

УДК 658.5.011

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МОДЕЛИ «УМНОГО» РУДНИКА
НА УСЛОВНОМ АЛМАЗНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПАО «АЛРОСА»**

Е.В. Зорина, Л.Д. Морщакова, О.А. Черная, студенты гр. 3150801/90104,
5 курс; В.С. Козодаева, студент гр. 3150801/90103, 5 курс
Петроченко Марина Вячеславовна, к.т.н., доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
г. Санкт-Петербург

Аннотация: В настоящей статье разработана концепция «умного» рудника на условном алмазном месторождении ПАО «АЛРОСА» с применением технологий Индустрии 4.0. Предполагается, что использование данных технологий значительно повысит эффективность производственных процессов, снизит износ техники и уменьшит неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Внедрение концепции «умного» рудника производится на всех этапах производственного цикла: буровзрывные работы, проветривание, уборка, транспортировка и обогащение руды.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, алмазодобывающая отрасль, автономное управление, «умный» рудник, «цифровой двойник», IoT-устройства, роботизация производства.

Введение

Внедрение технологий Индустрии 4.0 в алмазодобывающую отрасль началось относительно недавно. Основными ограничениями являются уникальность производственных процессов и требования к безопасности труда. В связи с этим внедрение технологий происходит поэтапно и с тщательным тестированием. Однако данные технологии позволяют значительно повысить производительность труда и производственную безопасность.

Алмазодобывающая отрасль имеет свои особенности:

- Отсутствие полной технологической схемы получения руды. Традиционную технологическую схему необходимо адаптировать к каждому месторождению, чтобы избежать неэффективного использования залежей руды.
- Неэффективное использование техники приводит к снижению производительности. Причинами простоев техники могут быть ошибки в планировании технологических процессов и распределении трудовых ресурсов.
- Быстрый износ техники и непредвиденные ремонты приводят к необходимости частого обновления техники и дополнительным затрам на ее ремонт, а также увеличивают время на производство продукции.
- Отсутствие оперативности в коммуникациях среди рабочих замедляет производственные процессы и снижает эффективность добычи руды.

– Истощение существующих месторождений ведет к необходимости в поиске и разработке новых, что требует значительных первоначальных инвестиций и тщательного планирования.

– Опасность для жизни и здоровья рабочих, что обусловлено подземным способом добычи и проведением буровзрывных работ.

На условном месторождении ПАО «АЛРОСА» требовалось провести повышение эффективности схемы добычи руды с использованием технологий Индустрии 4.0. Основной целью проведения данной работы является выявление ключевых проблем добычи и обогащения руды, а также разработка оптимальных решений на базе технологий Индустрии 4.0.

По итогам анализа предоставленных данных ПАО «АЛРОСА» о процессе проходческого цикла были выявлены следующие проблемы:

На этапе бурения:

1. Низкий уровень автоматизации процессов бурения;
2. Простои техники вследствие низкой точности в планировании технологических процессов и влияния человеческого фактора.

На этапе взрывных работ:

1. Отсутствие системного подхода к планированию и выполнению работ;
2. Случаи неэффективного использования взрывчатых веществ и техники.

На этапе проветривания:

1. Отсутствие адаптивной системы вентиляции приводит к недостаточной проветриваемости рабочих помещений.
2. Отсутствие своевременного сбора и анализа данных о повышении предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе.

На этапе уборки и транспортировки руды:

1. Техника подвержена высокому износу и имеет низкий коэффициент готовности.
2. На поверхность поднимается в т.ч. пустая порода, что ведет к снижению эффективности производства [1].

Для решения данных проблем требуется внедрить автоматизацию процессов бурения, обеспечить возможность оперативной разработки точного плана взрывных работ, модернизировать систему вентиляции для обеспечения оптимальных условий работы, контролировать своевременное обслуживание техники и минимизировать поднимаемый объем пустой породы.

Также с учетом различных групп факторов выявлены следующие области, требующие повышенного внимания. По производственно-технологическим факторам:

1. Невозможность продолжения добычи алмазов карьерным способом, что требует перехода к подземной добыче.
2. Традиционно применяемая проектная схема вскрытия запасов нуждается в оптимизации для улучшения эффективности добычи руды.
3. Развертывание коммуникационных систем под землей является сложной задачей, которую следует учитывать при реализации подземной добычи.

Для природных факторов:

1. Сложные горно-геологические условия, такие как вечная мерзлота, высокая обводненность территорий, наличие нефтегазопроявлений во вмещающих породах, низкая устойчивость руд и пород, а также высокая засоленность подземных вод и наличие сероводорода в них, создают сложности и требуют применения специализированных технологий.

2. Требования по минимизации негативного воздействия на окружающую среду в процессе разработки рудника.

Для экономических факторов:

1. Текущие технико-экономические показатели указывают на возможную убыточность разработки рудника подземным способом, что требует сокращения расходов и роста производительности труда.

2. Необходимость учета волатильности мировых цен на алмазы, а также изменчивость рынков сбыта [2].

В связи с этим, целью работы стала разработка концепции «умного» рудника с использованием технологий Индустрии 4.0 и ее внедрение в бизнес-процессы условного месторождения ПАО «АЛРОСА» для повышения эффективности производства, снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также улучшения условий труда рабочих.

Основная часть

Концепция «умного» рудника представляет собой цифровую модель производственных процессов, что предполагает возможность сбора и обработки данных с различных источников информации в режиме реального времени. Данная модель позволяет осуществить автономную технологию алмазной добычи: дистанционно управлять техникой и проводить ее мониторинг, а также внедрять роботизированные системы для выполнения наиболее опасных задач. Кроме того, цифровая модель позволяет анализировать и тестировать различные сценарии производственной деятельности, выявлять возможные проблемы и оперативно принимать решения.

Для обеспечения максимальной эффективности добычи алмазов необходимо разработать подробную цифровую модель «умного» рудника, охватывающую все этапы производственного цикла.

Этап буровзрывных работ

С использованием технологий Индустрии 4.0 можно создать цифровую модель, которая будет включать в себя геолого-разведческую базу, основные технологические процессы, расположение основных запасов, планирование хода реализации добычи руды и другие важные технологические операции, что предоставит возможность прогнозировать геомеханические риски при строительстве карьера; создать единую систему учета данных о залегании пород и разрабатываемых месторождений, основных технологических процессах и движении ресурсов в реальном времени; цифровизовать процесс буровзрывных работ, включая моделирование разрушения пород.

Для реализации предложенных решений предполагается использование следующего программного обеспечения: «Геомикс», «Mainframe», «Certiq», что приведет к:

- высокой степени автоматизации в решении задач работы геолого-маркшейдерских и других служб горного предприятия и позволит эффективно обрабатывать информацию о состоянии месторождения;
- повышению качества бумажного и электронного документооборота в соответствии с требованиями Ростехнадзора, ГКЗ Роснедра, стандартов предприятия и инструкций по геолого-маркшейдерским и буровзрывным работам;
- интеграции информационных технологий для решения задач геолого-маркшейдерских служб горного производства в единой программной среде без необходимости использования дополнительных САД-программ [3].

Внедрение автоматизированных систем бурения не только обеспечит стабильность производства, но и повысит безопасность выполнения работ. Реализация дистанционного бурения возможна на следующем оборудовании: «Epiroc», «Sandvik» и буровые установки «ВЕКТОР».

Также возможен вариант внедрения блоков дистанционного управления от ГК ЦИФРА на уже используемую технику и управление ею с помощью программного комплекса «Геомикс».

Предлагается использование системы, позволяющей управлять процессом бурения скважин с помощью видеонаблюдения в режиме реального времени с пункта управления на поверхности [4-5]. IoT-датчики, например ZR RoboDrill от ГК ЦИФРА, устанавливаемые на буровые машины любого производителя, передают информацию диспетчеру для мониторинга состояния техники. Также использование данного программного обеспечения позволит автоматически формировать технические карты бурения и паспорта на буровые установки, определять точное местоположение техники для проведения буровых работ, контролировать технические мощности и режим бурения.

Для осуществления различных типов взрывных работ предлагается разработать адаптированные паспорта. На основе изменяющихся входных данных система будет предлагать наиболее подходящие решения для проведения буровзрывных работ с минимизацией рисков, сокращением возможности возникновения аварийных ситуаций и оптимальным использованием взрывчатого вещества.

Реализация умных паспортов возможна посредством следующего программного обеспечения: «BlastMaker», «HOLE SET 1.0», «K-MINE», «DRIFT-software».

Применение предлагаемой автоматизированной и роботизированной технологии буровзрывных работ будет способствовать проведению подземных работ без необходимости присутствия человека.

Этап проветривания

Для этапа проветривания рекомендуется внедрить систему адаптивной вентиляции. Такие системы основаны на контроле различных параметров воз-

духа: концентрация вредных газов, пыль, влажность, – что позволяет регулировать работу вентиляционных систем в режиме реального времени. Для этого в рабочем пространстве устанавливаются датчики, осуществляющие непрерывный мониторинг состава воздуха и передающие информацию в соответствующее программное обеспечение, где производится дальнейший анализ данных и осуществляется предупреждение о возможной опасности. При обнаружении превышения допустимого уровня вредных газов или пыли система автоматически активирует дополнительные вентиляторы или оповещает персонал. Это позволяет оперативно реагировать на потенциальные угрозы и принимать соответствующие меры для их устранения.

Для реализации предложенного решения можно использовать не только стационарные IoT-датчики, но и модуль «Serpent Automatic» от «Epiroc», который интегрируется в общую систему вентиляции и осуществляет контроль показателей воздуха на местах выполнения подземных работ.

Управление адаптивной вентиляцией предлагается осуществлять с помощью программного обеспечения «VentSim», позволяющего управлять системой и моделировать различные сценарии для быстро реагирования на любые изменения в работе.

Этап уборки и транспортировки руды

Внедрение цифровизации на этапе транспортировки и уборки руды позволит:

- добиться синхронной работы техники без простоев и задержек;
- повысить топливную эффективность путем прогнозирования поведения автомобиля на дороге и корректировки его движения;
- увеличить техническую готовность техники за счет мониторинга показателей внутренних узлов машин и оборудования.

Контроль техники предлагается осуществлять за счет программного обеспечения и IoT-датчиков: «Easy Logic», «CAN сканер» и «Galileosky».

Применение в комбинации указанного выше программного обеспечения позволит не только мониторить состояние техники, но и обеспечить контроль движения всех ресурсов в режиме реального времени. Внедрение данного программного обеспечения возможно не только на уже существующих объектах, но и при разработке новых месторождений, позволяя работать в IT-среде пространственного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта. Данные решения позволяют эффективно планировать и координировать действия, что сокращает время выполнения задач и повышает безопасность проведения технологических операций.

Для внедрения подойдут модели от следующих производителей техники: «Sandvik», «БелАЗ», «QS GROUP», «Fambition», «Epiroc» и «CAT».

Машины и механизмы от данных компаний или уже обеспечены блоками дистанционного управления, или совместимы с блоками от ГК «Цифра» [6], что позволяет модернизировать используемую технику. ГК «Цифра» осуществляет обмен информацией как с «Galileosky», так и с программным комплексом «Геомикс», что позволит обеспечить единство цифровой модели [7].

Этап обогащения

Заключительный этап добычи руды – это ее обогащение. Оптимизация процесса происходит за счет его разделения на две стадии. Первая стадия осуществляется в подземной камере дробления и обогащения, после чего пустая порода транспортируется в камеру промежуточного складирования для дальнейшей закладки выработанного пространства. Для оптимизации этапа используется роботизированная техника, упомянутая выше, увеличивающая скорость процесса и уровень безопасности производства. Полученный концентрат алмазов поднимается на поверхность в обогатительную фабрику, где совершается вторая стадия обработки.

На поверхности в обогатительном цехе реализуется программа «Цифровой Алмаз» от ПАО «АЛРОСА», позволяющая контролировать весь жизненный цикл добываемых алмазов. Преимущества использования данной программы:

- возможность отследить весь жизненный цикл алмаза с его идентификацией;
- снижение уровня фальсификации и появления на рынке синтетически выращенных алмазов;
- создание единой электронной базы алмазов.

Обучение персонала

Предлагается нанять в штат сотрудников гео-координатора, который будет разрабатывать образовательные модули и помогать сотрудникам с адаптацией к новому программному обеспечению.

Использование VR-тренажеров позволит быстро и эффективно освоить новые решения по автоматизации и роботизации производственных процессов. Многие компании, предлагающие готовые решения для внедрения цифровых моделей в производство, уже создали свои центры компетенций, такие как «Цифровое производство» от ГК «Цифра» и онлайн-курсы от «Gallileosky». Внедрение центров компетенций повысит уровень навыков текущих сотрудников и позволит набирать молодых специалистов, обучая их в безопасных условиях.

Технико-экономическое обоснование предлагаемых решений

Основные затраты на внедрение предложенных решений складываются из расходов на закупку автоматизированной техники (буровых установок, погрузчиков и самосвалов), строительства подземной обогатительной фабрики, приобретение лицензий на специализированное программное обеспечение и оборудования. Ключевые выгоды от внедрения формируются от роста производительности труда и коэффициента использования техники, экономии капитальных вложений для обновления стандартных самосвалов, уменьшения использования взрывчатых веществ, электроэнергии и топлива, а также снижения расходов на ремонт техники.

Капитальные расходы проекта «умного» рудника составляют около 1,4 млрд руб. и включают в себя строительство подземной обогатительной фаб-

рики и закупку техники для буровзрывных работ (БВР), уборки и транспортировки руды (УТР) и мониторинга техники (РМТ). Операционные расходы составляют 35 млн руб. в год с момента окончания модернизации. Капитальные вложения (CAPEX) и операционные расходы (ОРЕХ) представлены на рисунке.



Рис. Капитальные вложения и операционные расходы на внедрение предложенных решений «умного» рудника

Заключение

В результате проведенного исследования разработана концепция модели «умного» рудника на условном месторождении ПАО «АЛРОСА», основанная на внедрении технологий Индустрии 4.0. Эта модель направлена на оптимизацию производственных процессов и предлагает использование современных технологий, таких как автоматизированная и роботизированная техника, IoT-устройства, использование искусственного интеллекта и соответствующего программного обеспечения. Основные характеристики модели «умного» рудника включают автоматизацию процессов алмазодобывающего цикла, удаленное управление и контроль каждого этапа производства, мониторинг состояния техники, прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций.

В результате внедрения модели «умного» рудника можно ожидать улучшение эффективности производства, оптимизацию технологических операций, сокращение времени и ресурсов, необходимых для добычи алмазов, повышение точности и надежности процессов, снижение негативного воздействия на окружающую среду, улучшение условий труда сотрудников.

Список литературы:

1. Перечень задач 2020 [Электронный ресурс] // АЛРОСА: [сайт]. — URL: <https://alrosa.ru/upload/iblock/4a3/3.%20Перечень%20задач%202020%20.pdf> (дата обращения: 22.11.2023).
2. Смирнова Н.В. Проблемы и перспективы развития алмазодобывающей промышленности России // Записки Горного института. 2009. №. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-almazodobyvayuschey-promyshlennosti-rossii> (дата обращения: 22.11.2023).
3. Кирсанов, А. К. Анализ программных продуктов для проектирования буровзрывных работ при отработке месторождений подземным способом / А. К. Кирсанов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 249-259. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-programmnyh-produktov-dlya-proektirovaniya-burovzryvnyh-rabot-pri-otrabotke-mestorozhdeniy-podzemnym-sposobom> (дата обращения: 22.11.2023).
4. Дистанционное бурение [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.phosagro.ru/press/industry/fosagro-vnedrila-na-rasvumchorrskom-rudnike-kirovskogo-filiala-ao-apatit-tehnologiyu-distantcionnog/> (дата обращения: 22.11.2023).
5. Прокопьева, В. М. Обзор роботизированной техники в горном деле / В. М. Прокопьева, М. В. Каймонов // Интерактивная наука. – 2023. – № 8(84). – С. 49-53. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_54900763_74135110.pdf (дата обращения: 22.11.2023).
6. Роботизированная и телеуправляемая горная техника [Электронный ресурс] // ЦИФРА: [сайт]. — URL: <https://www.zyfra.com/ru/industries/robotics/> (дата обращения: 22.11.2023).
7. IT-решения для горного производства [Электронный ресурс] // ГЕОМИКС: [сайт]. — URL: <https://geomix.ru/> (дата обращения: 22.11.2023).