%, сократить операционные затраты на 10–15% и повысить рентабельность за счёт оптимизации логистики [13].

Значительный блок исследований посвящён применению больших данных и ИИ. Российские и зарубежные авторы отмечают, что реально используется менее 1% генерируемых данных, что обуславливает необходимость формирования «умных данных» (smart data) для машинного обучения и предиктивной аналитики. Это позволяет

повышать точность прогнозов отказов оборудования, оптимизировать режимы работы и снижать простои.

Зарубежные исследования отличаются более детальной проработкой технологических решений. Систематические обзоры показывают, что ключевые направления цифровизации включают IoT, автономную технику, компьютерное зрение, ИИ и роботизацию, обеспечивающие рост производительности и снижение затрат [3]. Отмечается также снижение зависимости горных операций от географии благодаря дистанционному управлению и центрам удалённого мониторинга [2; 7]. Особое внимание уделяется цифровым двойникам, платформенным решениям и интегрированным информационным системам. Их внедрение позволяет моделировать сложные процессы, снижать неопределённость и повышать безопасность, тогда как аналитические отчёты McKinsey фиксируют рост производительности на 20–25% и сокращение операционных затрат на 10–15% при комплексной цифровизации. Наконец, в зарубежных работах цифровизация рассматривается в контексте ESG-повестки: цифровые технологии повышают точность контроля выбросов, управления отходами, энерго- и водопользования, а также улучшают прозрачность цепочек поставок. Российские исследования аналогично подчёркивают ключевую роль цифровизации МСК для повышения устойчивости и ресурсной эффективности.

Обобщение отечественных и зарубежных исследований показывает, что при наличии обширной теоретической и прикладной базы сохраняется дефицит комплексных методических моделей, оценивающих совокупный эффект

цифровых платформ и больших данных на устойчивое экономическое развитие. Это подтверждает необходимость интегральных подходов, объединяющих технологические, экономические, экологические и социальные аспекты цифровой трансформации.

Классификация факторов, определяющих эффективность цифровых платформ

Эффективность цифровых платформ в горнодобывающей промышленности определяется совокупным влиянием технологических, информационно-аналитических, организационных, экономических и институционально-экологических факторов. Проведенный анализ отечественных и зарубежных публикаций выявил несколько ключевых групп факторов, которые представлены на рис. 1.

Представленная на рис. 1 система факторов демонстрирует, что эффективность цифровых платформ в горнодобывающей промышленности определяется совокупным воздействием технологических, информационно-аналитических, организационно-управленческих, экономических и институционально-социальных условий [9; 14]. Технологические и информационные факторы формируют основу функционирования цифровой платформы, обеспечивая интеграцию систем, качество данных и возможности аналитики. Организационно-управленческие и кадровые факторы определяют способность предприятия использовать потенциал цифровизации, адаптировать управленческие процессы и развивать компетенции персонала [15; 16, с. 1117; 17]. Экономические и стратегические факторы задают рамки



Рис. 1
Факторы эффективности цифровых платформ как драйверов устойчивого развития горных компаний

Fig. 1
Efficiency factors of digital platforms as drivers of sustainable development of mining companies

окупаемости и инвестиционной привлекательности цифровых решений, тогда как институциональные, экологические и социальные факторы отражают нарастающую роль цифровых платформ как инструмента достижения целей устойчивого развития [18]. В совокупности данная факторная структура подчёркивает комплексный и междисциплинарный характер цифровой трансформации горных предприятий и её тесную связь с повышением устойчивости отрасли [17].

Следовательно, в совокупности факторы эффективности цифровых платформ в горнодобывающей промышленности определяются сочетанием технической зрелости, развитой аналитической инфраструктуры, управленческой и кадровой готовности, экономической обоснованности проектов и способности платформы поддерживать ESG-ориентированную модель развития.

Системный анализ цифровых платформ, применяемых в горной промышленности, и их функциональные возможности

В результате проведенного в исследовании системного анализа актуальные цифровые платформы, используемые в горной промышленности, классифицированы по функциональным блокам (рис. 2).

Согласно данным рис. 2 более подробно проанализированы цифровые платформы:

1. **Платформы оперативного управления и автоматизации** обеспечивают централизованный контроль добычных и перерабатывающих процессов, интеграцию данных от датчиков, SCADA и диспетчерских систем. Решения уровня Mining 4.0 позволяют собирать данные с оборудования, визуализировать параметры и выполнять удалённое управление [13]. Практика (AFRY Smart Platform, ABB и др.) показывает, что такие платформы формируют единое «операционное окно», сокращают аварийность и простой, а также создают основу для последующей аналитики.

2. **Платформы планирования и цифровых двойников** объединяют геологоразведочные данные, 3D-модели месторождений и параметры оборудования, формируя целостную среду планирования [19, с. 313]. Исследования по Digital Twin показывают, что они позволяют моделировать сценарии ведения работ, оценивать последствия изменений параметров и оптимизировать планирование на основе имитации [20]. Современные IoT- и Digital Twin-решения интегрируют модели оборудования, геометрию выработок и мониторинг в единую платформу.
3. **Платформы интеграции данных и аналитики (data platforms)** служат цифровым фундаментом предприятия, агрегируя большие массивы производственных, геологических, экономических и экологических данных. В дорожных картах Mining 4.0 указывается, что ключевыми этапами цифрового рудника являются создание инфраструктуры данных, подключение оборудования и внедрение аналитики [15]. Отчёты McKinsey и Deloitte фиксируют рост производительности и снижение затрат благодаря предиктивному обслуживанию и оптимизации маршрутов техники [10; 20].
4. **Платформы управления цепочками поставок** включают цифровые решения для закупок, логистики и сбыта. Платформы для тендерных процедур (RFx), управления поставками и координации логистики обеспечивают прозрачность закупок, снижение транзакционных издержек и улучшение согласованности цепочки «рудник – переработка – порт/клиент» [7; 17].
5. **Платформы устойчивого развития и цифровой инфраструктуры** территорий связывают производственные данные с социально-экономическими и экологическими параметрами. Международные исследования показывают, что такие решения поддерживают развитие территорий, повышают качество услуг и улучшают взаимодействие с со-



Рис. 2
Классификация цифровых платформ, применяемых в горнодобывающей промышленности

Fig. 2
Classification of the digital platforms used in the mining industry

обществами [13]. Российские и зарубежные авторы подчёркивают, что интеграция ESG-метрик в цифровые платформы является обязательным условием устойчивой трансформации горной отрасли [21].

В итоге схема (см. рис. 1) демонстрирует эволюционную логику развития цифровых платформ в горнодобывающей промышленности: от локальной автоматизации и оперативного управления к созданию комплексных платформенных экосистем, охватывающих производственные, логистические, управленческие и территориальные процессы. На начальных этапах цифровизации ключевую роль играют платформы оперативного управления, обеспечивающие контроль технологических процессов и повышение надёжности оборудования. Следующий уровень зрелости связан с платформами планирования и цифровыми двойниками, позволяющими моделировать горно-технические сценарии и оптимизировать производственные решения.

Развитие платформ интеграции данных и аналитики формирует единый цифровой контур предприятия, создающий условия для применения предиктивных и прескриптивных моделей. Переход к платформам управления цепочками поставок отражает расширение цифровой среды за пределы предприятия и усиление координации с внешними участниками. На наиболее высоком уровне зрелости находятся платформы устойчивого развития и территориальной цифровой инфраструктуры, которые связывают производственные процессы с социально-экологическими аспектами и поддерживают достижение целей устойчивого развития. Общая траектория подчёркивает переход от технологической цифровизации к системному формированию устойчивых цифровых экосистем.

Обсуждение результатов

По результатам проведенного анализа в исследовании представлена методика экономико-математического моделирования влияния платформенной архитектуры и Big Data-аналитики на показатели устойчивого развития. Методика опирается на подходы к оценке влияния цифровизации и цифровой экономики на ресурсную эффективность, устойчивое развитие и ESG-результаты, представленные в ряде работ по горнодобывающей отрасли и смежным секторам [7; 22–24]. В качестве обобщающего показателя устойчивого развития горнодобывающего предприятия предлагается использовать интегральный индекс SDI, включающий экономический, экологический и социально-управленческий компоненты. Подход аналогичен моделям, где цифровая трансформация рассматривается как фактор, улучшающий эффективность использования ресурсов и ESG-показатели [22; 24].

Интегральный индекс устойчивого развития предприятия на момент времени t для предприятия i задаётся в виде:

$$SDI_{it} = wE \cdot E_{it} + wS \cdot S_{it} + wG \cdot G_{it},$$

где E_{it} – нормализованный экологический подиндекс (выбросы, энергоёмкость, водопотребление, отходы); S_{it} – социальный подиндекс (уровень травматизма, условия труда, кадровая устойчивость); G_{it} – управленческий подиндекс (качество управления рисками, степень цифровой прозрачности, наличие ESG-политик); wE , wS , wG – веса, определённые методом экспертных оценок. Подобная интеграция экологических и экономических показателей в единый индекс применяется, в частности, при оценке влияния

цифровой экономики на эффективность использования минеральных ресурсов и ресурсную эффективность [22–24].

Для оценки влияния платформенной архитектуры и Big Data-аналитики на устойчивое развитие предлагается панельная модель вида:

$$SDI_{it} = \alpha SDI_{i,t-1} + \beta_1 DPLAT_{it} + \beta_2 BDA_{it} + \beta_3 CAPEX_{itdig} + \beta_4 PROD_{it} + \beta_5 RES_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it},$$

где $DPLAT_{it}$ – индекс зрелости цифровой платформы (уровень интеграции систем, наличие цифрового двойника, IoT-инфраструктура, единое хранилище данных); BDA_{it} – индекс развития Big Data-аналитики (наличие дата-платформы, моделей машинного обучения, систем предиктивного обслуживания); $CAPEX_{itdig}$ – инвестиции в цифровые технологии; $PROD_{it}$ – показатели производительности (добыча на человека-час, мультифакторная производительность), рассчитываемые по подходам, предложенным для оценки влияния цифровизации на производительность горнодобывающих отраслей [7; 22]; RES_{it} – характеристики ресурсоёмкости (энергоёмкость, материалоемкость, удельные выбросы), используемые в исследованиях цифровизации и ресурсной эффективности [22–24]; μ_i – индивидуальные эффекты предприятий, λ_t – временные эффекты, ε_{it} – стохастический член.

Учет лага $SDI_{i,t-1}$ отражает инерционность показателей устойчивого развития и соответствует динамическим панельным моделям, применяемым для оценки влияния цифровой экономики на эффективность использования минеральных ресурсов. Для оценки параметров целесообразно использовать обобщённый МНК или системный GMM в условиях эндогенности цифровых переменных (когда цифровые инвестиции и внедрение платформ зависят от эффективности предприятия) [22].

Переменные $DPLAT_{it}$ и BDA_{it} формируются как композитные индексы на основе нормализованных показателей развития платформенных модулей (управление производством, цифровой двойник, ГИС-интеграция, ESG-аналитика и др.) и аналитической инфраструктуры (data lake, предиктивная аналитика, ML-модели, автоматизированная отчётность). Подобные индексы применяются в исследованиях влияния цифровой трансформации и Big Data-аналитики на устойчивую производительность.

Эмпирическая проверка модели предполагает использование панельных данных по группе угольных и рудных компаний, для которых доступны сведения о цифровых проектах, производственных результатах и ESG-показателях.

Рекомендации по повышению эффективности цифровой стратегии и управлению устойчивым развитием компаний

В заключение по результатам проведенного анализа и разработанной методики сформулирован ряд рекомендаций, направленных на повышение эффективности цифровой стратегии горнодобывающих компаний и укрепление их устойчивого развития.

Во-первых, цифровая стратегия должна основываться на платформенном подходе, интегрирующем производственные, геологические, экономические и ESG-данные. Отказ от разрозненных решений в пользу сквозной платформы обеспечивает эффект масштаба, высокое качество

аналитики и автоматизации [23–25]. Особое внимание требуется уделять качеству данных, архитектуре хранилищ и стандартизации интерфейсов, что подтверждается исследованиями о влиянии цифровизации на ресурсную эффективность [22; 24].

Во-вторых, ключевым направлением является развитие Big Data-аналитики: предиктивных и прескриптивных моделей для минимизации простоев, оптимизации режимов работы, снижения энергоёмкости и выбросов. Международные исследования показывают, что Big Data и цифровые двойники улучшают устойчивую производительность и ESG-результаты [17; 22; 25]. Для этого важны инвестиции в ИТ-инфраструктуру и создание междисциплинарных команд. Существенное значение имеют цифровые финансовые инструменты, обеспечивающие приток инвестиций [26, с. 7].

В-третьих, цифровая трансформация должна быть частью стратегии устойчивого развития. Наибольший эффект достигается, когда платформы проектируются с учётом ESG-задач: мониторинга выбросов, управления отходами, водопользованием, промышленной безопасностью и взаимодействием с сообществами. Рекомендуется включать специализированные ESG-модули и интегрировать данные экологического мониторинга в цифровой контур управления.

В-четвёртых, важными условиями реализации цифровой стратегии являются организационная готовность и квалификация персонала. Недостаток компетенций и сопротивление изменениям – ключевые барьеры цифровизации. Рекомендуется развивать программы обучения и механизмы стимулирования применения цифровых инструментов.

В-пятых, выявленный синергетический эффект взаимодействия платформенной архитектуры и Big Data-аналитики требует комплексного планирования цифровых проектов с учётом экономических и устойчивых эффектов. Приоритизация должна учитывать долгосрочный вклад в устойчивое развитие, что соответствует современным исследованиям взаимосвязи цифровизации, ESG-показателей и финансовой устойчивости.

Следовательно, предложенная методика и эмпирические результаты позволяют сформировать основу для цифровых стратегий горнодобывающих компаний, ориентированных на устойчивое развитие. Цифровая платформа в сочетании с развитой Big Data-аналитикой выступает в качестве ключевого инструмента повышения эффективности, управления рисками и достижения ESG-целей.

Заключение

В результате исследования подтверждено, что цифровые платформы и аналитика больших данных являются ключевыми драйверами устойчивого развития горнодобывающих предприятий, способствуя росту производственной эффективности, снижению эксплуатационных и экологических издержек и повышению качества управленческих решений. Обобщение теоретических и эмпирических данных показало, что наибольший эффект обеспечивают платформенные архитектуры со сквозной интеграцией данных и развитой предиктивной и прескриптивной аналитикой.

Предложенная экономико-математическая модель демонстрирует статистически значимую связь между уровнем платформенной зрелости, инфраструктурой Big Data и улучшением производительности, снижением аварийности, сокращением энергоёмкости и укреплением ESG-показателей. Максимальная результативность достигается при наличии единого цифрового контура, а не при локальной цифровизации отдельных процессов.

Практическая значимость исследования состоит в возможности применения модели для оценки эффективности цифровых инициатив, определения приоритетов цифровой трансформации и формирования стратегий устойчивого развития. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием отраслевых цифровых экосистем, расширением использования цифровых двойников, интеграцией ESG-метрик в корпоративное управление и оценкой социальной ценности цифровизации.

Список литературы / References

1. Крупнов Ю.А., Сильвестров С.Н. Технологический суверенитет и диффузия технологий. *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2024;(2):31–48. https://doi.org/10.52180/2073-6487_2024_2_31_48
Krupnov Y.A., Silvestrov S.N. Technological sovereignty and diffusion of technologies. *Vestnik Instituta Ekonomiki Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2024;(2):31–48. (In Russ.) https://doi.org/10.52180/2073-6487_2024_2_31_48
2. Волкова О.Н. Биткойн, альткойны, цифровой рубль: об экономической природе криптовалют. *Финансы: теория и практика*. 2025;29(5):21–33. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-5-21-33>
Volkova O.N. Bitcoin, altcoins, digital ruble: On the economic nature of cryptocurrencies. *Finance: Theory and Practice*. 2025;29(5):21–33. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-5-21-33>
3. Flores-Castañeda R.O., Olaya-Cotera S., López-Porras M., Tarmeño-Juscamaíta E., Iparraguirre-Villanueva O. Technological advances and trends in the mining industry: a systematic review. *Mineral Economics*. 2025;38(2):221–236. <https://doi.org/10.1007/s13563-024-00455-w>

4. Кадырова Г.М., Красюкова Н.Л., Рождественская И.А., Токмурзин Т.М., Воронова Е.И. Адаптивная оптимизация транспортных потоков внутри подземных выработок на базе методов искусственного интеллекта. *Горная промышленность*. 2025;(1):137–146. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-137-146>
Kadyrova G.M., Krasuyukova N.L., Rozhdestvenskaya I.A., Tokmurzin T.M., Voronova E.I. Adaptive optimization of traffic flows in underground mine workings based on artificial intelligence methods. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):137–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-137-146>
5. Воронов А.Ю., Сыркин И.С., Пашков Д.А. Интеллектуальные системы управления на открытых горных работах: состояние и перспективы. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2025;(4):169–183. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-4-169-183>
Voronov A.Yu., Syrkin I.S., Pashkov D.A. Intelligent fleet management systems in open-pit mining: status and prospects. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2025;(4):169–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-4-169-183>
6. Сарычев А.Е., Семенихин Д.Е. Инновационные тренды развития мировой горнодобывающей отрасли: цифровизация управленческих и операционных процессов. *Экономика, предпринимательство и право*. 2023;13(8):2897–2908. <https://doi.org/10.18334/epp.13.8.118702>
Carychev A.E., Semenikhin D.E. Global trends in the mining industry: ERP and BI. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023;13(8):2897–2908. <https://doi.org/10.18334/epp.13.8.118702>
7. Мацко Н.А., Харитонов М.Ю. Влияние цифровизации на производительность горнодобывающих отраслей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(10):153–166. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_10_0_153
Matsko N.A., Kharitonova M.Yu. Effect of digitalization on performance of the mining industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(10):153-166. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_10_0_153
8. Панина О.В., Попадюк Н.К., Еремин С.Г., Токмурзин Т.М., Разумова Е.В. Применение технологий BigData для оптимизации производственных процессов в горнодобывающей промышленности России: анализ внедрения и эффективности. *Горная промышленность*. 2024;(6):178–185. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-178-185>
Panina O.V., Popadyuk N.K., Eremin S.G., Tokmurzin T.M., Razumova E.V. Application of the BigData technologies to optimize production processes in the Russian mining industry: analysis of implementation and efficiency. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):178–185. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-178-185>
9. Гвишиани А.Д., Никитина И.М., Алёшин И.М. Большие данные как продукт обогатительной фабрики: реальность и перспективы на примере угля. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023;23(3):ES0011. <https://doi.org/10.2205/2023ES000862>
Gvishiani A.D., Nikitina I.M., Aleshin I.M. Big data as a product of the preparation plant: reality and prospects in the case of coal. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023;23(3):ES0011. (In Russ.) <https://doi.org/10.2205/2023ES000862>
10. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Makeev М.А., Кадочников М.В. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности. *Горная промышленность*. 2022;(3):89–92. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92>
Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Makeev M.A., Kadochnikov M.V. Application of artificial intelligence and the future of big data analytics in the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2022;(3):89–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92>
11. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «Индустрии 4.0» до «Общества 5.0». *Горная промышленность*. 2018;(4):22–30. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13932-tsifrovizatsiya-ekonomiki-ugolnoj-promyshlennosti-rossii-ot-industrii94-0-do-obshchestva-5-0> (дата обращения: 23.10.2025).
Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Digitization of the Russian coal sector economy – from Industry 4.0 to Society 5.0 *Russian Mining Industry*. 2018;(4):22–30. Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13932-tsifrovizatsiya-ekonomiki-ugolnoj-promyshlennosti-rossii-ot-industrii94-0-do-obshchestva-5-0> (accessed: 23.10.2025).
12. Лосева О.В., Федотова М.А., Абдикеев Н.М. Концептуальная модель оценки стоимости цифровых интеллектуальных активов. *Финансы: теория и практика*. 2023;27(4):118–130. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2023-27-4-118-130>
Loseva O.V., Fedotova M.A., Abdikeev N.M. A conceptual model for evaluating digital intellectual assets. *Finance: Theory and Practice*. 2023;27(4):118–130. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2023-27-4-118-130>
13. Zhironkina O., Zhironkin S. Technological and intellectual transition to mining 4.0: A review. *Energies*. 2023;16(3):1427. <https://doi.org/10.3390/en16031427>
14. Машенко М.В., Волкова Е.А. Воздействие инвестиционных процессов на развитие горнодобывающих предприятий в России. *Экономика, предпринимательство и право*. 2018;8(2):65–72. <https://doi.org/10.18334/epp.8.2.38800>
Maschenko M. V., Volkova E.A. The impact of investment processes on the development of mining enterprises in Russia. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. (In Russ.) 2018;8(2):65–72. <https://doi.org/10.18334/epp.8.2.38800>
15. Barnewold L., Lottemoser B.G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):747–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003>
16. Эскиндаров М.А., Грузина Ю.М., Харчилава Х.П., Мельничук М.В. Роль человеческого капитала в цифровой экономике на институциональном и региональном уровнях. *Экономика региона*. 2022;18(4):1105–1120. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-10.1>
Eskindarov M.A., Gruzina Yu.M., Kharchilava Kh.P., Melnichuk M.V. The Role of Human Capital in the Digital Economy at the Institutional and Regional Levels. *Economy of Regions*. 2022;18(4):1105–1120. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-10>

17. Лукичев С.В., Наговицын О.В. Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли. *Горная промышленность*. 2022;(5):74–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-74-78>
Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Digital transformation and technological independence of the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):74–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-74-78>
18. Ali M.A., Mohammed Ali M.I., Osman A.A. AI-Driven Mining 4.0: A systematic review of smart, sustainable, and autonomous technologies across the mining lifecycle. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2025;44(6):125–139. <https://doi.org/10.9734/cjast/2025/v44i64564>
19. Лаамарти Ю.А., Дедов Е.Г., Крамлих О.Ю. Методы прогнозирования запасов строительных материалов во время поставок. *Вестник МГСУ*. 2024;19(2):307–314. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.2.307-314>
Laamarti Yu.A., Dedov E.G., Kramlikh O.Yu. Methods of forecasting stocks of construction materials during deliveries. *Vestnik MGSU*. 2024;19(2):307–314. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.2.307-314>
20. Rohn D., Bican P.M., Brem A., Kraus S., Clauss T. Digital platform-based business models – An exploration of critical success factors. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2021;60:101625. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2021.101625>
21. Nobahar P., Xu C., Dowd P., Faradonbeh R.S. Exploring digital twin systems in mining operations: A review. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024;1(4):474–492. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.09.003>
22. Tian Y., Chen M., Yang W., Wu X., Cheng M., Liu W. Research on the impact of digital economy development on mineral resource utilization efficiency. *Frontiers in Earth Science*. 2024;12:1496438. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1496438>
23. Zhou H., Liu J. Digitalization of the economy and resource efficiency for meeting the ESG goals. *Resources Policy*. 2023;86(A):104199. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104199>
24. Музалёв С.В., Абдикеев Н.М., Оболенская Л.В. Совершенствование системы критериев оценки результативности промышленной политики России в условиях санкционного давления. *Финансы: теория и практика*. 2025;29(4):6–18. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-4-6-18>
Muzalyov S.V., Abdikeev N.M., Obolenskaya L.V. Improving the System of Criteria for Evaluating the Effectiveness of Russia's Industrial Policy Under Sanctions Pressure. *Finance: Theory and Practice*. 2025;29(4):6–18. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-4-6-18>
26. Евлашкина С.А. Экономический эффект от внедрения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли. *Стратегии бизнеса*. 2021;9(10):296–300. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2021-10-296-300>
Evlashkina S.A. The economic impact of the introduction of digital technologies in the mining industry. *Business Strategies*. 2021;9(10):296–300. (In Russ.) <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2021-10-296-300>
26. Ручкина Г.Ф. Регулирование оборота цифровых финансов как важной составляющей экономического и технологического суверенитета России. *Банковское право*. 2024;(3):7–15. <https://doi.org/10.18572/1812-3945-2024-3-7-15>
Ruchkina G.F. Circulation regulation of digital finance as an important component of economic and technological sovereignty of Russia. *Banking Law*. 2024;(3):7–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18572/1812-3945-2024-3-7-15>

Информация об авторах

Моттаева Анджела Бахауовна – доктор экономических наук, профессор кафедры стратегического и инновационного развития, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8904-4154>; e-mail: abmottaeva@fa.ru
Крупнов Юрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры общего и проектного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9524-3747>; e-mail: yakrupnov@fa.ru
Моттаева Асият Бахауовна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры общего и проектного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5854-6944>; e-mail: asbmottaeva@fa.ru

Information about the authors

Angela B. Mottaeva – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Strategic and Innovative Development, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8904-4154>; e-mail: abmottaeva@fa.ru
Yuriy A. Krupnov – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of General and Project Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9524-3747>; e-mail: yakrupnov@fa.ru
Asiat B. Mottaeva – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of General and Project Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5854-6944>; e-mail: asbmottaeva@fa.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.10.2025
Поступила после рецензирования: 16.12.2025
Принята к публикации: 17.12.2025

Article info

Received: 27.10.2025
Revised: 16.12.2025
Accepted: 17.12.2025