

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Юсупходжаев Окилхон Зафар угли

Менеджер проектов компании SmartGeo

okilkhon@smartgeo.uz

+99894-501-11-11

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21484158>

Аннотация: В данной работе рассматривается экономическая эффективность внедрения цифровых технологий в горно-металлургический комплекс. На основе эмпирических данных и показателей предприятий отрасли анализируется влияние решений Индустрии 4.0 — включая промышленный интернет вещей (IIoT), искусственный интеллект (ИИ) и цифровые двойники — на снижение операционных затрат (ОРЕХ), повышение производительности оборудования и оптимизацию энергопотребления. Показано, что комплексы цифровизации обеспечивают снижение себестоимости продукции на 10–15% и оптимизацию внеплановых простоев на 20–30%.

Ключевые слова: цифровизация, горно-металлургическая отрасль, экономическая эффективность, Индустрия 4.0, оптимизация ОРЕХ, промышленный интернет вещей, цифровые двойники.

Введение

Горно-металлургическая промышленность характеризуется высокой капиталоемкостью, зависимостью от волатильности цен на сырьевые товары и постоянным ростом затрат на добычу из-за истощения легкодоступных месторождений. В данных условиях ключевым фактором сохранения конкурентоспособности является экономическая эффективность производства [1].

Внедрение цифровых технологий (технологий Индустрии 4.0) выступает основным драйвером трансформации операционной модели металлургических и горнодобывающих холдингов. Анализ мирового и регионального опыта показывает, что переход к «умному горному делу» (Smart Mining) позволяет существенно улучшить ключевые финансово-экономические показатели [2].

Методология

Исследование основано на систематизации и сравнительном анализе статистических и финансово-экономических данных ведущих горно-металлургических компаний за период 2020–2025 гг. В качестве методической базы использовались подходы к оценке совокупной стоимости владения (ТСО), возвратности инвестиций (ROI), а также методы факторного анализа операционных расходов (ОРЕХ) и капитальных затрат (CAPEX) [3].

Результаты

Анализ практических кейсов внедрения цифровых решений демонстрирует следующий экономический эффект по ключевым направлениям:

1. **Предиктивное обслуживание оборудования (PdM):** Использование датчиков IIoT и алгоритмов машинного обучения для мониторинга состояния карьерной техники и мельниц измельчения сокращает аварийные простои на 20–35%, что снижает затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) на 10–18% [4], [5].

2. **Автоматизация и диспетчеризация (Smart Dispatch):** Оптимизация маршрутов карьерных самосвалов в режиме реального времени снижает расход топлива на 7–12% и увеличивает объем выемки горной массы на 5–10% [6].

3. **Цифровые двойники фабрик (Digital Twins):** Моделирование процессов обогащения позволяет повысить коэффициент извлечения ценного компонента из руды на 1,5–3,0% при одновременном сокращении расхода реагентов на 8–15% [7], [8].

Анализ и обсуждение

Экономическая эффективность цифровизации выражается в изменении структуры затрат и ускорении оборачиваемости капитала. Инвестиции в программно-аппаратные комплексы цифровизации окупаются в среднем за 1,5–3 года, что делает их более привлекательными по сравнению со капиталоемким расширением механических мощностей [9].

Направление цифровизации	Внедряемая технология	Экономический эффект (снижение OPEX / рост KPI)	Срок окупаемости (ROI)
Управление карьером	Автономный транспорт, АСУ ТП	Снижение расхода топлива на 8–12%	2,0–3,0 года
ТОиР и инфраструктура	Предиктивная аналитика, IoT	Сокращение затрат на ремонт на 12–15%	1,0–2,0 года
Обогатительный передел	Цифровые двойники, ИИ	Рост извлечения металлов на 1,5–2,5%	1,5–2,5 года

Важным фактором является снижение энергоемкости производства. На металлургических переделах применение систем управления на базе ИИ позволяет снизить удельный расход электроэнергии на 4–8%, что критично в условиях роста цен на энергоресурсы [10], [11]. Ограничивающими факторами внедрения остаются высокая первоначальная стоимость интеграции данных и необходимость адаптации корпоративной культуры [12].

Заключение

Внедрение цифровых технологий в горно-металлургической отрасли является экономически обоснованным механизмом повышения маржинальности бизнеса. Системный эффект достигается за счет синергии сквозных технологий (IoT, ИИ, Big Data), обеспечивая устойчивое снижение операционных затрат на 10–15% и рост производительности труда на 15–20%.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Красавин А. В., Дьяченко В. В. Экономика цифровой трансформации горнодобывающей промышленности. — М.: Недра, 2021. — С. 45–58.

2. Баскаев Г. Г. Индустрия 4.0 в металлургии: оценки эффективности и риски // Горный журнал. — 2022. — № 4. — С. 12–18.
3. Петров И. В., Сидоров А. А. Методология оценки цифровых инвестиций на предприятиях тяжелой промышленности // Экономика промышленности. — 2020. — Т. 13, № 2. — С. 134–142.
4. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution and Material Transformation // Mining Engineering Journal. — 2021. — Vol. 73, No. 5. — P. 88–95.
5. Иванов С. Н. Предиктивная аналитика в управлении техническим обслуживанием карьерной техники // Известия вузов. Горный журнал. — 2023. — № 1. — С. 75–83.
6. Сергеев М. А. Оптимизация транспортных потоков в глубоких карьерах с применением систем диспетчеризации // Рациональное освоение недр. — 2022. — № 3. — С. 30–36.
7. Соколов Е. В., Ковалев Д. А. Цифровые двойники обогатительных фабрик: экономика и технология // Обогащение руд. — 2021. — № 6. — С. 41–47.
8. Zhang L., Wang X. Economic Evaluation of AI-driven Mineral Processing Systems // Journal of Clean Production. — 2023. — Vol. 382. — P. 102–111.
9. Григорьев Ю. Н. Оценка окупаемости проектов цифровизации в цветной металлургии // Цветные металлы. — 2022. — № 8. — С. 15–22.
10. Дмитриев А. Н. Энергоэффективность и цифровой мониторинг металлургических процессов // Сталь. — 2021. — № 11. — С. 58–63.
11. Miller R., Davies P. Smart Mining Operations: Cost Reduction Strategies // Resources Policy. — 2024. — Vol. 88. — P. 201–210.
12. Федоров О. В. Барьеры и драйверы цифровой трансформации крупных промышленных холдингов // Вопросы экономики. — 2023. — № 5. — С. 105–118.