

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В УПРАВЛЕНИИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Юсупходжаев Окилхон Зафар угли

Менеджер проектов компании SmartGeo

okilkhon@smartgeo.uz

+99894-501-11-11

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21484203>

Аннотация: В тезисах рассматриваются вопросы оценки экономической эффективности внедрения технологии цифровых двойников (Digital Twins) на предприятиях горно-металлургического комплекса (ГМК). Анализируются механизмы снижения операционных затрат (ОРЕХ), повышения общей эффективности оборудования (ОЕЕ) и сокращения внеплановых простоев. На основе фактических отраслевых данных показана инвестиционная привлекательность создания цифровых копий технологических процессов и физических активов.

Ключевые слова: цифровой двойник, горно-металлургический комплекс, экономическая эффективность, сквозная цифровизация, оптимизация ОРЕХ, предиктивное обслуживание, ОЕЕ.

Введение

Горно-металлургическая отрасль характеризуется высокой капиталоемкостью, существенной зависимостью от рыночной конъюнктуры и жесткими требованиями к промышленной безопасности [1]. Традиционные методы управления не всегда обеспечивают оперативную оптимизацию цепочки создания стоимости в режиме реального времени.

Внедрение концепции «Индустрия 4.0», в частности цифровых двойников, позволяет моделировать физические процессы извлечения, обогащения и переработки руды на основе потоковых данных от IoT-датчиков и SCADA-систем [2]. Главная цель интеграции таких систем — экономически обоснованное снижение издержек и максимизация сквозной производительности предприятий.

Методология

Анализ экономической эффективности базируется на обобщении фактических показателей внедрения цифровых двойников на ведущих отечественных и мировых предприятиях ГМК (включая опыт Rio Tinto, Nornickel, Severstal и ВКО) [3], [4]. Оценка выгоды проводится по ключевым параметрам:

- Изменение коэффициента готовности и общей эффективности оборудования (ОЕЕ).
- Динамика удельного расхода электроэнергии и реагентов на тонну готовой продукции.
- Снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) за счет перехода к предиктивным сценариям [5].

Результаты

Практический опыт реализации проектов цифровых двойников карьеров, обогатительных фабрик и металлургических переделов демонстрирует следующие экономические эффекты:

- **Снижение внеплановых простоев:** Применение предиктивных моделей в составе цифрового двойника горно-шахтного оборудования сокращает аварийные остановки на 15–25% за счет своевременного обнаружения дефектов [6].
- **Оптимизация операционных расходов (ОРЕХ):** Затраты на ТОиР снижаются на 10–18%, а удельное потребление электроэнергии на технологических линиях измельчения и флотации уменьшается на 3–7% [7].
- **Рост сквозной производительности:** Интеграция цифровых двойников фабрик позволяет увеличить извлечение ценных компонентов из руды на 0,5–1,8%, что дает прямой прирост выручки без увеличения объема добываемого сырья [8], [9].
- **Срок окупаемости (Payback Period):** Средний срок окупаемости инвестиций (ROI) в развертывание комплексного цифрового двойника технологического узла составляет от 1,5 до 3 лет [10].

Анализ и обсуждение

Экономический эффект от применения цифрового двойника формируется за счет устранения узких мест в логистико-технологических цепочках. Например, цифровой двойник карьерного транспорта оптимизирует маршруты самосвалов, снижая расход топлива на 5–9% и износ шин [11]. На уровне металлургического передела цифровой двойник печи позволяет рассчитывать оптимальный шихтовый состав, что экономит дорогостоящие флюсы и энергетические ресурсы [12].

Основными барьерами на пути достижения максимального экономического эффекта остаются высокая стоимость первоначального внедрения (CAPEX) и необходимость модернизации существующей КИПиА-инфраструктуры. Однако совокупный экономический эффект при масштабировании решения перекрывает риски и обеспечивает стабильное снижение себестоимости продукции.

Заключение

Цифровые двойники выступают ключевым инструментом повышения конкурентоспособности предприятий горно-металлургической отрасли. Фактические данные подтверждают, что их применение обеспечивает комплексную оптимизацию издержек: от снижения аварийности оборудования до роста сквозного извлечения металла. Дальнейшее развитие технологии связано с интеграцией генеративного ИИ в контур цифрового двойника для автоматического принятия управляющих решений.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Тарасов А. А., Сергеев И. В. Цифровизация горнодобывающей промышленности: тенденции и экономические перспективы // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 606–616.
2. Григорьев С. Н., Кутин А. А. Концепция создания цифровых двойников в промышленном производстве // СТИН. — 2020. — № 4. — С. 2–7.
3. Дорошенко Ю. А., Лебедев В. М. Оценка экономической эффективности цифровых технологий в металлургии // Экономика в промышленности. — 2022. — Т. 15, № 2. — С. 142–151.
4. McKinsey & Company. Capturing value from digital in mining and metals. — New York: McKinsey Publishing, 2021. — P. 12–28.

5. Шестаков В. А., Башлыкова Т. В. Предиктивная аналитика и цифровые двойники оборудования ГМК // Горный журнал. — 2022. — № 8. — С. 74–80.
6. Deloitte. Mining Industry Outlook: Digital Transformation and Operational Excellence. — London: Deloitte Insights, 2023. — Р. 18–31.
7. Петров И. В., Сидоров М. А. Оптимизация энергопотребления обогатительных фабрик с использованием цифровых моделей // Обогащение руд. — 2021. — № 5. — С. 43–48.
8. Бажин В. Ю., Игнатович А. С. Применение цифровых двойников в металлургических процессах цветной металлургии // Цветные металлы. — 2022. — № 3. — С. 85–91.
9. World Economic Forum. Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry. — Geneva: WEF, 2020. — Р. 22–35.
10. Воронов К. Е. Расчет показателей окупаемости цифровых проектов в тяжелой промышленности // Финансовый менеджмент. — 2023. — № 1. — С. 55–63.
11. Кузнецов А. Н. Автоматизация и цифровизация открытых горных работ // Горная промышленность. — 2021. — № 2. — С. 34–39.
12. Чернов В. П., Соколов Д. А. Моделирование процессов плавки и оптимизация шихтовки на основе цифровых двойников // Сталь. — 2022. — № 11. — С. 19–24.