



Введение

В современных условиях эффективное управление технологическими процессами на горнодобывающих предприятиях становится критически важным фактором их конкурентоспособности и устойчивости. Внедрение цифровых технологий в управление этими процессами открывает новые возможности для повышения эффективности, безопасности и экономической рентабельности производства.

Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием цифровых технологий и их потенциалом для трансформации традиционных методов управления в горнодобывающей отрасли. Современные цифровые решения, такие как системы предиктивной аналитики, управления данными, автоматизации производственных процессов, позволяют значительно повысить точность и скорость принятия управленческих решений, минимизировать риски и оптимизировать затраты.

Цифровая трансформация – это комплексное и целенаправленное внедрение современных цифровых технологий, инструментов и подходов во все ключевые процессы предприятия с целью повышения эффективности, прозрачности и конкурентоспособности [1].

Цифровая трансформация использует цифровизацию как инструмент для изменения технологических процессов и создания новой ценности. Это изменение парадигмы:

- от реактивного управления к предиктивному и проактивному;
- от изолированных данных к единому информационному пространству;
- от управления людьми к управлению процессами на основе данных.

Цифровизация – это технический процесс перевода аналоговой информации в цифровую форму и автоматизации отдельных задач и процессов. Это основа для более сложных преобразований. Цифровизация горнодобывающего предприятия – это внедрение цифровых технологий, переход на автоматизированное цифровое производство, управляемое «умными» системами, а не человеческими усилиями. Это не просто автоматизация отдельных операций, а комплексный стратегический подход, затрагивающий все звенья производственной цепочки.

Особенности технологических процессов предприятий, добывающих полезные ископаемые открытым способом, и потенциал их оптимизации

Горнодобывающая отрасль характеризуется сложными и капиталоемкими процессами, которые, однако, имеют значительный потенциал для оптимизации за счет внедрения современных технологий. Технологические процессы открытых горных работ – это совокупность последовательных, взаимосвязанных производственных процессов, направленных на извлечение полезных ископаемых из недр открытым способом. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом включает четыре периода.

В первом периоде, называемом подготовительным, создаются благоприятные условия для безаварийной и высокопроизводительной работы горного и транспортного оборудования в последующих периодах. Задачами этого периода являются подготовка поверхности месторождения, осушение и ограждение месторождения от поверхностных вод, удаляется торф, осушаются болота и озера, переносятся в новые русла реки и ручьи, убираются здания, дороги, ЛЭП и другие сооружения. Осушение месторождения заключается в удалении воды, поступающей из водоносных горизонтов и в результате выпадения атмосферных осадков. Обеспечивается минимально возможное негативное воздействие на окружающую среду [2, 3].

Во втором периоде, который называется строительным, производится вскрытие месторождения и создание начального фронта добычных и вскрышных работ. В задачи этого периода входят проведение специальных горных выработок (капитальных и разрезных траншей), а также удаление определенного объема горной массы (разгонка бортов) и строительство транспортных коммуникаций, обеспечивающих доступ к рабочим горизонтам.

Третий период называется эксплуатационным. Горные работы этого периода – вскрышные, обеспечивающие удаление вскрышных пород с целью обеспечения доступа к полезному ископаемому.



В течение четвертого периода, который называется восстановительным, производится рекультивация земель, нарушенных горными работами [4]. Экологический компонент данного этапа становится актуальным и влечет усиление соответствующего контроля [5, 6].

В данной статье будут затронуты процессы открытых горных работ третьего периода. Основными эксплуатационными технологическими процессами на открытых горных работах являются подготовка горных пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, перемещение горной массы, отвалообразование вскрышных пород, переработка и складирование добытого полезного ископаемого.

Процесс *подготовки горных пород к выемке* включает перечень мероприятий, направленных на изменение естественного состояния горных пород с целью эффективной их выемки. В практике открытых горных работ для подготовки пород к выемке наибольшее применение нашел буровзрывной способ.

Выемочно-погрузочные работы предназначены для извлечения горной массы непосредственно из массива или навала и погрузки их в средства транспорта.

Сущность *транспортирования горной массы* состоит в организации четкой и бесперебойной работы транспортных средств, обеспечивающих своевременную перевозку горной массы в пределах контуров карьера или за его границами.

В задачу *отвальных и складских работ* входит организация приемки и размещения на специально отведенных площадях вскрышных пород и полезного ископаемого.

Переработка полезных ископаемых – это ряд процессов переработки полезных ископаемых, конечным результатом которых является получение товарных продуктов или продуктов, пригодных для последующей химико-металлургической или другого рода переработки. Переработка полезных ископаемых осуществляется на обогатительных фабриках, представляющих собой сегодня мощные высокомеханизированные предприятия со сложными технологическими процессами [7].

Каждому основному процессу соответствуют вспомогательные работы, производство которых имеет целью обеспечение нормальных и безопасных условий выполнения основных процессов. Кроме этого, на карьерах выполняется целый ряд общих вспомогательных процессов (электроснабжение, водоотлив, опробование полезного ископаемого и др.).

Все производственные процессы являются взаимосвязанными и составляют звенья единого технологического комплекса открытых горных работ. Совокупность взаимосвязанных производственных процессов, обеспечивающих изменение агрегатного состояния горных пород, их выемку и погрузку, перемещение и складирование, составляет технологию открытых горных работ.

Технология и комплексная механизация открытых горных работ базируются на принципах поточности, совмещения и независимости процессов, обеспечения кратчайшего расстояния перемещения горной массы, сокращения числа и объема вспомогательных работ, минимума производственных затрат и максимума прибыли от реализации продукции [4].

Автоматизация технологических процессов открытых горных работ имеет потенциал для повышения эффективности, безопасности и экологичности технологических операций:

- **повышение производительности труда** – автоматизация позволяет выполнять задачи быстрее и эффективнее, чем при ручном управлении;
- **защита персонала от вредных производственных факторов** – использование роботизированных систем и дистанционного управления устраняет необходимость присутствия людей в опасных зонах;
- **снижение операционных затрат** – оптимизация процессов и уменьшение потребления ресурсов ведут к экономии средств;
- **повышение качества добычи** – автоматизированные комплексы обеспечивают более точное и контролируемое выполнение операций;
- **уменьшение воздействия на окружающую среду** – автоматизация способствует снижению выбросов и сокращению отходов производства;
- **внедрение автоматизированных систем** – позволяет оптимизировать операции, минимизировать риски и снизить эксплуатационные расходы;



- **программное обеспечение для моделирования и планирования** – позволяет с высокой точностью создавать виртуальные модели месторождений и планировать горные работы. Ниже в Таблице 1 представлена классификация ключевых цифровых технологий.

Таблица 1. Классификация ключевых цифровых технологий для горной отрасли
Table 1. Classification of key digital technologies for the mining industry

Технология / Концепция	Сущность и ключевые функции
Автоматизация и роботизация	Создание систем, работающих без постоянного вмешательства человека – центральный столп цифровой трансформации
Индустриальный интернет вещей	Сеть датчиков на оборудовании для сбора данных о его состоянии, местоположении и параметрах работы в реальном времени
Искусственный интеллект и машинное зрение	Алгоритмы для анализа данных, прогнозирования и автоматизации принятия решений
Большие данные и аналитика	Сбор и обработка огромных массивов разнородных данных для выявления скрытых закономерностей
Цифровой двойник	Виртуальная копия физического актива или процесса, позволяющая моделировать и оптимизировать операции
Сквозные технологии управления	Интеграция данных по всей производственной цепочке – от забоя до переработки – в едином центре управления

Для горнодобывающей отрасли используются цифровые технологии, которые включают автоматизацию, интернет вещей (IoT – Internet of Things), работу с большими данными (Big Data) и искусственный интеллект (AI – Artificial intelligence).

- **Автоматизация.** Дистанционное управление техникой и буровыми установками – удаленное управление снижает риски для персонала, позволяет отслеживать параметры работы в реальном времени, задавать маршруты и сценарии. Автоматизация транспортных и погрузочно-разгрузочных процессов – конвейеры, самосвалы, экскаваторы работают под управлением цифровых платформ, что уменьшает влияние человеческого фактора и позволяет точно планировать производственные циклы. Автоматизация технологических процессов на обогатительных фабриках – контроль качества сырья и управления дробильно-сортировочным оборудованием, оптимизация водооборотных и фильтрационных процессов [8].

- **Интернет вещей (Internet of Things).** Мониторинг оборудования и прогнозирование отказов – датчики, установленные на буровых установках, конвейерах и самосвалах, собирают информацию о вибрации, температуре, давлении и других параметрах. Автоматизация транспортировки руды – беспилотные самосвалы, работающие на основе данных с IoT-устройств и систем позиционирования, повышают эффективность перевозки руды и снижают затраты на топливо и обслуживание техники [9].

- **Большие данные (Big Data).** На этапе геологоразведки – анализ больших массивов геологических данных для построения 3D-моделей месторождений, оптимизации бурения и прогнозирования содержания полезного компонента. В процессах добычи – задачи оптимального планирования горных работ, диспетчеризации горного оборудования и прогнозного технического обслуживания. На обогатительных фабриках – управление качеством сырья, оптимизация работы мельниц, флотационных машин и другого оборудования [10].

- **Искусственный интеллект (Artificial intelligence).** Предиктивное обслуживание – алгоритмы искусственного интеллекта анализируют данные, собранные от датчиков горнодобывающего оборудования, чтобы предсказать, когда часть машины, вероятно, потерпит неудачу. Это позволяет выполнять техническое обслуживание до того, как произойдут дорогостоящие сбои, минимизируя время простоя. Системы сортировки руды – алгоритмы искусственного интеллекта анализируют качество руды в режиме реального времени и отделяют



высококачественную руду от низкокачественного материала. Геологоразведка – алгоритмы искусственного интеллекта ускоряют обработку геофизических данных, строят модели рудных тел и помогают выявлять перспективные зоны.

Ниже приведены некоторые примеры опыта внедрения автоматизации на горнодобывающих предприятиях:

- ООО «УК «Сибирский Антрацит» реализовало автоматизированную систему управления обогатительными фабриками с элементами машинного обучения. Система позволяет в реальном времени регулировать параметры технологического процесса на основе анализа качества исходного сырья. В результате достигнуто снижение расхода реагентов на 12% и повышение выхода концентрата на 8%;
- АО «Яковлевский ГОК» (входит в ГК «Северсталь») внедрило цифровую платформу управления подземными работами на базе SCADA и интеграции с ГГИС. Система автоматически собирает данные с датчиков бурового и погрузочно-доставочного оборудования, формируя отчеты и аналитику для оперативного управления. Это позволило на 15% сократить время простоя техники и повысить безопасность работ;
- ПАО «Полиметалл» на своих объектах в Магаданской области развернуло систему удаленного управления насосными станциями и вентиляционными установками через Mesh-сети. Это позволяет сократить количество персонала под землей и повысить оперативность управления объектами [10].

Опыт внедрения интернета вещей (Internet of Things) на горнодобывающих предприятиях:

- горнодобывающий гигант Rio Tinto внедрил в Западной Австралии автономные самосвалы и поезда, управляемые IoT-системами. Беспилотный автопарк компании, включающий более 140 грузовиков, позволил сократить эксплуатационные расходы на 15% и повысить безопасность на рудниках;
- компания Anglo American активно внедряет цифровые решения для оптимизации процессов добычи. Система SmartMine анализирует большие объемы данных с датчиков и прогнозирует аварии, что позволило сократить простои на 25%. Кроме того, технология пассивного мониторинга воды помогла снизить потребление свежей воды на 30%;
- канадская компания Barrick Gold применила IoT для управления рудниками в Неваде. В результате внедрения интеллектуальных сенсоров и аналитики данные о содержании полезных ископаемых стали точнее, а коэффициент извлечения золота увеличился на 3%;
- российская компания ПАО «ГМК «Норникель» внедряет систему цифрового мониторинга состояния оборудования и контроля за подземными работами. Благодаря IoT уровень травматизма снизился на 25%, а производительность повысилась на 10% [11].

Опыт внедрения больших данных (Big Data) на горнодобывающих предприятиях:

- на угольных предприятиях АО «СУЭК» и АО «УК «Кузбассразрезуголь» за счет внедрения интеллектуальных систем диспетчеризации горнотранспортного оборудования на базе Big Data удалось повысить производительность на 7–12% и сократить удельные затраты на 10–15%;
- в железорудной отрасли технологии Big Data позволили компании ЗАО «Металлоинвест» оптимизировать процессы обогащения и повысить содержание железа в концентрате на 0,8–1,2%, а ПАО «Северсталь» – снизить расход энергоресурсов на 5–7%;
- на алмазных рудниках компании ПАО «АЛРОСА» внедрение Big Data показало рост производительности экскаваторов на 7% и сокращение простоев автосамосвалов на 12% за счет продвинутой аналитики процессов экскавации и транспортировки горной массы [12].

Опыт внедрения искусственного интеллекта (Artificial intelligence) на горнодобывающих предприятиях:

- крупнейшая в мире австралийская горнодобывающая компания BHP Group Ltd. активно внедряет AI. Более 30% самосвалов на австралийских рудниках уже автоматизированы;



- австралийская золотодобывающая компания Evolution Mining Ltd. на руднике Мунгари внедрила систему AI Aspen Mtell, снизившую риски аварий.
- алмазодобывающая компания Botswana Diamonds внедрила инструменты AI в свою базу данных геологоразведки с целью комплексного поиска новых месторождений алмазов и потенциально других полезных ископаемых [13].

Приведенные примеры мирового и отечественного опыта внедрения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли доказывают эффективность этого внедрения.

Общая характеристика объекта исследования

Филиал «Антоновское рудоуправление» акционерного общества «Кузнецкие ферросплавы» (филиал «АРУ» АО «КФ») относится к отрасли горнодобывающей промышленности, осуществляет добычу кварцитов открытым способом на месторождении «Сопка 248» и переработку кварцитов для ферросплавного производства.

На предприятии применяется функциональная структура управления предприятием. Функциональная структура – это структура, при которой руководство организацией делится по функциям (видам деятельности). Каждое функциональное подразделение (отдел) отвечает за свою конкретную задачу в масштабах всей компании.

Цель функциональной структуры – обеспечить сочетание централизованного и децентрализованного управления: подразделения самостоятельно принимают решения в рамках своей компетенции, в то время как стратегические решения, касающиеся всей компании, координируются на верхнем уровне.

Проведенный анализ динамики основных технико-экономических показателей филиала «АРУ» АО «КФ» позволил сделать следующие выводы:

1. Выручка от реализации товарной продукции сократилась в связи с национализацией предприятия и запрета продажи конечного продукта (ферросилиция в недружественные страны).
2. Себестоимость продаж уменьшилась в результате оптимизации производственных процессов.
3. Валовая прибыль – данный показатель отрицательный в связи с тем, что филиал «АРУ» АО «КФ» является сырьевой базой ферросплавных заводов группы АО «ЧЭМК» и продажа товарного кварцита производится ниже себестоимости.
4. Коммерческие расходы резко сократились в связи с прекращением продаж ферросилиция в недружественные страны и, как следствие, отсутствием свободных денежных средств.
5. Прибыль (убыток) от продаж – данный показатель отрицательный в связи с тем, что филиал «АРУ» АО «КФ» является сырьевой базой ферросплавных заводов группы АО «ЧЭМК» и продажа товарного кварцита производится ниже себестоимости.
6. Прочие доходы увеличились в результате увеличения реализации нефракционированного щебня.
7. Прочие расходы резко сократились в связи с прекращением продаж ферросилиция в недружественные страны и, как следствие, отсутствием свободных денежных средств.
8. Проценты к получению – отсутствует.
9. Прибыль до налогообложения – данный показатель отрицательный в связи с тем, что филиал «АРУ» АО «КФ» является сырьевой базой ферросплавных заводов группы АО «ЧЭМК» и продажа товарного кварцита производится ниже себестоимости.
10. Текущий налог на прибыль – отсутствует, оплачивается НДС.
11. Чистая прибыль – отсутствует.
12. Затраты на 1 руб. от выручки реализации уменьшились в связи со снижением себестоимости производства товарного кварцита.
13. Рентабельность продаж увеличилась по причине снижения себестоимости производства товарной продукции.
14. Рентабельность деятельности увеличилась по причине снижения себестоимости производства товарной продукции.
15. Среднегодовая стоимость основных средств уменьшилась в связи с отсутствием инвестиций на обновление техники и оборудования.



16. Среднегодовая остаточная стоимость основных средств уменьшилась в связи с отсутствием инвестиций на обновление техники и оборудования.
17. Фондоотдача увеличилась в связи со снижением среднегодовой стоимости основных средств, что говорит об отсутствии их обновления.
18. Фондоёмкость данный показатель незначительно снизился.
19. Фондовооруженность труда – данный показатель снижается вследствие амортизации основных средств и отсутствия инвестиций в обновление.
20. Фондорентабельность – данный показатель отрицательный в связи с тем, что филиал «АРУ» АО «КФ» является сырьевой базой ферросплавных заводов группы АО «ЧЭМК» и продажа товарного кварцита производится ниже себестоимости.
21. Коэффициент износа основных средств снижается и составляет менее 50%, в связи с чем требуется принятие управленческих решений о необходимости обновления основных средств.
22. Коэффициент годности снижается и находится на низком уровне, требуется обновление основных средств.
23. Среднесписочная численность работников остается стабильной.
24. Выработка работников снижается в связи с уменьшением производства товарной продукции.
25. Фонд оплаты труда остается стабильным.
26. Среднемесячная зарплата имеет небольшой рост.
27. Среднегодовая дебиторская задолженность значительно снизилась к 2023 году по причине принятия работ предприятием.
28. Среднегодовая кредиторская задолженность остается на одном уровне с небольшим снижением к 2023 году.
29. Коэффициент абсолютной ликвидности говорит о недостаточности ликвидных активов для быстрого расчета по текущим обязательствам (рекомендованный показатель 0,2-0,5).
30. Коэффициент промежуточного покрытия говорит о низком уровне денежных средств, краткосрочных финансовых вложений и дебиторских долгов (рекомендованный показатель 0,7-0,8).
31. Коэффициент текущей ликвидности остается на одном уровне и говорит о том, что устойчивость и платежеспособность предприятия находится на низком уровне ((рекомендованный показатель 2-2,5).
32. Коэффициент оборачиваемости оборотных средств – данный показатель снижается, говорит о том, что оборотные средства используются неэффективно, плохо «движутся», приносят низкую прибыль.
33. Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности – данный показатель говорит о том, что предприятие имеет низкую дебиторскую задолженность.
34. Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности – данный показатель говорит о том, что предприятие имеет высокую дебиторскую задолженность.

В Таблицах 2 и 3 приведен анализ внешней и внутренней среды предприятия (PEST-анализ и SWOT-анализ).

Исходя из данных, приведенных в Таблице 2, можно сделать вывод, что в настоящее время во внешней среде предприятия преобладают отрицательные факторы, главным образом выраженные сложной геополитической обстановкой и экономическими трудностями в период санкционного давления.

Исходя из данных, приведенных в Таблице 3, можно сделать вывод, что к сильным сторонам предприятия относится следующее: стабильность предприятия, большая доля рынка, уникальная добываемая продукция, большие запасы полезного ископаемого, инициативное руководство. К слабым сторонам предприятия относятся: высокие капитальные вложения в отрасль, большие транспортные расходы, слабая система управленческого учета.



Таблица 2. Анализ внешней среды предприятия (PEST-анализ)
Table 2. Analysis of the external environment of the enterprise (PEST analysis)

+	-	Действия
Политические факторы		
	введение санкций, ограничения продаж в Западные страны	поиск новых рынков сбыта
деприватизация предприятия		разработка новой стратегии развития
поддержка металлургического сектора		-
Экономические факторы		
снижение курса рубля		увеличение экспорта продукции
	снижение выпуска товарной продукции	оптимизация себестоимости товарной продукции
	повышение цен на оборудование и запасные части	
	доступность кредитов	оптимизация затрат
Социальные факторы		
	ограниченность в трудовых ресурсах	повышение заработной платы
	жалобы населения на негативное воздействие на окружающую среду	принятие комплекса мер по уменьшению выбросов вредных веществ
	отрицательная динамика количества открытых больничных листов	стимулирование персонала при отсутствии больничных листов
Технологические факторы		
	низкий уровень инноваций	увеличение темпов внедрения инновационных процессов
	низкий уровень автоматизации	увеличение темпов автоматизации производственных процессов

Таблица 3. Анализ внутренней среды предприятия (SWOT-анализ)
Table 3. Analysis of the internal environment of the enterprise (SWOT analysis)

S – Сильные стороны	W – Возможности
<ol style="list-style-type: none"> 1. Стабильность предприятия, большая доля рынка 2. Уникальная добываемая продукция 3. Большие запасы полезного ископаемого 4. Инициативное руководство 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Стратегическая важность выпускаемой продукции 2. Большие запасы полезного ископаемого и благоприятные условия для их извлечения 3. Небольшое число конкурентов 4. Возможность расширения рынков сбыта
O – Слабые стороны	T – Угрозы
<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокие капитальные вложения в отрасль 2. Большие транспортные расходы 3. Слабая система управленческого учета 4. Плохая оснащенность интернет-сайта 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшение цен на металлургическое сырье 2. Сокращение объемов потребления ферросплавов 3. Увеличение на рынке доли более дешевого ферросилиция из Китая, Украины и Казахстана 4. Повышение тарифов на ж/д перевозки



Выполненный PEST-анализ и SWOT-анализ обозначили ряд основных проблем в стратегическом планировании предприятия:

- не полностью учитываются экономические параметры и инженерные ограничения, связанные с отсутствием инвестиций в обновлении оборудования на протяжении многих лет;
- низкое внедрение технологических инноваций не позволяет анализировать большие массивы данных, что затрудняет производить более всеобъемлющее стратегическое планирование;
- деприватизация предприятия привела к потере рынков сбыта конечного продукта, нестабильность на рынке, связанная со сложной геополитической обстановкой;
- отсутствие разработки нескольких сценариев развития предприятия в зависимости от изменений внешней среды [11].

Моделирование и анализ ключевых технологических процессов предприятия

Моделирование и анализ технологических процессов горнодобывающего предприятия – это комплексная задача, которая охватывает как стратегическое планирование, так и оптимизацию конкретных производственных операций [18–26]. Подходы варьируются от построения общих схем до применения сложных компьютерных симуляций. Ниже приведена таблица соответствия аспекта моделирования, методов и подходов к нему, а также целей и решаемых задач.

Таблица 4. Ключевые аспекты и методы при моделировании процессов
Table 4. Key aspects and methods in process modeling

Аспект моделирования	Основные методы и подходы	Цели и решаемые задачи
процессный подход к управлению	выделение основных производственных процессов	создание эффективной системы управления, организация материальных и информационных потоков, оптимизация работы промышленного комплекса
компьютерное имитационное моделирование	дискретно-событийное моделирование	оптимизация последовательности операций, выявление «узких мест» в производстве, учет параллельных процессов для максимизации производительности
финансовое и инвестиционное планирование	разработка бизнес-планов, построение финансовых моделей для разных сценариев, оценка рисков (колебания цен, логистика).	оценка экономической эффективности проекта, расчет капиталовложений на весь жизненный цикл месторождения, включая рекультивацию; поддержка управленческих решений
внедрение устойчивых процессов	использование AI и цифровых решений, устойчивое управление ресурсами, принципы экологической ответственности.	повышение общей эффективности, сокращение издержек, снижение экологического воздействия, улучшение репутации компании и адаптация к требованиям рынка

Нами принят процессорный подход к управлению с выделением основных производственных процессов для создания эффективной системы управления.

Моделирование основных производственных процессов представлено на Рис. 1.



На предприятии выделяются шесть основных производственных процессов:

Процесс 1 – подготовка горной массы к выемке, который в свою очередь подразделяется на буровые и взрывные работы.

Подготовка горной массы к выемке производится механизированным способом и заключается в разрушении массива с помощью бурения эксплуатационных скважин и зарядки взрывчатыми веществами и последующего производства взрывных работ. Основной объем горной массы добывается с помощью буровзрывных работ. Добыча кварцита производится исключительно с применением буровзрывных работ. В настоящее время буровые работы на карьере выполняются станками шарошечного и ударно-вращательного бурения, являющимися наиболее современными, высокопроизводительными станками, удовлетворяющими потребности предприятия. Взрывные работы на карьере ведутся в 2 этапа:

- первичное взрывание, предусматривающее дробление и подготовку горной массы к выемке, осуществляется с применением метода скважинных зарядов;
- вторичное взрывание предусматривается проводить в случае некачественного взрывного дробления пород (для дробления негабаритных кусков), выравнивания подошвы уступа. При этом используется метод шпуровых зарядов или накладных зарядов.

Процесс 2 – выемочно-погрузочные работы, который в свою очередь подразделяется на добычные и вскрышные работы.

Выемка и погрузка горных пород из массива или развала производится одной машиной или комплексом машин. В качестве выемочно-погрузочного оборудования на карьере используются экскавационные машины циклического действия. В машинах циклического действия рабочий орган состоит только из одного ковша или режущего инструмента, периодически выполняющего функцию выемки и перемещения горной массы. К машинам этого типа относятся одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, погрузчики одноковшовые. Черпание или набор породы, ее перемещение к месту разгрузки и разгрузка осуществляется машинами циклического действия последовательно. В совокупности эти операции составляют рабочий цикл. Добычные работы заключаются в извлечении полезного ископаемого из горного массива и его погрузке в автосамосвалы для последующей транспортировки на дробильно-обогатительную фабрику. Вскрышные работы заключаются в извлечении вскрышных пород из горного массива и его погрузке в автосамосвалы для последующей транспортировки и складирования на внешних отвалах.

Процесс 3 – транспортировка, представляет собой процесс перемещения полезного ископаемого и вскрыши из карьера с помощью карьерных автосамосвалов.

Производство открытых горных работ во времени и пространстве сопровождается перемещением горной массы. При взрывании она перемещается энергией взрыва, при выемке и погрузке – экскаваторами, при доставке к месту приемки – средствами транспорта, при складировании – средствами отвалообразования. Однако основным и наиболее трудоемким с точки зрения перемещения горной массы является процесс перемещения с помощью карьерного транспорта. Добытая руда перемещается на дробильно-обогатительную фабрику или на перегрузочный пункт, аварийный склад. Вскрышные породы перемещаются во внешние отвалы для последующего их складирования.

Процесс 4 – отвалообразование представляет собой процесс складирования пустых пород, а совокупность производственных операций по приему и размещению вскрышных пород на отвале называется отвальными работами.

Технология, механизация и организация отвальных работ составляет сущность и содержание процесса отвалообразования. Отвалообразование является завершающим этапом в технологической цепи производства вскрышных работ, поэтому от четкого и безаварийного выполнения отвальных работ в значительной степени зависят технико-экономические показатели работы карьера в целом.

Процесс 5 – переработка полезного ископаемого, представляет собой процесс сортировки и дробления кварцитов для получения товарного кварцита с необходимым химическим и фракционным составом.



Первый этап представляет собой дробление поступающей сырой руды. На втором этапе происходит сортировка полезного ископаемого с разделением на фракции. Отходы представляют собой кварциты фракции 0-25 мм, которые транспортируются в отвал отходов с целью последующего складирования.

Процесс 6 – складирование и отгрузка товарного кварцита.

Полученную готовую продукцию складировывают на площадках хранения и в бункерах и транспортируют потребителю. Готовая продукция может представлять собой товарный кварцит фракции 25-150 мм с химическими показателями, соответствующими техническим условиям. Транспортировка готовой продукции осуществляется железнодорожным транспортом [12–15].

Оценка эффективности существующих технологических процессов

Ключевые принципы оценки эффективности существующих технологических процессов:

- системность: предприятие – это цепочка взаимосвязанных процессов (подготовка → добыча → транспортировка → переработка → отгрузка);
- ориентация на данные: оценка должна основываться на измеримых показателях (Key Performance Indicator – ключевые показатели эффективности);
- непрерывность: эффективность нужно оценивать на постоянной основе.

В Таблице 5 представлена количественная оценка ключевых технологических процессов филиала «АРУ» АО «КФ».

Таблица 5. Оценка ключевых технологических процессов филиала «АРУ» АО «КФ»

Table 5. Assessment of key technological processes at the Antonovskoye Ore Mining branch of KF

JSC

Наименование процесса	Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
подготовка горной массы к выемке	объем взорванной горной массы	м³/год	2 000 000
	объем бурения	п.м./год	58 000
	удельный расход взрывчатых материалов	кг/м³	0,29
	выход горной массы	м³/п.м.	34,3
	себестоимость взрывных работ	руб/м³	36,1
	себестоимость бурения	руб/м³	17,3
выемочно-погрузочные работы	объем добычи	т	2 600 000
	эксплуатационный коэффициент вскрыши	м³/т	0,77
	себестоимость добычи	руб/т	373,8
	себестоимость выемки вскрыши	руб/т	378,1
транспортировка горной массы	объем горной массы	м³/год	3 000 000
	себестоимость транспортирования добычи	руб/т	186,6
	себестоимость транспортирования вскрыши	руб/м³·км	85,7
переработка полезного ископаемого	объем переработки полезного ископаемого	т/год	2 600 000
	объем производства товарного кварцита	т/год	1 200 000
	выход товарного кварцита	%	45,0
	себестоимость переработки полезного ископаемого	руб/т	166,5
складирование и отгрузка товарного кварцита	объем отгрузки товарного кварцита	т/год	1 200 000
	себестоимость производства товарного кварцита	руб/т	101,3

На Рис. 2 представлена структура себестоимости товарного кварцита по ключевым бизнес-процессам филиала «АРУ» АО «КФ».



Рис. 2. Структура себестоимости товарного кварцита по ключевым технологическим процессам филиала «АРУ» АО «КФ»

Fig. 2. Cost structure of commercial quartzite by key technological processes of the Antonovskoye Ore Mining branch of KF JSC

Анализ текущего уровня цифровизации предприятия

В настоящее время на предприятии цифровизацией затронуты далеко не все основные технологические процессы предприятия. Используются цифровые системы система «ERP» и «СКАУТ».

Система «ERP» (Enterprise Resource Planning) – это система планирования ресурсов предприятия, которая помогает организациям управлять своими ресурсами. Она объединяет данные разных подразделений компании на единой платформе и координирует различные процессы – от финансов до управления. Основные цели использования «ERP»: централизация управления, прозрачность бизнеса, повышение эффективности, улучшение планирования, снижение издержек.

Некоторые возможности системы «ERP»:

- финансовый учет и отчетность. «ERP» объединяет бухгалтерский и налоговый учет, управленческую отчетность, контроль бюджета;
- управление запасами и логистика. Система автоматизирует учет складов, контроль остатков, движение товаров, логистику поставок и отгрузок;
- производственные операции и планирование. «ERP» отвечает за управление производством: формирует заказы, рассчитывает себестоимость, планирует загрузку оборудования и контролирует выполнение;
- закупки и снабжение. Система управляет цепочками поставок, автоматизирует заявки на закупку, сравнивает предложения поставщиков, следит за сроками поставок и соответствием условий;
- кадровый учет и расчет зарплат. «ERP» ведет личные дела сотрудников, кадровые перемещения, таблицу учета рабочего времени, отпуска и больничные, автоматически рассчитывает зарплаты с учетом налогов и удержаний;
- отчетность и аналитика в единой базе. Данные со всех подразделений собираются в одной базе. Система предоставляет отчеты в реальном времени, отслеживает KPI, выявляет отклонения, чтобы руководство могло принимать решения на основе фактов.

Система «СКАУТ» – это комплексное решение для спутникового контроля, аналитики и управления транспортом. Система работает на базе спутниковых технологий. Некоторые возможности системы «СКАУТ»:

- отслеживание местоположения. Платформа предоставляет точные данные о местоположении каждого транспортного средства в режиме реального времени;



- контроль расхода топлива. Датчики, установленные в транспортных средствах, передают данные в программный интерфейс системы, где они анализируются и отображаются в удобном формате;
- контроль стиля вождения. Система отслеживает стиль вождения каждого водителя, фиксируя резкие торможения, превышение скорости и другие маневры, потенциально опасные для безопасности на дороге;
- оптимизация маршрутов. Система позволяет компаниям вести детальный контроль за движением транспорта и получать актуальные данные для корректировки маршрутов.

Обоснование выбора приоритетных технологических процессов для цифровой трансформации

Выбор приоритетных процессов для цифровизации является критически важным этапом, определяющим успех всей программы цифровой трансформации горнодобывающего предприятия [16, 17]. Для системного подхода к выбору приоритетов применяется многофакторная модель оценки, сочетающая количественные и качественные критерии.

Для объективного отбора используется матрица приоритизации, основанная на оценке процессов по двум ключевым аспектам:

Потенциальный эффект от цифровизации:

- снижение операционных затрат;
- рост производительности;
- улучшение безопасности труда;
- снижение простоев оборудования;
- улучшение качества продукции.

Сложность и стоимость внедрения:

- объем требуемых инвестиций;
- сроки реализации проекта;
- уровень технологических рисков;
- необходимость изменения организационной структуры;
- требуемая квалификация персонала.

На основе анализа деятельности филиала «АРУ» АО «КФ» выделены следующие технологические процессы для цифровизации, представленные в Таблице 6.

Таблица 6. Технологические процессы для цифровизации

Table 6. Technological processes for digitalization

Технологический процесс	Потенциальный эффект	Сложность внедрения	Приоритетность
Подготовка горной массы к выемке	Высокий	Средняя	Средний
Выемочно-погрузочные работы	Высокий	Средняя	Высокий
Переработка ПИ	Средний	Низкая	Средний

Факторы, определившие приоритетность технологических процессов:

- операционная значимость – процессы оказывают непосредственное влияние на выполнение производственной программы;
- измеримость результата – возможность количественной оценки эффекта;
- ограниченность масштаба – возможность реализации пилотного проекта;
- согласованность со стратегией – соответствие стратегическим целям предприятия;
- наличие компетенций – наличие необходимых специалистов или возможность их привлечения.



Далее приводится проблематика по каждому выбранному технологическому процессу, который может быть подвергнут цифровой трансформации.

Технологический процесс – подготовка горной массы к выемке:

- затраты времени на разметку блоков и скважин;
- бурение по пикетам;
- некачественная проработка подошвы уступа;
- большой расход бурового инструмента;
- темное время суток и сложные погодные условия;
- низкое качество взорванной массы;
- повышенный расход взрывчатых веществ;
- искаженное видение работы буровзрывного комплекса.

Технологический процесс – выемочно-погрузочные работы:

- время ожидания разметки блоков маркшейдером и фактической выемки;
- разубоживание выемочного материала;
- некачественная проработка подошвы уступа;
- полнота выемки материала;
- соблюдение необходимого угла откоса уступа;
- точность работы ковша экскаватора в пределах контура выемки;
- безопасность персонала при работе;
- темное время суток и сложные погодные условия;
- снижение производительности и увеличение износа деталей;
- точный учет вида работ экскаватором.

Технологический процесс – переработка полезного ископаемого:

- неравномерная периодичность отбора проб на гранулометрический состав;
- низкий охват опробованием производимого продукта;
- невозможность оперативного выявления производства брака;
- безопасность персонала при работе;
- периодическое производство и отгрузка товарного кварцита, не соответствующего техническим условиям.

Разработка концепции и архитектуры цифровых решений

1. Технологический процесс – подготовка горной массы к выемке.

Внедрение системы управления буровзрывными работами «DrillManager», использующей Internet of Things для передачи данных, нацелено на выполнение следующих задач (Рис. 3):

- повышение производительности буровых станков и качества буровых работ;
- автоматизированное проектирование буровзрывных работ.

Внедрение происходит путем оснащения буровых станков системой мониторинга процессов бурения, монтажа комплекта оборудования для контроля глубины бурения и угла наклона мачты, оснащения бортовым компьютером и монитором, набором высокоточной навигации, настройкой программного обеспечения бортового комплекта; развертыванием и настройкой серверного ПО.

Особенности внедрения:

- программное обеспечение системы управляется встроенной вычислительной платформой, которая позволит передавать данные по беспроводному каналу;
- установка контроллеров обработки внешних сигналов (аналоговых, дискретных, импульсных) и датчиков;
- установка монитора для ввода/вывода информации машинистом бурового станка и подключение видеокамер для мониторинга обстановки с возможностью автоматического переключения;
- высокоточный двухантенный ГНСС-приемник с возможностью выдачи координат и азимута.



Рис. 3. Принцип работы системы управления буровзрывными работами «DrillManager»
Fig. 3. Principle of operation of the DrillManager drilling and blasting control system

(Оснащение буровых станков системой мониторинга процессов бурения; монтаж комплекта оборудования для контроля глубины бурения и угла наклона мачты; оснащение бортовым компьютером и монитором; набор высокоточной навигации; настройка программного обеспечения бортового комплекта. Развертывание и настройка серверного ПО).

2. Технологический процесс – выемочно-погрузочные работы.

Внедрение системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager», использующей Internet of Things для передачи данных, нацелено на выполнение следующих задач (Рис. 4):

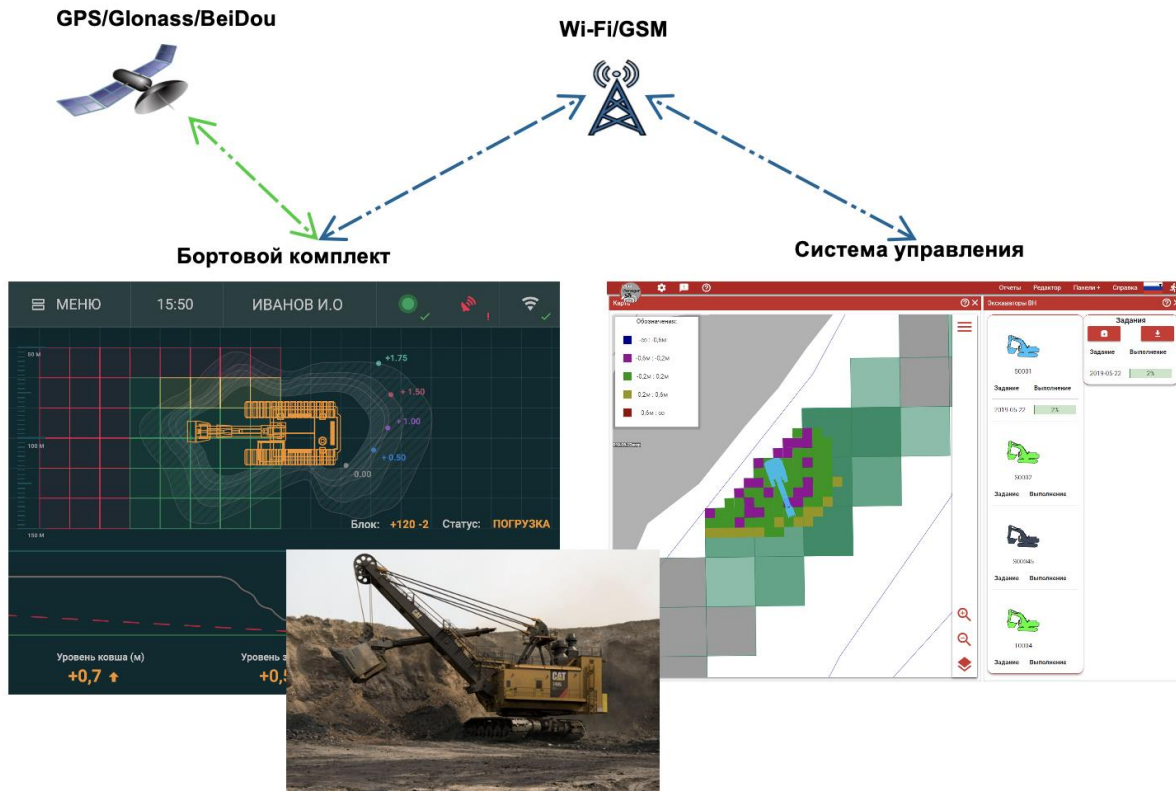


Рис. 4. Принцип работы системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager»
Fig. 4. Principle of operation of the ShovelManager excavation and loading control system



- сокращение объема маркшейдерских работ и количества экскаваторных заходов по одному и тому же участку на блоке-откосе за счет системы навигации и электронных проектов;
- рост производительности в темное время суток и при сложных погодных условиях.

Система «ShovelManager» позволяет карьерной технике (экскаваторам, погрузчикам или бульдозерам) выполнять работу в соответствии с проектными решениями, разработанными проектным, геологическим и инженерными отделами предприятия.

Особенности внедрения:

- программное обеспечение системы управляется встроенной вычислительной платформой, которая позволяет передавать данные по беспроводному каналу;
- установка контроллеров обработки внешних сигналов (аналоговых, дискретных, импульсных) и датчиков;
- установка монитора для ввода/вывода информации машинистом экскаватора и подключение видеокамер для мониторинга обстановки с возможностью автоматического переключения;
- высокоточный двухантенный ГНСС-приемник с возможностью выдачи координат и азимута.

Система «ShovelManager» позволяет карьерной технике (экскаваторам, погрузчикам или бульдозерам) выполнять работу в соответствии с проектными решениями, разработанными проектным, геологическим и инженерными отделами предприятия.

3. Технологический процесс – переработка полезного ископаемого.

Внедрение системы «ML Sense», использующей машинное зрение для определения гранулометрического состава, нацелено на выполнение следующих задач (Рис. 5):

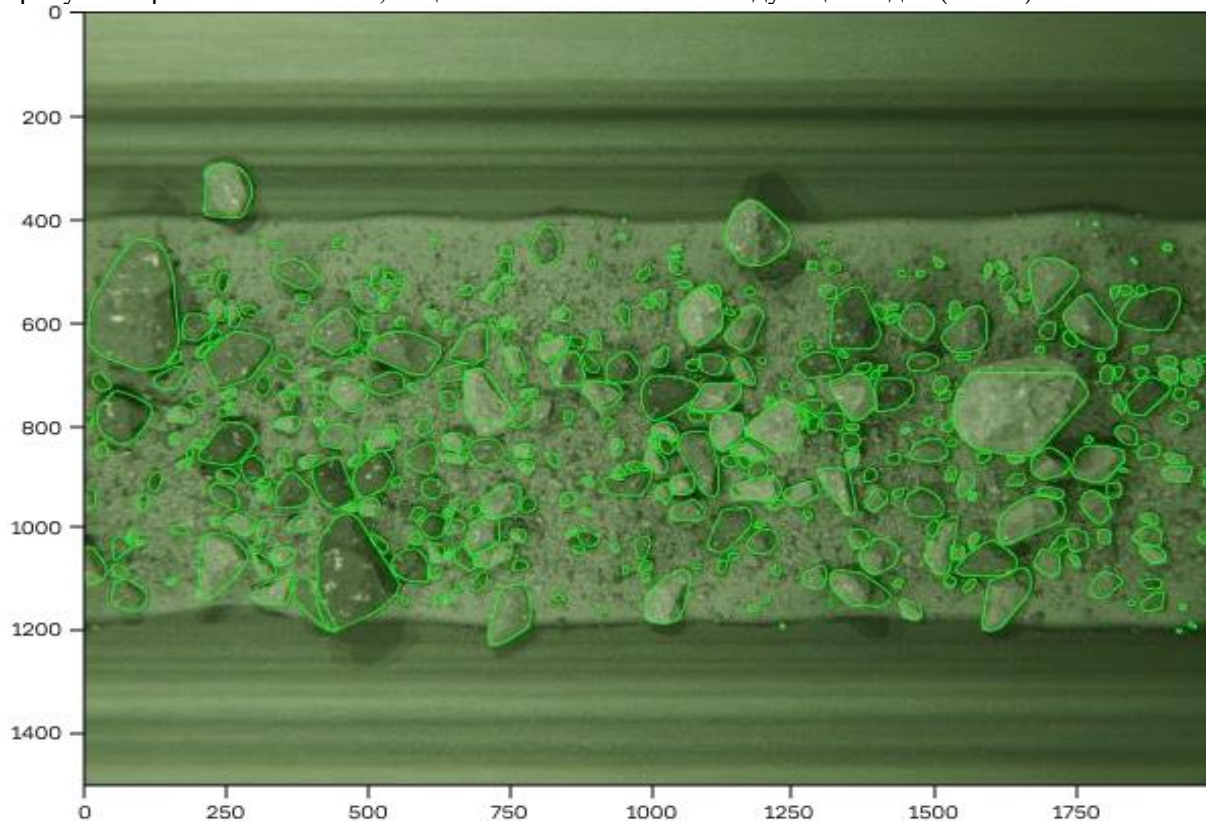


Рис. 5. Принцип работы системы «ML Sense», использующей машинное зрение для определения гранулометрического состава

Fig. 5. Principle of operation of the ML Sense system, using machine vision to determine particle size distribution



- определение гранулометрического состава товарного кварцита в режиме реального времени;
- исключение производства и отгрузки продукта, не соответствующего техническим условиям.

Особенности внедрения:

- установка контроля ленты транспортирования товарного кварцита шириной 800 мм;
- блок управления располагается в серверной;
- система распознает фракции от 10 мм. Фракции меньшего размера учитываются статистически;
- контроль осуществляется оптическим методом с помощью высокоскоростных камер;
- точность определения дефектов от 1 мм для контрастных объектов.

Разработка дорожной карты внедрения цифровых решений

Дорожная карта внедрения цифровых технологий разработана с учетом принципов поэтапности, управляемости и минимизации рисков. Реализация проектов рассчитана на 24 месяца и структурирована на три последовательных этапа, каждый из которых имеет четкие цели, результаты и метрики успеха.

В Таблице 7 представлены ключевые мероприятия по внедрению цифровизации производственных процессов.

Таблица 7. Ключевые мероприятия по внедрению цифровизации производственных процессов

Table 7. Key measures for the digitalization of production processes

Блок	Срок, месяцев	Результаты
Диагностика и стратегия	1	- проведение аудита существующих бизнес-процессов - выбор приоритетных процессов для цифровизации - разработка концепции цифровой трансформации
Формирование команды	1	- создание проектного офиса - назначение ответственных за направления - определение ролей и зон ответственности
Техническая подготовка	2	- обследование ИТ-инфраструктуры - разработка технических требований - выбор поставщиков решений
Финансовое обоснование	2	- детализация бюджета проекта - расчет срока окупаемости - утверждение финансирования 1 этапа

Этап 1 – пилотное внедрение (6 месяцев).

Цель: апробация решений на ограниченном участке и отработка методологии.

Приоритетные пилотные проекты:

Проект 1: система управления буровзрывными работами «DrillManager»:

- установка оборудования IoT на буровой установке;
- внедрение системы мониторинга в режиме реального времени;
- анализ получаемых данных.

Проект 2: система управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager»:

- установка оборудования IoT на буровой установке;
- внедрение системы мониторинга в режиме реального времени;
- анализ получаемых данных.

Проект 3: система машинного зрения «ML Sense»:

- установка оборудования на конвейерной ленте;



- внедрение системы мониторинга в режиме реального времени;
- анализ получаемых данных.

Этап 2 – масштабирование (12 месяцев)

Цель: распространение успешных практик на основные бизнес-процессы.

Направления масштабирования:

- интеграционная платформа;
- развертывание единой платформы сбора данных;
- интеграция с ERP-системой предприятия;
- создание центра управления эффективностью;
- расширение функционала;
- оснащение всей техники системами мониторинга;
- внедрение цифровых двойников ключевых процессов;
- разработка мобильных решений для линейного персонала;
- организационные изменения;
- корректировка должностных инструкций;
- обучение 100% целевых пользователей;
- внедрение KPI, ориентированных на данные.

Этап 3 – оптимизация и развитие (6 месяцев).

Цель: достижение полномасштабной цифровой трансформации.

Ключевые инициативы:

- развитие аналитики;
- внедрение прескриптивной аналитики;
- разработка системы поддержки принятия решений;
- автоматизация процессов планирования;
- новые технологические направления;
- достижение целевых показателей окупаемости.

Ожидаемые результаты реализации дорожной карты – это цифровизация 60% ключевых бизнес-процессов.

Организационный план внедрения цифровых решений

Формирование проектной команды – трехуровневая структура управления проектом:

1. Стратегический уровень: председатель – директор предприятия, члены – главный инженер, начальник технического отдела, главный экономист.

Функции: утверждение бюджета, принятие стратегических решений, оценка и купирование рисков.

2. Tактический уровень (руководство проектом): руководитель проекта, менеджер проекта, архитектор решений, бизнес-аналитик.

3. Операционный уровень (рабочие группы): группа внедрения технологий (3 специалиста), группа анализа данных (3 специалиста), группа изменения процессов (3 бизнес-аналитика), группа обучения и поддержки (3 тренера).

В Таблице 8 представлено распределение зон ответственности уровней по внедрению цифровизации бизнес-процессов.

Данный организационный план обеспечит системный подход к управлению человеческими ресурсами проекта, минимизирует риски, связанные с сопротивлением изменениям, и создаст основу для устойчивого развития цифровых компетенций на предприятии.

Оценка рисков проектов

При оценке проектов выделяются следующие риски: технические, организационные, финансовые, операционные и внешние, которые представлены в Таблицах 9–13.



Таблица 8. Распределение зон ответственности уровней по внедрению цифровизации
Table 8. Distribution of areas of responsibility for the implementation of digitalization

Процесс/Мероприятие	Директор	Руководитель проекта	Архитектор	ИТ-специалист	Линейный персонал
Утверждение бюджета	A	R	C	I	I
Выбор технологий	I	A	R	C	I
Внедрение пилотного решения	I	A	R	R	C
Обучение персонала	I	A	C	R	R
Приемка результатов	A	R	C	C	C
Операционная поддержка	I	I	C	R	R

Условные обозначения: R – Responsible (Ответственный), A – Accountable (Подотчетный), C – Consulting (Консультационный), I – Informational (Информационный).

Таблица 9. Технические риски
Table 9. Technical risks

Риск	Вероятность	Влияние	Меры минимизации	Ответственный
Несовместимость с существующей ИТ-инфраструктурой	высокая	высокое	проведение детального аудита инфраструктуры до начала проекта	ИТ-специалист
			разработка поэтапного плана модернизации	
			создание прототипа для проверки интеграции	
Низкое качество передачи данных в условиях карьера	средняя	высокое	проведение тестовой эксплуатации оборудования связи	главный инженер
			развертывание резервных каналов связи	
Продолжение сбоев в работе нового ПО	средняя	среднее	фазовое внедрение с тщательным тестированием	руководитель проекта
			создание «песочницы» для тестирования обновлений	

Таблица 10. Организационные риски
Table 10. Organizational risks

Риск	Вероятность	Влияние	Меры минимизации	Ответственный
Соппротивление персонала изменениям	высокая	высокое	разработка программы управления изменениями	начальник отдела кадров
			вовлечение лидеров мнений на ранних этапах	
			создание системы мотивации за освоение новых процессов	
Недостаток квалификации у сотрудников	высокая	высокое	проведение оценки компетенций до начала проекта	руководитель проекта
			разработка индивидуальных планов обучения	
Неэффективное взаимодействие	средняя	среднее	внедрение единой системы управления проектами	руководитель проекта



между подразделениями			четкое распределение зон ответственности	
-----------------------	--	--	--	--

Таблица 11. Финансовые риски

Table 11. Financial risks

Риск	Вероятность	Влияние	Меры минимизации	Ответственный
Превышение бюджета проекта	средняя	высокое	создание резервного фонда	главный бухгалтер
			ежемесячный контроль расходов	
			жесткая приоритизация задач по ценности	
Увеличение сроков окупаемости	средняя	среднее	регулярный пересмотр экономики проекта	главный бухгалтер
			позапное финансирование по результатам	

Таблица 12. Операционные риски

Table 12. Operational risks

Риск	Вероятность	Влияние	Меры минимизации	Ответственный
Снижение производительности в период внедрения	высокая	среднее	внедрение в периоды плановых остановок	заместитель главного инженера по производству
			создание запасов продукции	
			позапный переход на новые процессы	
Недостижение целевых показателей эффективности	средняя	высокое	реализация пилотных проектов для проверки гипотез	руководитель проекта
			регулярный мониторинг КРІ	
			гибкая корректировка подходов	

Таблица 13. Внешние риски

Table 13. External risks

Риск	Вероятность	Влияние	Меры минимизации	Ответственный
Изменение законодательства	низкая	высокое	мониторинг законодательных инициатив	ведущий юрист
			включение соответствующих пунктов в контракты	

Процедуры управления рисками:

- еженедельно: обновление реестра рисков на операционных совещаниях;
- ежемесячно: оценка эффективности мероприятий по минимизации;
- ежеквартально: пересмотр карты рисков с руководством предприятия.

Индикаторы срабатывания рисков:

- отклонение от графика $\geq 10\%$;
- превышение бюджета $\geq 5\%$;
- снижение операционных показателей $\geq 15\%$.



Данная система управления рисками позволяет идентифицировать потенциальные угрозы и своевременно принимать корректирующие меры, обеспечивая успешную реализацию проекта цифровизации.

Расчет инвестиционных затрат на внедрение, экономической эффективности, качественных эффектов и ключевых финансовых показателей

Технологический процесс – подготовка горной массы к выемке.

Расчет инвестиционных затрат внедрения системы управления буровзрывными работами «DrillManager» представлен в Таблице 14.

Таблица 14. Расчет стоимости внедрения автоматизированной системы управления буровзрывным комплексом «DrillManager»

Table 14. Calculation of the cost of implementing the DrillManager automated drilling and blasting complex management system

Наименование	Количество	Стоимость, руб.
Комплект оборудования буровой установки	3	6 750 000
Серверное оборудование и программное обеспечение системы «DrillManager»	1	1 800 000
Монтажные и пусконаладочные работы	1	1 800 000
Обучение персонала	-	150 000
Итого	-	10 500 000

Технико-экономические показатели процесса подготовки горной массы к выемке представлены в Таблице 15.

Таблица 15. Технико-экономические показатели процесса подготовки горной массы к выемке

Table 15. Technical and economic indicators of the process of preparing rock mass for extraction

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Технико-экономические показатели		
Объем взорванной массы	м ³ /год	2 000 000
Объем бурения	п.м./год	58 000
Удельный расход взрывчатых веществ	кг/м ³	0,29
Выход горной массы	м ³ /п.м.	34,3
Расход взрывчатых веществ	кг/год	580 000
Стоимость 1 кг взрывчатых веществ	руб.	66,25
Стоимость буровзрывных работ на 1 м ³ горной массы	руб.	53,2
Вторичное бурение и выход негабаритов	м ³ /год	50 000
Затраты, связанные со вторичным бурением и выходом негабаритов	руб./год	2 660 000
Буровая установка СБШ-250МНА		
Количество	шт	1
Расход шарошечных долот в год	шт	51
Производительность шарошечного долота	п.м.	652
Стоимость шарошечного долота	руб.	66 400
Буровые установки Zega D480A / Atlas Copco Roc-L6		
Количество	шт	2
Расход буровых коронок в год	шт	77
Производительность буровой коронки	п.м.	432
Стоимость буровой коронки	руб.	29 000



Расчет экономического эффекта за счет снижения затрат на расходующие материалы (буровые коронки, шарошечные долота) на 15%, взрывчатые материалы и вторичное взрывание на 5% в результате внедрения системы управления буровзрывными работами «DrillManager» представлен в Таблице 16.

Таблица 16. Расчет экономического эффекта в результате внедрения системы управления буровзрывными работами «DrillManager»

Table 16. Calculation of the economic effect of implementing the DrillManager drilling and blasting management system

Статья расходов	Фактические затраты, руб.	Затраты после внедрения решения, руб.	Отклонение	
			руб.	%
Затраты на шарошечные долота и буровые коронки	5 619 400	4 776 490	- 842 910	- 15,0
Затраты на взрывчатые вещества	38 425 000	36 503 750	- 1 921 250	- 5,0
Затраты на вторичное взрывание	2 660 000	1 330 000	- 1 330 000	- 50,0
Итого	46 704 400	42 610 240	- 4 094 160	-8,8

Внедрение системы управления буровзрывными работами «DrillManager» позволяет получить следующие качественные эффекты:

- контроль, учет и оптимизация различных типов простоев (ремонтные, производственные, организационные);
- сокращение простоев, связанных с ремонтом бурового оборудования;
- повышение оперативности работ, точности и оперативности учета производственных показателей за счет использования систем автоматизации и беспроводных технологий;
- повышение производительности при бурении скважин за счет наведения станка на скважины в соответствии с проектом, передаваемым на буровые станки по беспроводной сети (исключения необходимости выноски скважин на блок, влияния погодных условий, квалификации оператора);
- повышение ходимости бурового инструмента за счет автоматизации учета и автоматического контроля параметров эксплуатации бурового инструмента;
- улучшение качества поверхности уступов и уменьшение затрат на их подготовку за счет точного контроля проектной глубины скважины;
- повышение эффективности работы погрузочного оборудования за счет улучшения гранулометрического состава взорванной горной массы;
- формирование объемной модели блока с данными о крепости пород (Рис. 6).

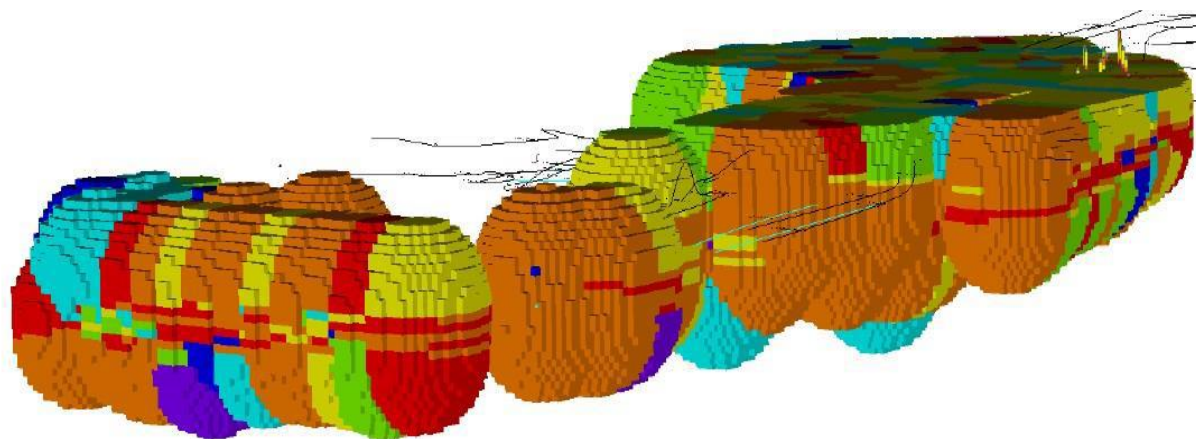


Рис. 6. Объемная модель блока с данными о крепости пород
Fig. 6. Volumetric model of a block with data on rock strength



Технологический процесс – выемочно-погрузочные работы.

Расчет стоимости внедрения системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager» представлен в Таблице 17.

Таблица 17. Расчет стоимости внедрения системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager»

Table 17. Calculation of the cost of implementing the ShovelManager excavation and loading management system

Наименование	Количество	Стоимость, руб.
Комплект оборудования экскаватора	4	8 750 000
Серверное программное обеспечение системы «ShovelManager»	1	1 800 000
Монтажные и пусконаладочные работы	1	1 800 000
Обучение персонала	-	150 000
Итого	-	12 000 000

Технико-экономические показатели выемочно-погрузочных работ представлены в Таблице 18.

Таблица 18. Технико-экономические показатели выемочно-погрузочных работ

Table 18. Technical and economic indicators of excavation and loading operations

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Объем добычи	т/год	2 600 000
Потери полезного ископаемого	%	2,5
	т/год	65 000
Эксплуатационный коэффициент вскрыши	м ³ /т	0,77
Себестоимость выемки добычи	руб/т	373,8

Расчет экономического эффекта за счет сокращения количества потерь полезного ископаемого на 5% от существующего показателя в 2,5% в результате внедрения системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager» представлен в Таблице 19.

Таблица 19. Расчет экономического эффекта в результате внедрения системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager»

Table 19. Calculation of the economic effect of implementing the ShovelManager excavation and loading management system

Статья расходов	Фактические затраты, руб.	Затраты после внедрения решения, руб.	Отклонение	
			руб.	%
Добыча полезного ископаемого	24 297 000	23 083 150	1 214 850	- 5,0

Техническими проектами разработки месторождений филиала «АРУ» АО «КФ» четко прописаны требования о параметрах системы разработки, включающие высоту уступов карьера и ярусов отвалов, углы откоса уступов (ярусов) и бортов карьера и отвалов. Машинисту экскаватора (бульдозера, погрузчика) затруднительно соблюдать отметку подошвы и угол откоса в режиме реального времени, что в свою очередь не отменяет требований технического проекта и федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».

Система «ShovelManager» позволяет карьерной технике (экскаваторам, погрузчикам или бульдозерам) выполнять свою работу в соответствии с проектными планами, разработанными техническим, геологическим и маркшейдерским отделами предприятия. Используя высокоточные данные при управлении карьерной техникой, возможно добиться нужной высоты подъема уступа карьера с точностью до сантиметров в режиме реального времени вместо того,



чтобы полагаться на примерные предположения и геодезистов для получения данной информации.

Данные о положении ковша с датчиков передаются в модуль высокоточной навигации и выемки, который обеспечивает контроль положения ковша и высотных отметок, степень срезки/заполнения и выводит эту информацию на дисплей оператора.

Внедрение системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager» позволяет получить следующие качественные эффекты:

- соблюдение проектных отметок (Рис. 7);
- точное позиционирование ковша экскаваторов для обеспечения нужного усреднения материала;
- сокращается «горизонтальное» разубоживание (благодаря графическому отображению в реальном времени положений ковша при отработке контактов блока);
- сокращается «вертикальное» разубоживание (благодаря графическому отображению в реальном времени высотных отметок подошвы уступа);
- в режиме реального времени с точностью до нескольких сантиметров становится возможно позиционировать ковш экскаватора или рабочие инструменты бульдозеров и другой техники, обеспечивая высокоточную выемку и формирование проектной формы рельефа (отвалов, уступов, дорог);
- отображение электронных проектов рабочих зон на дисплее оператора;
- отображение профилей фактической и проектной поверхностей, наложенных друг на друга для достижения проектных значений;
- все данные о работе техники сохраняются в централизованной базе данных;
- широкие возможности системы отчетности для контроля объемов и качества выполненных работ.



Рис. 7. Информация об отклонении от проектных отметок горизонта
Fig. 7. Information on deviations from the design horizontal marks



Технологический процесс – переработка полезного ископаемого.

Расчет стоимости внедрения системы «ML Sence», использующей машинное зрение для определения гранулометрического состава товарного кварцита, представлен в Таблице 20.

Таблица 20. Расчет стоимости внедрения системы «ML Sence»

Table 20. Calculation of the cost of implementing the ML Sence system

Наименование	Количество	Стоимость, руб.
Комплект оборудования машинного зрения	1	3 000 000
Серверное оборудование и программное обеспечение системы «ML Sence»	1	400 000
Монтажные и пусконаладочные работы	1	650 000
Обучение персонала	-	100 000
Итого	-	4 150 000

Технико-экономические показатели процесса переработки полезного ископаемого представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Технико-экономические показатели процесса переработки полезного ископаемого

Table 21 – Technical and economic indicators of the mineral processing

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Объем переработки полезного ископаемого	т/год	2 600 000
Объем производства товарного кварцита	т/год	1 200 000
Выход товарного кварцита	%	45
Стоимость производства товарного кварцита	руб/т	2 500
Кварцит, не прошедший контроль на фракционный состав*	т	1 400

*В настоящее время гранулометрический состав товарного кварцита определяется 3 раза в смену, что охватывает в неполной мере количество произведенного товарного кварцита 1 400 т при суточном производстве 3 200 т.

Расчет экономического эффекта за счет выявления брака товарного кварцита в режиме реального времени в результате внедрения системы «ML Sence», использующей машинное зрение, представлен в Таблице 22.

Таблица 22. Расчет экономического эффекта в результате внедрения системы «ML Sence»

Table 22. Calculation of the economic effect of implementing the ML Sence system

Статья расходов	Фактические затраты, руб.	Затраты после внедрения решения, руб.	Отклонение	
			руб.	%
Затраты на производство товарного кварцита, не прошедшего гранулометрический контроль	3 500 000	0	- 3 500 000	100%

Внедрение системы «ML Sence», использующей машинное зрение для определения гранулометрического состава товарного кварцита, позволяет получить следующие качественные эффекты:

- автоматизация процесса определения гранулометрического состава товарного кварцита в режиме реального времени (Рис. 8);



- 3D-сканеры позволяют получать точные и качественные данные о размерах и форме объектов;
- благодаря возможностям искусственного интеллекта устройства способны анализировать большие объемы данных и выявлять закономерности, которые могут быть не замечены человеком.

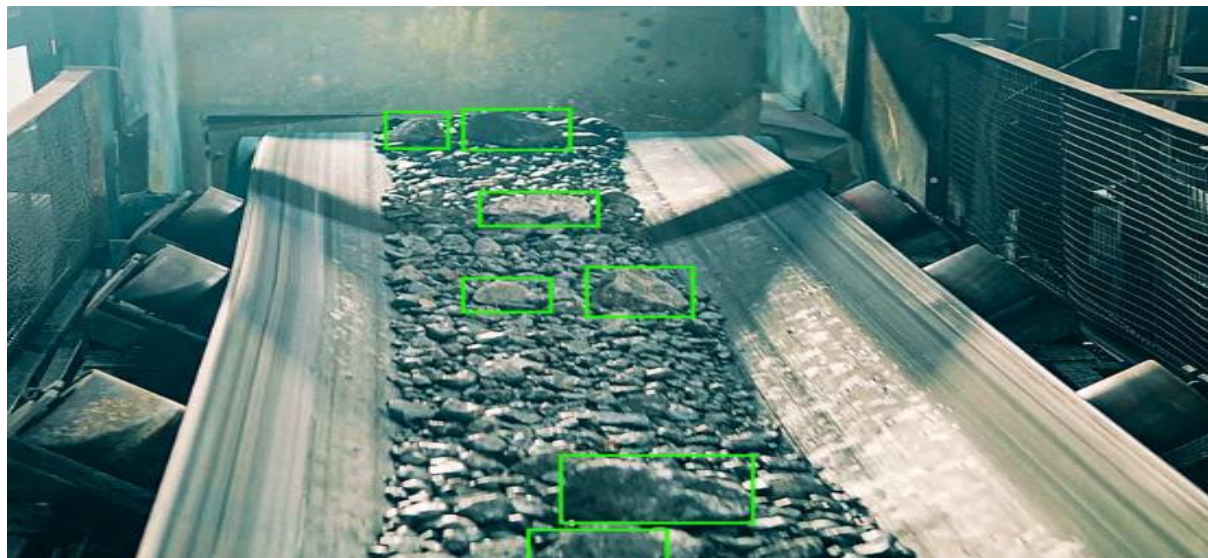


Рис. 8. Определение гранулометрического состава товарного кварцита в режиме реального времени

Fig. 8. Determination of the particle size distribution of commercial quartzite in real time

В Таблице 23 представлены результаты расчета ключевых финансовых показателей инвестиционных проектов.

Таблица 23. Результаты расчета ключевых финансовых показателей инвестиционных проектов

Table 23. Results of the calculation of key financial indicators of investment projects

Показатель	Проект 1 – внедрение системы управления буровзрывными работами «DrillManager»	Проект 2 – внедрение системы управления выемочно-погрузочными работами «ShovelManager»	Проект 3 – внедрение системы машинного зрения «ML Sence»
Объем инвестиций, тыс. руб.	10 500 000	12 000 000	4 150 000
Горизонт планирования, лет	5	10	5
Номинальный денежный поток, руб.	4 094 160	1 214 850	3 500 000
Ставка дисконтирования, %	10	10	10
Накопленный дисконтный денежный поток, руб.	15 520 088	7 464 727	13 267 754
Чистая текущая стоимость доходов, руб.	5 020 088	- 4 535 273	9 117 754
Срок окупаемости проекта, лет	2,6	10,5	1,2
Внутренняя норма доходности проекта, %	27,4	0,22	79,9
Коэффициент рентабельности, %	52,2	-137,8	119,7



Заключение

В статье представлены варианты внедрения цифровых технологий для управления технологическими процессами на предприятии и дана оценка их эффективности. Обоснован выбор приоритетных бизнес- и технологических процессов для цифровой трансформации. Рассчитаны инвестиционные затраты на внедрение, экономическая эффективность и ключевые финансовые показатели проектов. Практическая значимость работы заключается в возможности применения цифровой трансформации на практике для повышения эффективности управления бизнес-процессами на горнодобывающих предприятиях.

В соответствии с полученными ключевыми финансовыми показателями инвестиционных проектов, представленными в Таблице 23, можно сказать, что они являются экономически эффективными, за исключением проекта 2, где основным качественным показателем является улучшение безопасности горных работ.

Цифровая трансформация ключевых процессов филиала «Антоновского рудоуправления» Акционерного общества «Кузнецкие ферросплавы» позволила получить следующие основные эффекты:

- снижение затрат на расходуемые материалы (буровые коронки, шарошечные долота) на 15%, взрывчатые материалы и вторичное взрывание – на 5%;
- точное позиционирование буровой установки на блоке и автоматизация технологических процессов при бурении;
- сокращение количества потерь полезного ископаемого на 5% от существующего показателя в 2,5%;
- улучшение безопасности ведения горных работ в результате соблюдения проектных углов откоса уступа и отметок горизонта при выемке горной массы;
- автоматизация процесса определения гранулометрического состава товарного кварцита и выявление брака товарного кварцита в режиме реального времени.

Годовой экономический эффект после внедрения цифровых технологий в управление ключевыми процессами филиала «АРУ» АО «КФ» составит 8,8 млн руб.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Королева Татьяна Геннадьевна, к.э.н., доцент, зав. кафедрой производственного менеджмента
e-mail: ktg.oegp@kuzstu.ru

Галанина Татьяна Вадимовна, к.с.-х.н., доцент кафедры производственного менеджмента
e-mail: gtv.oe@kuzstu.ru

Баумгартэн Михаил Ицкович, к.ф.-м.н., доцент кафедры истории, философии и социальных наук
e-mail: bmi.phil@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Красножен Дмитрий Вячеславович, начальник технического отдела, главный геолог
e-mail: dmitriy.krasnozhen@gmail.com

Филиал «Антоновское рудоуправление» Акционерного общества «Кузнецкие ферросплавы»
652491, Российская Федерация, г. Анжеро-Судженск, пгт Рудничный, ул. Усынина, 3



Список литературы

1. Цифровая трансформация горных предприятий: зрелость систем. URL: <https://sciup.org> (дата обращения 05.10.2025).
2. Improvement of nature conservation management system / T. Galanina, T. Koroleva, M. Baumgarten [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019", Krasnoyarsk, 04–06 апреля 2019 года. Vol. 537. – London: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 62005. – DOI 10.1088/1757-899X/537/6/062005. – EDN IHAXIR.
3. Galanina, T.V. Legal Aspects of Regulating Disturbed Land Reclamation / T.V. Galanina, M.I. Baumgarten, T.G. Koroleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Current Problems and Solutions, Yurga, 13–14 февраля 2020 года. – Yurga, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1755-1315/543/1/012003. – EDN PGOUPU.
4. Колесников, В.Ф. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В.Ф. Колесников, В.Л. Мартянов ; Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – 189 с. – EDN PLHAZN.
5. Environmental-Socio-Economic Monitoring as a Tool of Region's Environmental-Economic System Management / T. V. Galanina, M. I. Baumgarten, V. G. Mikhailov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yurga, 17–19 ноября 2016 года. Vol. 50. – Yurga: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012030. – DOI 10.1088/1755-1315/50/1/012030. – EDN YHUGQV.
6. Галанина, Т.В. Эколого-экономическое моделирование техногенного воздействия горнодобывающего региона на окружающую среду и человека / Т.В. Галанина, М.И. Баумгартэн, Т.Г. Королева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 88-97. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-04-0-88-97. – EDN SQGQWL.
7. Суслина, Л.А. Обогащение полезных ископаемых: учебное пособие / Л.А. Суслина; КузГТУ. – Кемерово, 2020. – 194 с.
8. Автоматизация горнодобывающей промышленности: технологии, процессы и перспективы. URL: <https://ivctl.ru> (дата обращения 05.10.2025).
9. Архитектура Интернета вещей в горном производстве. URL: <https://1economic.ru> (дата обращения 05.10.2025).
10. Применение технологий BigData для оптимизации производственных процессов в горнодобывающей промышленности России: анализ внедрения и эффективности. URL: <https://mining-media.ru> (дата обращения 05.10.2025).
11. Дженстер П., Хасси Д. Анализ сильных и слабых сторон компании: определение стратегических возможностей // М.: Вильямс. – 2003. – 368 с.
12. Проектная документация «Разработка месторождения кварцитов «Сопка 248». Том 1. Раздел 1 «Пояснительная записка». – Челябинск: ООО «Урал-ГИПроЦентр», 2014. – 147 с.
13. Проектная документация «Разработка месторождения кварцитов «Сопка 248». Том 5.7.1. Раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Подраздел 7. Технологические решения. Часть 1 Текстовая часть. – Челябинск: ООО «Урал-ГИПроЦентр», 2014. – 147 с.
14. Думчев, А. И. Книга 1. Технично-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов кварцитов месторождения «Сопка 248» / А. И. Думчев, И. М. Новиков. – Челябинск: ООО «Геологическая компания «Геокомплекс», 2012. – 204 с.
15. Красножен, Д.В. Пояснительная записка. План развития горных работ филиала «Антоновское рудоуправление» Акционерного общества «Кузнецкие ферросплавы» на 2024 год / Д. В. Красножен. – Кемерово: филиал «АРУ» АО «КФ», 2023. – 56 с.
16. Виснап, А.А. Технологическая ESG-трансформация системы открытой разработки в условиях действующего горного предприятия / А.А. Виснап, М.А. Тюленев // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 3(22). – С. 4-15. – DOI 10.26730/2618-7434-2023-3-4-15. – EDN TQNKDH.
17. Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ / В. Б. Артемьев, В. Н. Захаров, В. А. Галкин [и др.] // Уголь. – 2017. – № 12(1101). – С. 6-19. – DOI 10.18796/0041-5790-2017-12-6-19. – EDN ZUMCFF.
18. Плакиткин, Ю. А. Мировой инновационный проект "Индустрия-4.0" - возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа "Индустрия-4.0" - новые подходы и решения / Ю. А. Плакиткин,



Л. С. Плакиткина // Уголь. – 2017. – № 10(1099). – С. 44-51. – DOI 10.18796/0041-5790-2017-10-44-50. – EDN ZHJZWL.

19. Плакиткин, Ю. А. Мировой инновационный проект "Индустрия-4.0" - возможности применения в угольной отрасли России. 2. Что "требуется" от угольной отрасли четвертая промышленная революция? / Ю. А. Плакиткин, Л. С. Плакиткина // Уголь. – 2017. – № 11(1100). – С. 46-53. – DOI 10.18796/0041-5790-2017-11-46-53. – EDN ZQTYLJ.

20. Плакиткин, Ю. А. Мировой инновационный проект "Индустрия-4.0" - возможности применения в угольной отрасли России. 3. Систематизация основных элементов проекта "Индустрия-4.0 по базовым процессам горного производства / Ю. А. Плакиткин, Л. С. Плакиткина // Уголь. – 2018. – № 1(1102). – С. 51-57. – DOI 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57. – EDN WRIBVC.

21. Балахонцев, В. И. Сущность бизнес-планирования / В. И. Балахонцев, Н. С. Федорова, С. П. Хохлов // Инновации. Наука. Образование. – 2022. – № 49. – С. 277-281. – EDN WDXIHZ.

22. Голубков, Е. П. Стратегический менеджмент: учебник и практикум для вузов / Е. П. Голубков. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 278 с. URL: <https://urait.ru> (дата обращения: 19.10.2025).

23. Маслич, Е. А. Сущность методов и форм прогнозирования и планирования деятельности предприятий в современных условиях / Е. А. Маслич // Актуальные вопросы современной экономики. – 2020. – № 1. – С. 121-130. – DOI 10.34755/IROK.2020.96.64.019. – EDN INPRBA.

24. Ильин, А. И. Планирование на предприятии: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 080103 «Национальная экономика» и экономическим специальностям / А. И. Ильин. – 9-е изд., стер. – Москва: ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2014. – 667 с.

25. Пробин, П. С. Инвестиционный менеджмент: учебное пособие / П. С. Пробин, О. В. Жукова. – Москва: Издательство «Научный консультант», 2023. – 82 с.

26. Масловский, В. П. Управление проектами. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / В. П. Масловский. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 179 с.

UDC 65.015

IMPLEMENTATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE ACTIVITIES OF THE ANTONOVSKOE ORE MINING BRANCH OF THE KUZNETSK FERROALLOYS JSC

Tatyana G. Koroleva¹, Tatyana V. Galanina¹, Mikhail I. Baumgarten¹,
Dmitry V. Krasnozhen²

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Antonovskoye Ore Mining Branch of the Kuznetsk Ferroalloys JSC



Article info

Received:
14 November 2025

Revised:
18 February 2026

Accepted:
24 February 2026

Keywords: digitalization, digital transformation, business process, technological process, mining enterprise, analysis, technical and economic indicators,

Abstract.

The mining industry is one of the key sectors of the economy, providing raw materials for many other industries. In today's environment, effective management of technological processes at mining enterprises is becoming a critical factor in their competitiveness and sustainability. The introduction of digital technologies into the management of these processes opens up new opportunities for improving the efficiency, safety, and economic profitability of production.

This article is devoted to the research and development of methodological approaches to the introduction of digital technologies in the management of technological processes at the Antonovskoye Ore Mining Branch of the Kuznetsk Ferroalloys Joint Stock Company (AOM Branch of KF JSC), as well as the assessment of their impact on the efficiency of production activities. The object of the study is a mining enterprise, and the subject is the technological processes of a mining enterprise. The methodological basis of the study includes methods of system analysis, modeling of technological and business processes, as well as assessment of the economic efficiency of digital transformation. The features of the technological processes of enterprises engaged in open-pit mining and the



economic efficiency, ESG-transformation

potential for their optimization are considered, and the classification of key digital technologies for the mining industry is analyzed. It has been found that digital technologies are used in the mining industry, including automation, the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence (AI). The effectiveness of existing technological processes was assessed. Based on an analysis of the activities of the AOM branch of KF JSC, technological processes for digitalization were identified. The investment costs for implementation, economic efficiency, qualitative effects, and key financial indicators were calculated. The practical significance of the article lies in the possibility of applying the developed recommendations in practice to improve the efficiency of technological process management at mining enterprises.

For citation: Koroleva T.G., Galanina T.B., Baumgarten M.I., Krasnozhen D.V. Implementation of digital technologies in the activities of the Antonovskoye Ore Mining branch of the Kuznetsk Ferroalloys JSC. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2026;1(32):68-99. DOI: 10.26730/2618-7434-2026-1-68-99, EDN: WMYVNW

References

1. Digital Transformation of Mining Enterprises: System Maturity. URL: <https://sciup.org> (accessed 05.10.2025). [In Russ.].
2. Improvement of Nature Conservation Management System / T. Galanina, T. Koroleva, M. Baumgarten [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;537:62005. – DOI 10.1088/1757-899X/537/6/062005. – EDN IHAXIR.
3. Galanina, T.V. Legal Aspects of Regulating Disturbed Land Reclamation / T.V. Galanina, M.I. Baumgarten, T.G. Koroleva // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Current Problems and Solutions*, Yurga, February 13–14, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1755-1315/543/1/012003. – EDN PGOUPU.
4. Kolesnikov, V.F. Technology and integrated mechanization of open-pit mining / V.F. Kolesnikov, V.L. Martyanov. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2017. – 189 p. – EDN PLHAZN. [In Russ.].
5. Environmental-Socio-Economic Monitoring as a Tool of Region's Environmental-Economic System Management / T.V. Galanina, M.I. Baumgarten, V.G. Mikhailov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Yurga, November 17–19, 2016. Vol. 50. – Yurga: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012030. – DOI 10.1088/1755-1315/50/1/012030. – EDN YHUGQV.
6. Galanina, T.V. Ecological and economic modeling of the technogenic impact of a mining region on the environment and humans / T.V. Galanina, M.I. Baumgarten, T.G. Koroleva. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2019;(4):88-97. [In Russ.]. DOI 10.25018/0236-1493-2019-04-0-88-97. EDN SQGQWL.
7. Suslina, L.A. Enrichment of Minerals: A Tutorial. KuzSTU Publishing House. – Kemerovo, 2020. – 194 p. [In Russ.].
8. Automation of the Mining Industry: Technologies, Processes, and Prospects. URL: <https://ivctl.ru> (accessed 05.10.2025). [In Russ.].
9. Architecture of the Internet of Things in Mining. URL: <https://1economic.ru> (accessed 05.10.2025).
10. Application of BigData Technologies for Optimization of Production Processes in the Mining Industry of Russia: Implementation and Efficiency Analysis. URL: <https://mining-media.ru> (date of access 05.10.2025).
11. Jenter P., Hassey D. Analysis of the Company's Strengths and Weaknesses: Determining Strategic Opportunities // Moscow: Williams Publishing House. – 2003. – 368 p. [In Russ.].
12. Design documentation "Development of the Sopka 248 quartzite deposit". Volume 1. Section 1. "Explanatory Note". – Chelyabinsk: Ural-GIProTsentr JSC, 2014. – 147 p. [In Russ.].
13. Design documentation "Development of the Sopka 248 quartzite deposit". Volume 5.7.1. Section 5. "Information on the engineering equipment, on the engineering and technical support networks, a list of engineering and technical measures, the content of technological solutions. Subsection 7. Technological Solutions. Part 1. Text Section. – Chelyabinsk: Ural-GIProTsentr JSC, 2014. – 147 p. [In Russ.].
14. Dumchev, A.I. Book 1. Feasibility Study of Permanent Exploration Conditions for Estimating Quartzite Reserves at the Sopka 248 Deposit / A.I. Dumchev, I.M. Novikov. – Chelyabinsk: Geological Company Geocomplex JSC, 2012. – 204 p. [In Russ.].



15. Krasnozhen, D.V. Explanatory Note. Mining Development Plan for the Antonovskoye Mine Administration Branch of Kuznetsk Ferroalloys Joint-Stock Company for 2024 / D.V. Krasnozhen. – Kemerovo: AOM branch of JSC “KF”, 2023. – 56 p. [In Russ.].
16. Visnap A.A., Tyulenev M.A. Technological ESG transformation of the open-pit mining system under the conditions of an operating mining enterprise. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2023;3(22):4-15. – DOI 10.26730/2618-7434-2023-3-4-15. – EDN TQNKDH. [In Russ.].
17. Strategy, tactics and practice of innovative development of open-pit mining / V.B. Artemyev [et al.]. *Ugol'*. 2017;12(1101):6-19. DOI 10.18796/0041-5790-2017-12-6-19. – EDN ZUMCFF. [In Russ.].
18. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Global innovation project "Industry 4.0" - application possibilities in the Russian coal industry. 1. The Industry 4.0 program - new approaches and solutions. *Ugol'*. 2017;10(1099):44-51. DOI 10.18796/0041-5790-2017-10-44-50. EDN ZHJZWL. [In Russ.].
19. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Global innovation project "Industry 4.0" - application possibilities in the Russian coal industry. 2. What does the fourth industrial revolution "demand" from the coal industry? *Ugol'*. 2017;11(1100):46-53. DOI 10.18796/0041-5790-2017-11-46-53. EDN ZQTYLJ. [In Russ.].
20. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Global innovation project "Industry 4.0" - application possibilities in the Russian coal industry. 3. Systematization of the main elements of the Industry 4.0 project for basic mining processes. *Ugol'*. 2018;1(1102):51-57. DOI 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57. EDN WRIBVC. [In Russ.].
21. Balakhontsev, V.I. The essence of business planning / V. I. Balakhontsev, N. S. Fedorova, S. P. Khokhlov // *Innovations. Science. Education*. 2022;49:277-281. - EDN WDXIHZ. [In Russ.].
22. Golubkov, E. P. Strategic management: textbook and workshop for universities / E. P. Golubkov. - Moscow: Urait Publishing House, 2025. – 278 p. [In Russ.].
23. Maslich E.A. The essence of methods and forms of forecasting and planning the activities of enterprises in modern conditions. *Current issues of modern economics*. 2020;1:121-130. DOI 10.34755/IROK.2020.96.64.019. EDN INPRBA. [In Russ.].
24. Ilyin, A.I. Planning at the enterprise: a textbook. – 9th ed., reprinted. – Moscow: INFRA-M Publishing House; Minsk: New knowledge Publishing House, 2014. – 667 p. [In Russ.].
25. Probin, P.S. Investment Management: a textbook / P.S. Probin, O.V. Zhukova. – Moscow: Scientific Consultant Publishing House, 2023. – 82 p. [In Russ.].
26. Maslovsky, V.P. Project Management. Version 1.0 [Electronic Resource]: Lecture Notes. – Krasnoyarsk: Institute of Advanced Training, Siberian Federal University, 2008. – 179 p. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Tatyana G. Koroleva – PhD (Econ.), Associate Professor, chief of the Department of Industrial Management
e-mail: ktg.oegp@kuzstu.ru

Tatyana V. Galanina – PhD (Agriculture), associate professor of the Department of Industrial Management, corresponding member of the Russian Academy of Ecology
e-mail: gtv.oe@kuzstu.ru

Mikhail I. Baumgarten – PhD (Phys. and Math.), associate professor of the Department of History, Philosophy and Social Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Ecology
bmi.phil@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
28 Vesennyaya street, Kemerovo, Russian Federation, 650000

Dmitry V. Krasnozhen, chief of the Engineering Department, Main Geologist
e-mail: dmitriy.krasnozhen@gmail.com
Antonovskoye Ore Mining Branch of the Kuznetsk Ferroalloys JSC
3 Usynina street, Rudnichny urban-type settlement, Anzhero-Sudzhensk, Russian Federation, 652491

