

УДК 33**Обобщение международного опыта использования IT-технологий
в горнодобывающей промышленности****Зайцев Михаил Сергеевич**

Аспирант,
Московский институт стали и сплавов,
119049, Российская Федерация, Москва, Ленинский пр-кт, 4/1;
e-mail: s.p.zaytsev@gmail.com

Аннотация

Современное производство товаров, услуг, продукции промышленных предприятий, в том числе и в горнодобывающей отрасли невозможно представить без использования IT-технологий. Применение цифровых технологий, позволяет уменьшить затраты на производство продукции, сократить ошибки в принятии управленческих решений, снизить аварийность на предприятиях. В проведенном научном исследовании, представлен обзор мирового опыта внедрения IT-технологий и искусственного интеллекта в систему управления технологическими процессами добычи полезных ископаемых и тенденции их дальнейшего развития, описаны варианты успешного их использования. Целью данной статьи является изучения мирового опыта внедрения цифровых технологий в систему управления предприятий горнодобывающей промышленности, их влияния на повышение производительности труда, снижения аварийности, повышения экологической безопасности, снижения энергетических затрат и сокращения количества работников на участках повышенной аварийности.

Для цитирования в научных исследованиях

Зайцев М.С. Обобщение международного опыта использования IT-технологий в горнодобывающей промышленности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 3А. С. 76-85.

Ключевые слова

Искусственный интеллект, цифровые технологии, Майнинг, интернет вещей, горнодобывающая промышленность.

Введение

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ, artificial intelligence – AI), информационных технологий (ИТ, information technology – IT) и, в целом, цифровых технологий (ЦТ, digital technologies – DT) в систему управления горнодобывающей промышленности могут оказать значительное влияние на повышение производительности труда предприятий, снижения аварийности, уменьшению вредного воздействия на окружающую природную среду, снижению цен на добычу полезных ископаемых. Уникальность цифровых технологий состоит в том, что с их помощью информация с производственных участков поступает в центры принятия решений в режиме реального времени. Это позволяет использовать программные и аппаратные средства, интегрированные с другими вспомогательными компонентами для управления производственными операциями и даже в общем управлении деятельностью отрасли.

Согласно видению Deloitte, интеллектуальный рудник (intelligent mine) – это подключенная и интегрированная, автоматизированная, но ориентированная на человека система, которая включает в себя три ключевые области:

- базовые цифровые технологии (платформа ERP, архитектура IT/OT, интегрированная платформа данных),
- интеллектуальные решения, которые учитывают различные этапы и цепочки создания стоимости, такие как разведка и разработка, добыча, переработка, логистика, продажа и маркетинг,
- управленческий подход, ориентированный на человека.

Интеллектуальная система добычи полезных ископаемых, предназначена для оптимизации всей цепочки создания стоимости. Она позволяет улучшить интеграцию всех функций в операционном процессе и обеспечить персонал предприятий информацией со всех производственных участков в режиме реального времени, это даёт возможность не только контролировать процесс добычи полезных ископаемых, но при необходимости принимать эффективные управленческие решения.

Согласно результатам опроса, проведенного среди западных горнодобывающих компаний (The Future of Jobs Survey 2020, World Economic Forum), прогнозируется ускорение темпов внедрения цифровых технологий в горнодобывающем секторе. Помимо этого, наблюдается значительный рост интереса к облачным технологиям, кибербезопасности, а также искусственному интеллекту (например, машинному обучению, нейронным сетям, нейролингвистическому программированию). Результаты опроса свидетельствуют о готовности компаний горнодобывающей промышленности к внедрению инновационных технологий.

Внедрение аналитики больших данных, интернета вещей (internet of things, IoT), подключенных устройств и роботов, остается высоким приоритетом для участников отрасли – около 90% опрошенных компаний заявили о своей готовности к внедрению таких технологий к 2025 году (рисунок 1).

В горнодобывающей промышленности DT оптимизировала операции в таких областях, как управление автопарком, механизация горных работ, безопасность, здравоохранение, разведка, воздействие на окружающую среду и удаленные операции [Лёв, 2022]. Устойчивая добыча полезных ископаемых также является одним из направлений, на которое может оказать влияние DT. На основании поступающей информации с контрольных датчиков, можно прогнозировать периоды технического обслуживания оборудования, проводить анализ породы при разведке и

поиске полезных ископаемых, осуществлять контроль системы обнаружения и предупреждения аварий, определять сроки профилактического обслуживания и ремонта горнодобывающих предприятий.

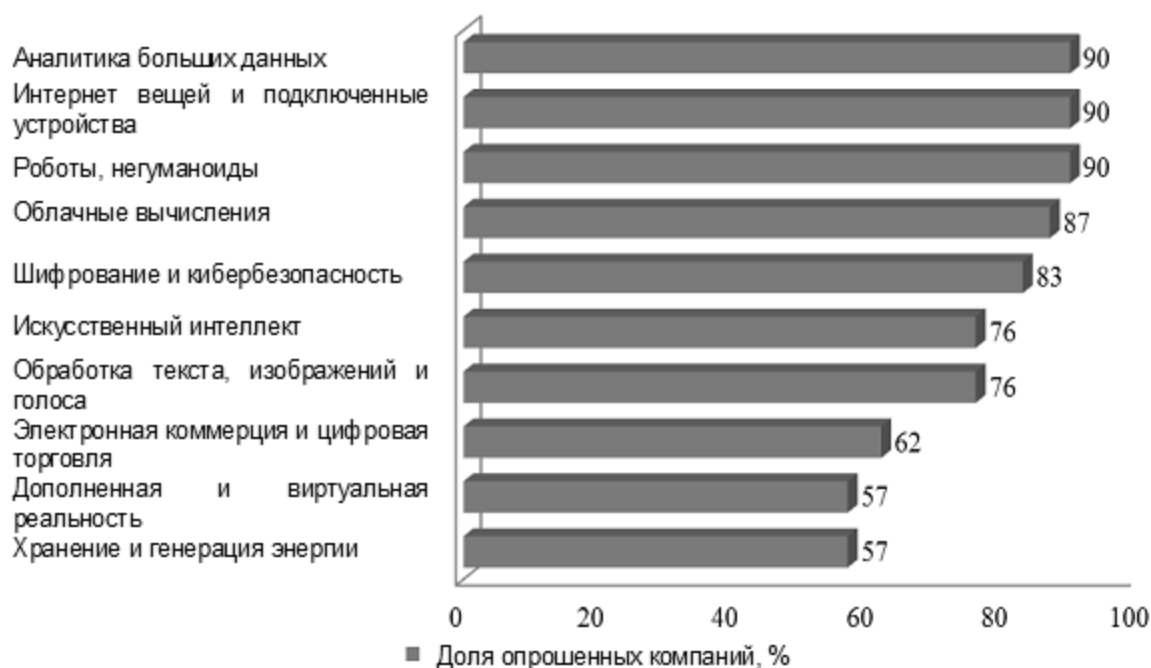


Рисунок 1. – Цифровые технологии, которые могут быть внедрены в горнодобывающем секторе к 2025 году

В настоящее время на стадии проектирования шахт, карьеров и фабрик, менеджмент горнодобывающих предприятий использует передовые цифровые технологии, не только для разработки решений, позволяющих прогнозировать возможные риски и опасности, но и предлагать правильные решения, обеспечивающие устойчивое и безопасное ведение горнодобывающих работ. Решения о безопасности шахт часто основываются на использовании геотехнических и экологических данных для предотвращения опасностей [Лёв, 2022].

Использование ДТ в горнодобывающей промышленности дает возможность получать выгоду не только при проектировании горнодобывающих предприятий, но и за счёт улучшения картирования данных разведки и оценки запасов руды; совершенствования технологий добычи полезных ископаемых, повышения безопасности, логистики, совершенствование механизма распространения информации и маркетинга, а также минимизации производственных затрат и максимизации прибыли [Хорберри, Берджесс-Лимерик, Кук; Штайнер, 2016].

Горнодобывающей отрасли в течении ближайших лет предстоит перейти на более высокий технологический уровень производства и цифровая трансформация, такая как Интернет вещей, облачные технологии, аналитика датчиков (sensors analytics), большие данные (big data, BD), мобильные устройства и искусственный интеллект, представляет собой существенный шанс в преодолении технологического отставания от других отраслей промышленности. Согласно материалам конференции посвященной цифровой трансформации (IEEE-IAS/PCA 2019 IAS/PCA). В период с 2016 по 2025 год стоимость проектов цифровой трансформации составит более 320 миллиардов долларов. Экономия энергии, повышение производительности труда и

повышение безопасности будут составлять большую часть этой стоимости [Миелли, Буланда, 2019].

Концепции Industry 4.0 и Mining 4.0

«Индустрия 4.0» (Industry 4.0) – это стратегия, разработанная правительством Германии в 2013 году. «Индустрия 4.0» описывается как четвертая промышленная революция, которая заключается во внедрении в производственные процессы «Интернета вещей», где весь производственный процесс включен в интернет-сети, которые превращают обычные фабрики и заводы в умные предприятия. Немецкая концепция в целом сформулирована в отчете «Рекомендации по реализации стратегических инициатив «Индустрия 4.0» – Итоговый отчет рабочей группы «Индустрия 4.0». Эта концепция получила развитие во всем мире. Например, правительство Китая продвигает аналогичную идею под названием «Сделано в Китае 2025», правительство Японии запустило «Общество 5.0».

Немецкая интерпретация стратегии «Индустрия 4.0», рисует яркую картину индустрии, в которой машины будут не просто выполнять «физическую работу», но также и корректировать расчеты. Это описывается как киберфизические системы или даже социокиберфизические системы: интеллектуальная вентиляция, интеллектуальная логистика, интеллектуальное обслуживание, интеллектуальные машины и другие интеллектуальные системы, которые устанавливают связь не только с персоналом предприятия, но и между собой.

«Индустрия 4.0» также оказывает влияние и на горнодобывающую промышленность. Предполагается, что некоторые шахты предприняли важные шаги на пути к цифровым шахтам будущего. По аналогии с применением Индустрии 4.0 в некоторых горнодобывающих отраслях промышленности авторы [Лёв, 2019] сформировали концепцию Mining 4.0 (аналог Индустрия 4.0 в горнодобывающей промышленности). Авторы предприняли попытку создать образ того, как будущее может выглядеть с точки зрения горнодобывающих компаний и как горнодобывающие компании могут проложить свой путь к будущим технологиям, управляемым искусственным интеллектом.

Mining 4.0 рассматривается как горнодобывающее предприятие, где горняк является экспертом, обеспечивающим экономичную работу производства. Горнорабочий определяет проблемы непосредственно у источника, удаленно взаимодействуя с другими операторами, экспертами, поставщиками и клиентами в составе многокомпонентной команды. Контроль производства можно осуществлять даже в «цифровом двойнике» (“digital twin”) вдали от предприятия. Также можно отметить, что Mining 4.0 представляет собой дополненного горняка с поддержкой чувств и памяти, расширенными для цифровых технологий. Эта технология использует преимущества и поддерживает навыки человека, повышая осведомленность о ситуациях с помощью встроенных датчиков, поддерживая при этом непрерывный оперативный контроль.

При визуализации цифровых моделей работы оборудования, состояния массива, атмосферы, гидросферы и т.п. к концу 2030 гг. ожидается создание рабочих мест для горняков, которые будут диспетчерами и стратегическими планировщиками не одного процесса, а целого комплекса [Трубецкой, 2019].

В оптимистическом видении Mining 4.0 интеллектуальные системы и удаленное управление возьмут на себя как опасную, так и рутинную работу, чтобы операторы могли сосредоточиться на обучении, создании и оценке рабочих задач в безопасной среде.

Тенденции развития цифровых информационных технологий в горнодобывающей промышленности

В настоящее время горнодобывающая отрасль переживает одновременно два этапа технологической трансформации – переход на платформу Mining 4.0 с формированием платформы будущего – Mining 5.0. Обе эти платформы связаны с переходом от IV к V промышленной революции. Это означает, что Mining 4.0 можно считать платформой Индустрии 4.0, адаптированной к горнодобывающей отрасли. Формирование цифрового «ядра» Mining 4.0 – есть применение технологий Индустрии 4.0 в горнодобывающей отрасли. Благодаря этому информационные технологии, такие как искусственный интеллект, интернет вещей и коллаборативные роботы (коботы), изменили глобальную тенденцию технологического развития отрасли. Некоторые исследователи ожидают замены Mining 4.0 на 5.0 с 2050-х годов не как стихийный процесс, а как постепенный поворот к человекоцентричному производству и повышению цифровой зрелости добычи сырья (ее насыщения современными цифровыми технологиями, такими как искусственный интеллект, цифровые двойники и т. д.) [Россманн, 2018]. Еще одним важным отличием Mining 5.0 от Mining 4.0 является приоритет безопасности труда, профилактики и сохранения здоровья сотрудников предприятий, а также восстановления горнодобывающих территорий.

Поэтому о переходе к Mining 5.0 можно будет говорить тогда, когда цифровая эпоха в добыче полезных ископаемых достигнет максимально возможного уровня – Digital 4.0 [Сантис, Мутусвами, 2022]. Также следует отметить, что переход на Mining 5.0 не возможен без бережливого производства полезных ископаемых (green mining - «зеленого» майнинга), и снижения негативного воздействия на окружающую среду [Массаро, 2022]. Такую возможность позволяют осуществить DT и AI с использованием интернета и других технологий, позволяющих собирать и анализировать данные о национальном и глобальном потреблении энергии в режиме реального времени. Это необходимо для оптимизации производства энергоносителей. Вместе с этим еще один компонент Mining 5.0 – интеллектуальный анализ больших данных (замена человеческой интуиции на машинную при недостатке оперативной информации) – позволяет реализовать стратегию перехода к «зеленому» майнингу благодаря сверхточному анализу межотраслевого баланса в потреблении природных ресурсов и производстве энергии [Да Силва, 2022].

Переход с четвертой к пятой промышленной революции, не возможен без развития технологий машинного зрения и обучения. Современные автономные машины (умные роботы) будут заменены «коботами» с мощным искусственным интеллектом, прежде всего в наиболее вредных и опасных секторах горного производства (подземные шахты и обогатительные фабрики).

Интернет вещей в Mining 4.0

Интернет вещей – это технология «ядра» киберфизических систем; поэтому его важность для Mining 4.0 нельзя недооценивать. Такие системы объединяют различные достижения Индустрии 4.0 – умные датчики, интернет вещей и машинное обучение, необходимые для замены людей роботами в сложных условиях горнодобывающих работ. Киберфизические системы функционируют на основе собственного распознавания экологических (в том числе загазованности, запыленности и радиации), горнодобывающих, геологических,

производственных и технических условий. Именно внедрение киберфизических систем в Mining 4.0 позволяет не только контролировать работу и производительность комплексов оборудования без вмешательства человека, но и повысить безопасность труда, а также существенно снизить энергопотребление за счет оптимизации загрузки всех производственных систем (что коррелирует с Energy Internet) [Парк, 2021]. Так называемый “Digital Mine” («Цифровой рудник») – это квинтэссенция Mining 4.0, включающая в себя цифровизацию всех звеньев цепочки добычи и первичной переработки полезных ископаемых.

Mining 4.0 предполагает широкое распространение цифровых технологий управления потоками данных, которые циклически поступают от встроенных датчиков через различные хранилища данных на консоли. После этого проанализированная, обобщенная и классифицированная информация поступает к конечным пользователям (подсистемам управления), которые в виде команд отправляют ее обратно машинам.

Цифровая экосистема горнодобывающих компаний позволяет интегрировать различные платформы в рамках Интернета вещей. Это приводит к более эффективному принятию решений за счет мгновенного анализа поступающих данных и передачи управляющего воздействия техническим системам.

Большие данные в умном майнинге (Mining 4.0)

Переход к Mining 5.0 будет означать вытеснение человека умными машинами от интеллектуального труда к инженерному творчеству, для чего концепция умного майнинга уже сегодня реализуется в Mining 4.0. Он сочетает в себе искусственный интеллект, способный решать сложные оперативные задачи, современные телекоммуникационные системы (средства хранения и передачи больших данных) и средства их сверхбыстрой обработки. В свою очередь, цифровой основой умного майнинга является анализ больших данных, позволяющий создавать новые знания без вмешательства человека, а также интегрировать инженерную, логистическую и экономическую информацию для управления бизнес-циклом добычи и переработки полезных ископаемых и адаптации объемов производства к изменениям на мировом рынке сырья. Применительно к работе горнодобывающих машин облачные вычисления в сфере обработки больших данных позволяют оптимизировать их работу с увеличением производительности до 30% [Дувнь, 2022].

Анализ больших данных помогает перейти к интеллектуальной геологоразведке недр. Это существенно снижает потери полезных ископаемых за счет повышения точности геологического картирования, что критически важно для разработки глубоких месторождений, особенно при аномалиях залегания [Лю, Чен, Ли, Цинь, 2022]. Метод больших данных (Big Data), можно применять для моделирования горных выработок под морским дном, с использованием автономных подводных роботов. Для этой цели рекомендуется использовать метод вычислительной гидродинамики совместно с использованием цифровых инструментов Tracsim и OrcaFlex [Лим, 2022]. Сочетание технологий лазерного сканирования, анализа больших данных и 3D-моделирования позволяет управлять беспилотными транспортными средствами в подземных горных выработках, избегая аварий и столкновений. С помощью машинного зрения, эта технология позволяет создавать адаптивные 3D-модели горных выработок, в том числе с использованием одновременной локации и картографирования (точность отображения деталей достигает 0,01м.) [Сю, Ли, Вэй, 2022]. В свою очередь, радиальная базисная функция «Эрмита» с пространственной интерполяцией, используемая для

3D-моделирования рудных месторождений, позволяет существенно повысить точность подсчета запасов полезных ископаемых, за счет интеграции геологических карт, мультиспектральных изображений и магнитных исследований с применением дронов [Мартелет, 2021].

Беспилотное (полностью роботизированное) оборудование – новый рубеж развития горнодобывающей техники. Интеграция данных датчиков LiDAR и машинного зрения для обработки по алгоритму геометрического сопоставления позволяет успешно распознавать дорожные знаки в подземных шахтах беспилотным роботизированным транспортом (979,14 совпадений из 1000), обеспечивая безаварийное движение по запланированному маршруту без участия человека [Ким, Чой, 2021]. Мониторинг шахтных механических систем с помощью машинного зрения развивается в сторону использования роботов-инспекторов, которые самостоятельно собирают и анализируют разнородную информацию (RGB (красное–зеленое–синее) - изображение, шум, наличие и уровень газов, вибраций, радиации и др.) [Шрек; Якубиак; Зимроз, 2022].

Внедрение автономного роботизированного управления горным оборудованием позволит организовать мониторинг территорий вблизи работающего горного предприятия и проводить его диагностику в угольных и рудных подземных и открытых шахтах с помощью роботов-инспекторов.

Наконец, базовой цифровой технологией, определяющей путь перехода к Mining 5.0, является облачный майнинг, который позволяет использовать искусственный интеллект не только для управления отдельными процессами и даже предприятиями, но и целыми промышленными кластерами, интегрируя цифровые данные, технологии, облачные вычисления, параметры кооперативных связей между компаниями. Опора на многокритериальное принятие решений позволяет объединить финансовую и маркетинговую стратегии предприятий, построенные с помощью нечеткой когнитивной карты, для заблаговременного планирования природовосстановительной деятельности [Поормирзаи, 2022].

Облачный майнинг играет особую роль при полноценном извлечении недр. В том числе побочных продуктов крупных месторождений, а также при разработке бедных месторождений и добыче вторичного сырья. Все это требует многокритериальной разработки и моделирования в принятии решений, для чего целесообразно использовать аналитический иерархический процесс (analytical hierarchical process, АНП) и Python. Проведение более глубокого анализа большого количества причин аварий и производственного травматизма на предприятиях горнодобывающей промышленности, возможно при сочетании облачных вычислений и алгоритмов машинного обучения, таких как DAFW, ANN и MSE [Йедла, 2020].

Заключение

Несмотря на широкое признание важности цифровой трансформации в отношении горнодобывающей отрасли, сроки, а также организационные и управленческие аспекты такой трансформации все еще недостаточно ясны и требуют лучшего понимания на всех уровнях. Чтобы обеспечить полностью интегрированную и автоматизированную цепочку процессов, цифровые инновации следует воспринимать не только как технологическую деятельность, но и как мероприятие, охватывающее все аспекты бизнеса, требующего фундаментального изменения в стратегии и тактики горнодобывающих предприятий, а также учитывающие

организационные возможности для их функционирования. Хотя горнодобывающая промышленность всегда отличалась консервативным подходом к инновационно-ориентированной деятельности, особенно к инвестициям в научные исследования и инженерные новации, внедрение цифровых технологий может привести к появлению новых и неизвестных в настоящее время возможностей, которые могут стать основой операционной деятельности отрасли. Основываясь на результатах исследования мирового опыта можно сделать следующий вывод, внедрения IT-технологий и искусственного интеллекта в систему управления технологическими процессами предприятий горнодобывающей промышленности повышает производительность, снижает аварийность при добыче и переработке полезных ископаемых, повышает экологическую безопасность на предприятиях и окружающих локациях, снижает энергетические затраты на производство единицы продукции.

Библиография

1. Отчет о будущем рабочих мест. Всемирный экономический форум (Женева, Швейцария, 2020 г.)
2. Лёв Дж. Понимание технологии в горнодобывающей промышленности и ее влияние на рабочую среду // Экономика полезных ископаемых, изд. Спрингер; Группа Сырьевых Материалов (ГСТ); Технологический университет Лулео. - 2022. - Том. 35(1). - С. 143-154.
3. Хорберри Т., Берджесс-Лимерик Р., Кук Т.; Шайнер, Л. Повышение безопасности горного оборудования посредством человеко-ориентированного проектирования // Эргономика в дизайне. Ежеквартальный журнал исследований человеческого фактора. – апрель 2016. – 24(3).
4. Миелли Ф., Буланда Н. Цифровая трансформация: почему проекты терпят неудачу, потенциальные лучшие практики и успешные инициативы. - Конференция: Конференция цементной промышленности ИИЭЭ-АПТ (Институт Инженеров по Электротехнике и Электронике-Ассоциация Прикладной Техники) 2019 АПТ/АПП (Ассоциация Прикладной Техники/ Ассоциация Производителей Портландцемента).
5. Лёв Дж. и др. Горное дело 4.0 – влияние новых технологий с точки зрения рабочего места // Горное дело, металлургия и геологоразведка. – 2019. – Том. 36. – С. 701-707.
6. Трубецкой, К.Н. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых / К.Н. Трубецкой, А.В. Мясков, Ю.П. Гальченко, В.А. Еременко // Горный журнал. – 2019. – № 5. – С.35-51.
7. Россманн А. Цифровая зрелость: концептуализация и модель измерения. В материалах «Соединение Интернета людей, данных и вещей»: 39-я Международная конференция по информационным системам (ИКИС Интернациональная Конференция Информационных Систем 2018), Сан-Франциско, Калифорния, США, 13–16 декабря 2018 г.; Том 2А, стр. 1–10.
8. Санти, А.Р.; Мутусвами, П. Индустрия 5.0 или индустрия 4.0 Знакомство с Индустрией 4.0 и взгляд на перспективные технологии Индустрии 5.0. Межд. Дж. Интерактив. Дес. Производитель 2023, 1, 1208.
9. Массаро, А. Передовые системы управления в Индустрии 5.0, обеспечивающие технологический майнинг. Датчики 2022, 22, 8677.
10. Да Силва, Т.Х.Х. Экономика замкнутого цикла и Индустрия 4.0: синергия и проблемы. Преподобный де Гест. 2022, 29, 300–313.
11. Парк С. и др. Диагностика проблем при транспортировке руды автомобильным транспортом на подземных рудниках с использованием различных моделей машинного обучения и данных, собранных системами Интернета вещей. Минералы 2021, 11, 1128.
12. Дуань М. и др. Оптимизация очистного барабана на основе многоцелевого алгоритма с сеткой (МОВА/G). Машины 2022, 10, 733.
13. Лю, К.; Чен, Дж.; Ли, С.; Цинь, Т. Построение концептуальной модели разведки на основе больших геологических данных: практический пример в районе Сонгтао-Хуюань, провинция Хунань. Минералы 2022, 12, 669.
14. Лим Ж.-Х. и др. Разработка технологии моделирования для динамического анализа механической системы в комплексной системе глубоководной добычи с использованием динамики многих тел. Минералы 2022, 12, 498.
15. Сюэ, Г.; Ли, Р.; Лю, С.; Вэй, Дж. Исследование метода построения карты подземных угольных шахт на основе улучшенного алгоритма LeGO-LOAM. Энергии 2022, 15, 6256.
16. Мартелет Г. и др. Мультисенсорные исследования с воздуха/БПЛА улучшают геологическое картирование и 3D-модель псевдоскарнового месторождения в Плуманаксе; Французская Бретань. Минералы 2021, 11, 1259.
17. Ким, Х.; Чой, Ю. Автономный движущийся робот, который движется и возвращается по запланированному

- маршруту в подземных шахтах, распознавая дорожные знаки. Прил. наук. 2021, 11, 10235.
18. Шрек Дж.; Якубиак Дж.; Зимроз Р. Мобильная роботизированная система для автоматического контроля ленточных конвейеров в горнодобывающей промышленности. Энергии 2022, 15, 327.
19. Поормирзаи Р. и др. R. Выбор стратегий индустрии 4.0 для реализации политики «умной» добычи полезных ископаемых. Журнал Шахтер. Ресурс. англ. 2022, 1, 15–68.
20. Йедла А. и др. А. Прогнозное моделирование результатов охраны труда и анализа дней отсутствия на производстве в горнодобывающей промышленности. Межд. Дж. Энвайрон. Рез. Общественное здравоохранение 2020, 17, 7054.

Generalization of international experience in the use of IT technologies in the mining industry

Mikhail S. Zaitsev

Postgraduate student,
Moscow Institute of Steel and Alloys,
119049, 4/1, Leninsky Prospekt, Moscow, Russian Federation;

Abstract

Modern production of goods, services, and products of industrial enterprises, including in the mining industry, cannot be imagined without the use of IT technologies. The use of digital technologies makes it possible to reduce production costs, reduce errors in management decisions, and reduce the accident rate at enterprises. The conducted scientific research provides an overview of the world experience in introducing IT technologies and artificial intelligence into the management system of technological processes of mineral extraction and trends in their further development, and describes options for their successful use. The purpose of this article is to study the world experience of introducing digital technologies into the management system of mining enterprises, their impact on increasing labor productivity, reducing accident rates, increasing environmental safety, reducing energy costs and reducing the number of workers in areas with high accident rates.

For citation

Zaitsev M.S. (2024) Obobshchenie mezhdunarodnogo opyta ispol'zovaniya IT-tekhnologii v gornodobyvayushchei promyshlennosti [Generalization of international experience in the use of IT technologies in the mining industry]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (3A), pp. 76-85.

Keywords

Artificial intelligence, digital technologies, Mining, Internet of things, mining industry.

References

1. The Future of Jobs Report. World Economic Forum (Geneva, Switzerland, 2020)
2. Löw J. Understanding technology in mining and its effect on the work environment //Mineral Economics, Springer; Raw Materials Group (RMG);Luleå University of Technology. - 2022. - Vol. 35(1). - P. 143-154
3. Horberry T., Burgess-Limerick R., Cooke T.; Steiner, L. Improving Mining Equipment Safety Through Human-Centered Design // Ergonomics in Design The Quarterly of Human Factors Applications. - April 2016. - 24(3).
4. Mielli F., Bulanda N. Digital Transformation: Why Projects Fail, Potential Best Practices and Successful Initiatives. - Conference: 2019 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference (IAS/PCA).

5. Löw J., et al. Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36. – P. 701-707.
6. Trubetskoy, K.N. Justification and creation of convergent mining technologies for underground mining of powerful deposits of solid minerals / K.N. Trubetskoy, A.V. Myaskov, Yu.P. Galchenko, V.A. Eremenko // Mining Journal. – 2019. – No. 5. – P.35-51.
7. Rossmann, A. Digital Maturity: Conceptualization and Measurement Model. In Proceedings of the Bridging the Internet of People, Data, and Things: 39th International Conference on Information Systems (ICIS 2018), San Francisco, CA, USA, 13–16 December 2018; Volume 2A, pp. 1–10.
8. Santhi, A.R.; Muthuswamy, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* **2023**, *1*, 1208.
9. Massaro, A. Advanced Control Systems in Industry 5.0 Enabling Process Mining. *Sensors* **2022**, *22*, 8677.
10. Da Silva, T.H.H. The circular economy and Industry 4.0: Synergies and challenges. *Rev. De Gest.* **2022**, *29*, 300–313.
11. Park S., et al. Diagnosis of Problems in Truck Ore Transport Operations in Underground Mines Using Various Machine Learning Models and Data Collected by Internet of Things Systems. *Minerals* **2021**, *11*, 1128.
12. Duan M., et al. Optimization of Shearer Drum Based on Multi-Objective Bat Algorithm with Grid (MOBA/G). *Machines* **2022**, *10*, 733.
13. Liu, C.; Chen, J.; Li, S.; Qin, T. Construction of Conceptual Prospecting Model Based on Geological Big Data: A Case Study in Songtao-Huayuan Area, Hunan Province. *Minerals* **2022**, *12*, 669.
14. Lim J.-H., et al. Simulation Technology Development for Dynamic Analysis of Mechanical System in Deep-Seabed Integrated Mining System Using Multibody Dynamics. *Minerals* **2022**, *12*, 498.
15. Xue, G.; Li, R.; Liu, S.; Wei, J. Research on Underground Coal Mine Map Construction Method Based on LeGO-LOAM Improved Algorithm. *Energies* **2022**, *15*, 6256.
16. Martelet G., et al. Airborne/UAV Multisensor Surveys Enhance the Geological Mapping and 3D Model of a Pseudo-Skarn Deposit in Ploumanach; French Brittany. *Minerals* **2021**, *11*, 1259.
17. Kim, H.; Choi, Y. Autonomous Driving Robot that Drives and Returns along a Planned Route in Underground Mines by Recognizing Road Signs. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 10235.
18. Szrek, J.; Jakubiak, J.; Zimroz, R. A Mobile Robot-Based System for Automatic Inspection of Belt Conveyors in Mining Industry. *Energies* **2022**, *15*, 327.
19. Poormirzaee, R., et al. R. Selection of industry 4.0 strategies to implement smart mining policy. *Journal Miner. Resour. Eng.* **2022**, *1*, 15–68.
20. Yedla A., et al. A. Predictive Modeling for Occupational Safety Outcomes and Days Away from Work Analysis in Mining Operations. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 7054.