

АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Наговицын О.В., Белгородцев О.В.

*Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук,
Апатиты, Россия*

Ключевые слова: горная терминология, классификация уровней управления горной техникой, классификация технологических роботизированных процессов и комплексов, эффективность внедрения роботизации.

Аннотация. На основании обобщения результатов мирового опыта внедрения автоматизированной и роботизированной техники в технологические процессы горнодобывающих предприятий, анализа научно-технической литературы и интернет-ресурсов определены основные предпосылки, указывающие на необходимость совершенствования подготовки горных инженеров и методологии проектирования рудников. При выборе технологии отработки запасов рудных месторождений предложено использовать классификацию уровней управления горной техникой (оборудованием), приведённой в «Руководство по внедрению систем автоматического управления в горнодобывающей промышленности», разработанном рабочей группой по ведению горных работ в режиме автоматического управления при участии многих зарубежных организаций горнодобывающей промышленности. Предложены пилотные классификации технологических роботизированных процессов и комплексов подземных и открытых горных работ, в основу которых заложен главный классификационный признак – технологические процессы при подземной и открытой разработке запасов рудных месторождений. Показана возможность оценки экономической эффективности внедрения технологических роботизированных комплексов на рудниках. Основные положения статьи направлены на повышение уровня подготовки инженерно-технического персонала при решении практических задач выбора технологии ведения открытых и подземных горных работ в современных условиях.

ASPECTS OF ROBOTICS IMPLEMENTATION IN TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MINING ENTERPRISES

Nagovitsyn O.V., Belogorodtsev O.V.

*Mining Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences,
Apatity, Russia*

Keywords: mining terminology, classification of mining equipment control levels, classification of technological robotic processes and complexes, efficiency of robotic implementation.

Abstract. Based on the generalization of the results of world experience in the implementation of automated and robotic equipment in technological processes of mining enterprises, the analysis of scientific and technical literature and Internet resources, the main prerequisites are identified that indicate the need to improve the training of mining engineers and the methodology of mine design. When choosing a technology for developing ore deposits, it is proposed to use the classification of control levels for mining equipment (equipment) given in the "Guide to the implementation of automatic control systems in the mining industry", developed by the working group on mining operations in automatic control mode with the participation of many foreign organizations in the mining industry. Pilot classifications of technological robotic processes and complexes of underground and open-pit mining operations are proposed, based on the main classification feature -

technological processes in underground and open-pit mining of ore deposits. The possibility of assessing the economic efficiency of introducing technological robotic complexes in mines is shown. The main provisions of the article are aimed at improving the level of training of engineering and technical personnel in solving practical problems of choosing a technology for open-pit and underground mining operations in modern conditions.

Введение

В условиях жесткой конкуренции на рынках минерального сырья, добывающим предприятиям и компаниям необходимо постоянно развиваться, чтобы сохранить и укрепить свои конкурентные позиции. Это достигается непрерывным процессом внедрения инноваций, которые играют важную роль в развитии горнодобывающих предприятий и включают в себя улучшения в области техники, технологии, организации и управления [1].

Горнодобывающая индустрия, включая добычу угля, черных и цветных металлов, агрохимического сырья и строительных материалов, является одной из ключевых отраслей обеспечивающих развитие отдельных стран и человечества в целом. С каждым годом она сталкивается с повышением требований к безопасности, эффективности и экологичности процессов, с острой нехваткой квалифицированных кадров и поиском общественного согласия на освоение новых месторождений. В ответ на эти вызовы горнодобывающие предприятия все больше обращаются к интеллектуальным цифровым технологиям, робототехнике, искусственному интеллекту, автоматизированным системам контроля за безопасностью ведения работ и спасательным системам [2].

Мировая горная промышленность показывает очень высокие темпы роста роботизации, Российская – в последние 2-3 года порядка 40%. Это стало возможным благодаря ряду факторов и, в первую очередь благодаря развитию разнообразных технологий роботизации. Промышленная робототехника идет по пути упрощения, облегчения и интеллектуализации управления роботизированными системами, а также более плотной интеграции их в производственные процессы.

Рост эффективности горного производства при этом достигается за счет минимизации времени простоев роботизированной техники, оптимизации производственных операций, вывода людей из мест с опасными условиями труда. Одновременно значительная экономия и увеличение эффективности горной техники могут быть достигнуты и за счет цифровых инструментов предиктивной аналитики показателей её эксплуатации для снижения уровня поломок и потерь рабочего времени. Но наибольшая экономия и снижение себестоимости добычи при применении роботизированной техники могут достигаться, в перспективе, за счет изменения параметров систем разработки и технологических процессов открытого и подземного способов ведения горных работ.

Фактор обеспечения безопасных условий труда также играет важную роль во внедрении роботизированных технологий. Безлюдные технологии позволяют осуществлять добычу полезных ископаемых в зонах повышенной

загазованности – природной и техногенной (после взрыва), и вывести работников из опасных по горно-геологическим и горнотехническим факторам участков горных работ, создать комфортные и безопасные условия работы и снизить или даже исключить вероятность профессиональных заболеваний.

Помимо эффективности и безопасности, важны и социальные факторы применения безлюдных технологий добычи и транспортировки полезных ископаемых, так как добыча полезных ископаемых в труднодоступных регионах с тяжелыми природными и климатическими условиями осложняет решение проблемы поиска квалифицированных рабочих кадров, снижает привлекательность горной отрасли при выборе профессии молодежью [3].

Таким образом, цифровизация, автоматизация и роботизация технологических процессов становится определяющим фактором, который позволит горнодобывающим компаниям оставаться конкурентоспособными. Ведущие мировые горнодобывающие компании инвестируют огромные средства в развитие и применение современных автоматизированных и роботизированных систем с целью повышения производительности и экологической безопасности, сокращения объемов применения ручного труда, уменьшения издержек старых технологий и повышения энергоэффективности добычи полезных ископаемых [4-6].

Несмотря на то, что роботизация и автоматизация процессов ещё не стали для горнодобывающей отрасли нормой и стандартом [4] уже сейчас необходимо совершенствовать нормативную базу и методологию проектирования горных работ, в том числе проводить систематизацию уже произошедших и грядущих изменений в терминологии, теории и практике разработки месторождений твердых полезных ископаемых (ПИ).

Терминология и классификация уровней управления горной техникой

Известная цитата «Точно определяйте значение слов, и вы избавите мир от половины недоразумений», принадлежащая французскому математику, философу и физику Рене Декарту, в полной мере относится и к современной горной терминологии [7].

При добыче полезных ископаемых необходимо знать не только технологические, технические и организационные приемы освоения месторождений, но и горную терминологию, уметь правильно оперировать специальными терминами, что является признаком профессионализма [7]. В современной России, как наследнице горных традиций СССР и Российской империи, сложился богатый и насыщенный специальной терминологией словарь, покрывающий различные способы ведения горных работ, особенности технологических процессов и используемой техники. Словарь живой, развивающийся – какие-то термины становятся малоупотребимыми и вовсе исчезают, другие привносятся с естественным ходом технологического прогресса и смены поколений горняков.

Анализ современной терминологии уровней управления горной техникой, используемой в различных источниках, показывает на отсутствие единообразия и однозначности трактовки терминов, например: ручной, беспилотный, автономный, дистанционно управляемый с выносного пульта, роботизированный, управляемый с пульта диспетчера, автоматизированный, малолюдный, безлюдный и т.д. [8-12]. При выборе технологии отработки запасов месторождений требуется систематизация и определение сущностного содержания этих понятий, поэтому целесообразно воспользоваться классификацией автоматизации горной техники, приведённой в «Руководство по внедрению систем автоматического управления в горнодобывающей промышленности», разработанном рабочей группой по ведению горных работ в режиме автоматического управления при участии многих зарубежных организаций горнодобывающей промышленности [12]. В руководстве представлены уровни, присваиваемые горнодобывающему оборудованию, основанные на приводимой Международным сообществом автомобильных инженеров (2018) систематической классификации терминологии ведущих автоматизированных механизмов и адаптированы под горнодобывающую автоматизацию с использованием стандартной терминологии ISO 17757:2017 (Международная организация по стандартизации, 2017a). Уровни определяются следующим образом.

Уровень 0. Автоматическое управление отсутствует: Оборудование управляется полностью вручную. Оператор производит все операции.

Уровень 1. Поддержка со стороны оператора: Система обладает отдельными функционально-специализированными свойствами автоматического управления. Оператор обеспечивает контроль в течение всей операции.

Уровень 2. Полуавтоматическое управление: Система выполняет определенную часть операций в автоматическом режиме без вмешательства оператора или прямого контроля. Оператор выполняет другие задачи. На данном уровне дистанционное управление часто предусмотрено, но не является обязательным.

Уровень 3. Условно автоматическое управление: Система может выполнять длительные операции в автоматическом режиме на специально отведенном для этого участке. Она обладает способностями к контролю ситуации и переходит в состояние ожидания при необходимости во вмешательстве. Оператор/инспектор автоматического управления может в любое время отключить систему и должен быть готов к ручному управлению в случае необходимости.

Уровень 4. Высокий уровень автоматического управления: Система может выполнять длительные операции в автоматическом режиме на специально отведенном для этого участке и обладает возможностями контроля ситуации. Система может вступать в действие в ситуациях с минимальным присутствием риска. В ситуациях с повышенным риском она переходит в состояние ожидания. Оператор/инспектор автоматического управления может запросить отключение системы.

Уровень 5. Полностью автоматическое управление: Система может выполнять длительные операции в автоматическом режиме, как на территории, так и за пределами специально отведенного для этого участка и обладает возможностями контроля ситуации. Система может вступать в действие в ситуациях с минимальным присутствием риска. В ситуациях с повышенным риском она переходит в состояние ожидания. Оператор/инспектор автоматического управления может запросить отключение системы.

Уровни 0-1 являются ручными благодаря постоянному контролю со стороны оператора. Уровень 2 является полуавтоматическим с переменным уровнем контроля со стороны оператора. Уровни 3-5 являются автоматическими, поскольку система самостоятельно выполняет значительную часть рабочих операций.

Эксплуатационная зрелость автоматического управления отдельно взятого рудника определяется следующим образом [12]:

- Ручное управление: Использование ручного оборудования для проведения работ на руднике (уровни 0-1).

- Смешанное управление: Рудник располагает смешанным парком ручной, полуавтоматической и автоматически управляемой техники (уровень 2).

- Высокий уровень автоматического управления: Рудник располагает парком полностью или преимущественно автоматически управляемой техники (уровни 3-5). Программное обеспечение беспилотной техники включает машинное зрение и нейросети.

Классификация технологических роботизированных процессов и комплексов, оценка их эффективности при разработке запасов рудных месторождений

Совершенствование промышленных роботов (использование технического (машинного) зрения, применение методов искусственного интеллекта и т.д.) влечет за собой создание роботизированных систем и комплексов. Есть примеры предприятий горной промышленности, особенно за рубежом, где производятся испытания и использование роботизированного оборудования.

Анализ литературных источников, разного рода сообщений, интернет-ресурсов на тему роботизации [2-4, 13-19] показал, что имеется необходимость разработать пилотную классификацию технологических роботизированных процессов и комплексов подземных и открытых горных работ (ПГР и ОГР). Подходы к такой классификации были разработаны в рамках исследований проблем роботизации горнодобывающих предприятий, проводимых в Горном институте КНЦ РАН. В предлагаемой классификации заложен главный квалификационный признак – технологический процесс при подземной и открытой отработке запасов рудных месторождений.

Пилотная классификация технологических роботизированных процессов ПГР имеет семь основных групп.

1. Горно-проходческие работы.
2. Очистные работы.
3. Внутрирудничный транспорт рудной массы.
4. Подземное дробление рудной массы.
5. Подъём рудной массы на поверхность.
6. Вспомогательные работы.
7. Обеспечения горных работ.

В каждой группе (рис. 1) есть подгруппы, разделенные в зависимости от выполняемого технологического процесса, например, – технологические роботизированные процессы очистных работ (рис. 2): Отбойка, Доставка, Вторичное дробление рудной массы на выпуске, Поддержание очистного пространства. К каждой подгруппе относится определённый вид роботизированного горного оборудования.

Пилотная классификация (рис. 3) технологических роботизированных процессов ОГР состоит из следующих основных групп технологических процессов.

1. Подготовка горных пород к выемке.
2. Выемочно-погрузочные работы.
3. Транспортирование горной массы.
4. Отвалообразование.
5. Складирование полезных ископаемых.
6. Вспомогательные процессы.

В каждой группе есть подгруппы, разделенные в зависимости от специфики выполняемого технологического процесса, например, для экскавационных работ (рис. 4): добыча ПИ и выемка вскрыши, отвалообразование, складирование ПИ. К каждой подгруппе относятся соответствующие виды роботизированного горного оборудования.

В свою очередь, из подгрупп классификаций ПГР и ОГР, формируется набор горного оборудования для выполнения определённого технологического процесса – технологический роботизированный комплекс (ТРК). В ТРК могут быть выделены более детальные подгруппы роботизированного горного оборудования [13].

1. По степени специализации:

- специальные (выполнение определенной технологической операции конкретной модели технологического оборудования);
- специализированные (выполнение технологических операций одного вида);
- целевые (основанные на широкой номенклатуре моделей основного технологического оборудования, объединенного общностью манипуляционных действий, те на которых выполняются несколько видов технологических операций);
- универсальные (выполняющие различные основные технологические операции на оборудовании различного технологического назначения, но с использованием одной модели промышленного робота).

2. По степени перемещения:

– мобильные – комплексы, которые возможно сравнительно легко транспортировать и перемещать в зависимости от производственной необходимости;

– стационарные – комплексы, автономно функционирующие без перемещения в пространстве.

3. По степени участия человека в управлении:

– интеллектуальные, оснащенные обратной связью и способные реагировать на быстрое изменение окружающей внешней среды;

– автономные, функционирующие исключительно отдельно от других элементов производственной системы предприятия;

– интегральные – специальные комплексы, функционирующие в структуре интегрированной автоматизированной информационной системы управления как составное звено.

Предложенная пилотная классификация может расширяться и корректироваться в процессе развития техники, технологии и методологии проектирования рудников и шахт.

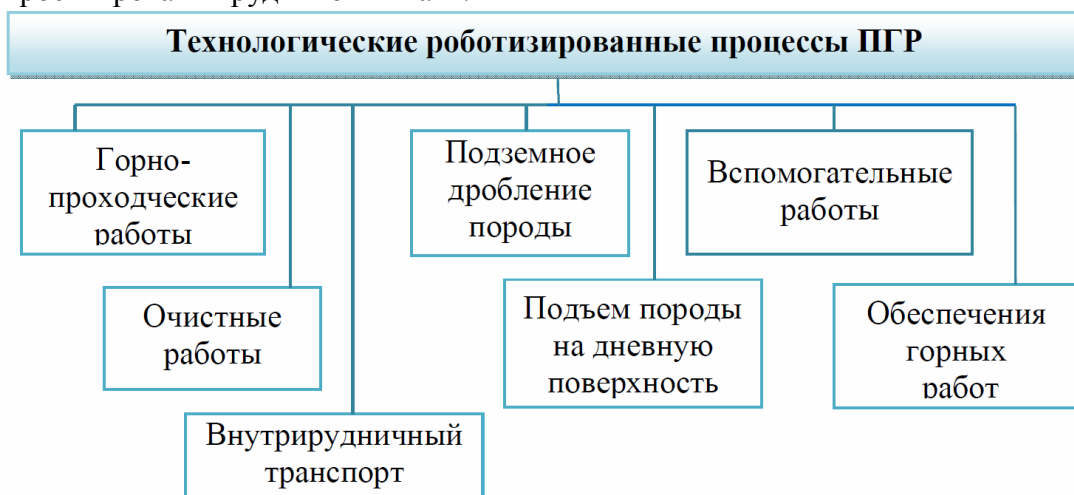


Рис.1. Пилотная классификация технологических роботизированных процессов ПГР



Рис. 2. Группа технологических роботизированных процессов очистной выемки с разделением на подгруппы и формированием ТРК из роботизированного горного оборудования

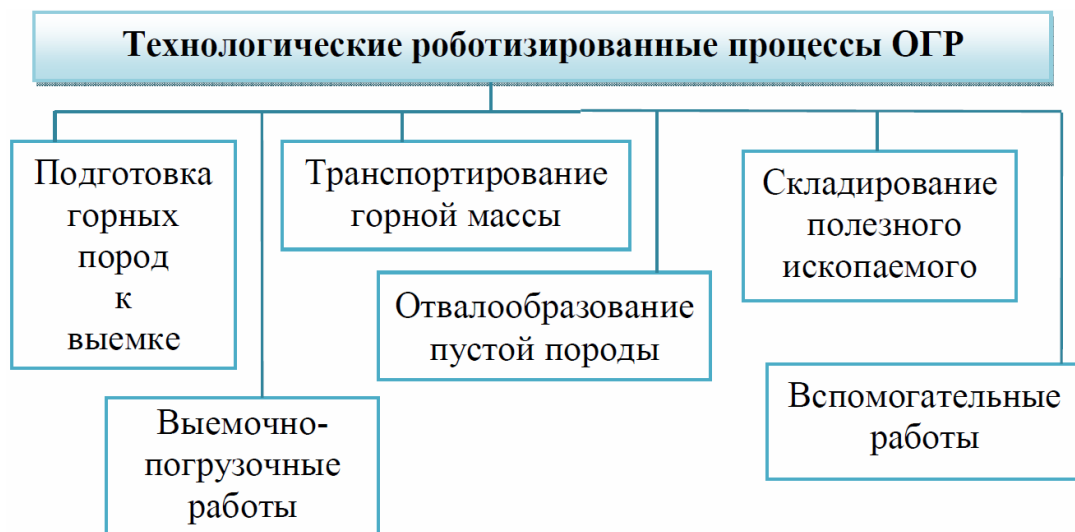


Рис.3 Пилотная классификация технологических робототехнических процессов ОГР



Рис. 4. Группа технологических роботизированных процессов экскавации горной породы с разделением на подгруппы и формирование ТРК из роботизированного горного оборудования

При внедрении на рудниках инновационного горного оборудования необходимо учитывать различные факторы и возможные риски и производить оценку их степени, исходить из одного или группы основных критериев оценки эффективности [20-23]. Под критерием эффективности понимается показатель, выражающий меру социально-экономического эффекта и отражающий решение производственных задач, поставленных перед ТРК [13].

В настоящее время для оценки эффективности используют несколько критериев, расчет которых основан на методах дисконтирования, к основным относятся:

- чистый дисконтированный доход (*NPV*);
- внутренняя норма доходности (*IRR*);
- дисконтированный срок окупаемости (*DPP*);
- индекс рентабельности (*PI*).

Эффективность внедрения роботизации на открытых и подземных горных работах в производственный процесс складывается из экономических,

социальных и синергетического эффектов применения промышленных роботов и вспомогательного оборудования, объединенных в единый технологический роботизированный комплекс.

Экономическая эффективность отражает соответствие результатов и затрат на внедрение технологических роботизированных комплексов (ТРК) в денежной форме. Социальная эффективность отражает соответствие социальных результатов и затрат на внедрение ТРК в денежном эквиваленте с учетом экономии на социальных программах.

Синергетический эффект возникает за счет дополнительных эффектов от совместного функционирования элементов ТРК, а также за счет ожидаемых совокупных финансовых результатов. Идеи синергетики редко применяются для анализа исследуемых объектов, хотя они обладают значительным потенциалом для помощи исследователям во избежание ошибок при анализе процессов разработки месторождений полезных ископаемых, эффективного управления состоянием горных массивов и обеспечении безопасности горных работ.

Оценку эффективности внедрения ТРК в производственный процесс рудника, карьера или шахты целесообразно производить на основании обобщающего критерия – величине чистого денежного потока **NCF** (Net Cash Flow), используемого инвесторами, собственниками и кредиторами для оценки эффективности вложения в инвестиционный проект горнорудного предприятия.

Так как инвестиционные проекты в горной промышленности, как правило, имеют продолжительный срок реализации, то все будущие денежные потоки приводятся к настоящему моменту времени (дисконтируют), в результате получаем показатель **NPV** (Net Present Value). Если проект является краткосрочным, то при расчете стоимости проекта на основе денежных потоков дисконтированием можно пренебречь.

Эффективность внедрения ТРК в производственный процесс рудника, карьера или шахты определяется по формуле:

$$NPV_{ТРК} = \sum_{i=1}^t \frac{NCF + (\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_s)}{((1 + n(1 + \phi))^i)} - \sum_{i=0}^t \frac{K}{((1 + n(1 + \phi))^i)} \rightarrow \max ,$$

$$NPV > 0, IRR > 0,$$

где $NPV_{ТРК}$ – чистый дисконтированный доход от внедрения ТРК на подземных или открытых горных работах, руб.;

$\mathcal{E}_c$ – общий социальный эффект от внедрения ТРК в производственный процесс (экономия на заработной плате, здравоохранении и обучении персонала, строительстве социальных объектов и др.), руб.;

$\mathcal{E}_s$ – синергетический эффект объединения отдельных роботов в технологический комплекс и, возможно, в единую технологическую систему рудника, руб.;

K – капитальные (инвестиционные) затраты, связанные с внедрением ТРК, руб.;

t – период функционирования ТРК, лет;

n – ставка дисконтирования, %;

IRR – внутренняя норма доходности, %;

ϕ – коэффициент, учитывающий уровень инфляции.

Расчёт **NPV** – стандартный метод оценки эффективности инвестиционного проекта в современных условиях и показывает оценку эффекта от инвестиции, приведённую к настоящему моменту времени с учётом разновременной стоимости денег. Если **NPV** больше 0, то инвестиция экономически эффективна, а если **NPV** меньше 0, то инвестиция экономически невыгодна.

Заключение

Быстрые темпы технологического развития преобразуют большинство отраслей промышленности. Горнодобывающая промышленность уже сталкивается вызовами геополитических, экологических, социальных и геотехнологических факторов. Эту сложную ситуацию несколько сглаживает инерция высокой стоимости активов, относительная стабильность рынков минерального сырья и его производных продуктов. Сейчас горнодобывающая промышленность сосредоточена на постепенном повышении операционной эффективности и повышении экологичности горных работ. Эти тенденции вызваны изменениями в законодательстве, сменой общественных настроений и растущим давлением на цену сырья. Технологии, в том числе роботизация процессов добычи полезных ископаемых, будут играть важную роль в этих переменах, поэтому исследовательские и проектные организации, промышленность должны готовиться к изменениям уже сейчас. В этом процессе важно обеспечить цельность и ясность терминологии, необходимо разрабатывать классификацию роботизированных технологических комплексов, проводить анализ их влияния на все аспекты производства горных работ, предлагать методики оценки экономической эффективности новых технологий.

Создание и строительство роботизированных линий, участков, цехов, также внедрение роботизированных технологических комплексов на рудниках и шахтах должно производиться в кооперации научного сообщества и горнодобывающего производства. Только системный подход позволит вывести людей из опасной рабочей зоны рудников и шахт, а в перспективе - обеспечить полностью безлюдную добычу ПИ. Внедрение роботизированных комплексов позволит нейтрализовать влияние человеческого фактора на производительность оборудования, снизить аварийность, и в целом послужит делу обеспечения технологического суверенитета России.

Список литературы

1. Галкина Н.В., Полещук М.Н. Формирование синергии для инноваций на горном производстве // Известия УГГУ. – 2018. – Вып. 2(50). – С. 142-147.
2. Афанасьев О. Роботы и искусственный интеллект в шахтах. Новая эра – М.: Автор, 2023. – 59 с.

3. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная промышленность. – 2020. – №1. – С. 8-12.
4. Кучумова А. Цифровизация: вызовы и выгоды // Добывающая промышленность. – 2021. – №1(25). – С. 16-21.
5. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Разработка, развитие и применение информационных систем управления в горнодобывающей промышленности России и других странах: от ГИС-технологий до интеллектуального горного предприятия: Монография «ИПКОН РАН – 50 лет становления и развития горных наук». – М.: ИПКОН РАН. – 2017. – С. 308-323.
6. Копылов К.Р. Влияние внедрения инноваций и роботизации на развитие рынка труда в странах Вышеградской группы // Вопросы инновационной экономики. – 2017. – Т. 7, №3. – С. 191-200.
7. Сытенков В.Н., Швабенланд Е.Е. Парные термины: особенности применения в технических проектах разработки месторождений // Рациональное освоение недр. – 2019. – №1. – С. 10-15.
8. Morton J. Underground Drilling Advances Improve Productivity, Safety While Cutting Costs // Engineering and Mining Journal. 2018, vol. 219(1), pp. 40-44.
9. Larsson J., Appelgren J., Marshall J.A., Barfoot T.D. Atlas Copco Infrastructureless Guidance System for High-Speed Autonomous Underground Trammig // Proceedings of the 5th Int. Conference and Exhibition on Mass Mining, MassMin. – Luleå, 2008. – Vol. 1. – P. 585-594.
10. Description of the drilling rig control system. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.miningandenergy.ca/technology/article/atlas_copcos_new_rig_control_system_wins_international_design_excellence_aw/
11. Atkinson R. Robotics and the Future of Production and Work // Information Technology and Innovation Foundation, 2019.
12. Guideline for the implementation of autonomous systems in mining. Version 2. Published 2024 Autonomous Mining Working Group.
13. Химиченко А.А. Разработка метода оценки эффективности роботизированных технологических комплексов в промышленности: Автореф. дисс. ... канд. экон. наук. – М.: ГОУ ВПО «МАТИ» – Российский государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского, 2008. – 153 с.
14. Bołoz Ł., Biały W. Automation and Robotization of Underground Mining in Poland // Applied Sciences. 2020, vol. 10, p. 7221.
15. Plotnikov N.S., Kolokoltseva E.U., Volkova Y.V. Technical Review of Robotic Complexes for Underground Mining // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol. 459, p. 042025.
16. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Основные типы и технические характеристики. – М.: КноРус, 2017. – 560 с.
17. Трубецкой К.Н., Владимиров Д.Н., Пыталев И.А., Попова Т.М. Роботизированные горнотехнические системы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. – 2016. – № 5. – С. 21-27.
18. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. №1. – С. 4-15.
19. García de Soto B., Skibniewski M.J. Future of Robotics and Automation in Construction // In: Sawhney A., Riley M., Irizarry J. (Eds.). Construction 4.0: An

Innovation Platform for the Built Environment. 1st Edition. London: Routledge, 2020. – P. 289-306.

20. Пелевин Е.Е., Цудиков М.Б. Экономическая эффективность роботизации различных типов производства // *Juvenis Scientia*. – 2017. – № 6. – С. 13-17.
21. Пешкова М.Х., Шульгина О.В. Оценка инвестиционной привлекательности инновационных проектов компаний минерально-сырьевого комплекса // *Экономика промышленности*. – 2015. – № 1. – С. 65-69.
22. Каплан А.В., Баев И.А., Терешина М.А. Управление социальным и экономическим развитием горнодобывающего предприятия в контексте системного единства: монография. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2021. – 206 с.
23. Хасанова Г.Ф., Буренина И.В. Синергия как метод повышения эффективности деятельности компании // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. – 2011. – № 6. – С. 188-196.

References

1. Galkina N.V., Poleshchuk M.N. Formation of Synergy for Innovations in Mining Production // *News of the USGMU*. 2018, iss. 2(50), pp. 142-147.
2. Afanasyev O. Robots and Artificial Intelligence in Mines. New Era. – M.: Author, 2023. – 59 p.
3. Klebanov A.F. Automation and Robotization of Open-Pit Mining: Experience of Digital Transformation // *Mining Industry*. 2020, no. 1, pp. 8-12.
4. Digitalization: Challenges and Benefits // *Extractive Industry*. 2021, no. 1(25), pp 16-21.
5. Trubetskoy K.N., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. Development, Implementation, and Application of Information Management Systems in the Mining Industry of Russia and Other Countries: From GIS Technologies to Intelligent Mining Enterprises: Monograph "IPKON RAS – 50 Years of Formation and Development of Mining Sciences". – M.: IPKON RAS, 2017. – P. 308-323.
6. Kopylov K.R. The Impact of Innovation and Robotization on Labor Market Development in the Visegrad Group Countries // *Questions of Innovative Economy*. 2017, vol. 7, no. 3, pp. 191-200.
7. Sytenkov V.N., Schwabenland E.E. Paired Terms: Features of Application in Technical Projects for Deposit Development // *Rational Use of Mineral Resources*. 2019, no. 1, pp. 10-15.
8. Morton J. Underground Drilling Advances Improve Productivity, Safety While Cutting Costs // *Engineering and Mining Journal*. 2018, vol. 219(1), pp. 40-44.
9. Larsson J., Appelgren J., Marshall J.A., Barfoot T.D. Atlas Copco Infrastructureless Guidance System for High-Speed Autonomous Underground Trammig // *Proceedings of the 5th Int. Conference and Exhibition on Mass Mining, MassMin*. – Luleå, 2008. – Vol. 1. – P. 585-594.
10. Description of the drilling rig control system. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.miningandenergy.ca/technology/article/atlas_copcos_new_rig_control_system_wins_international_design_excellence_aw/
11. Atkinson R. Robotics and the Future of Production and Work // *Information Technology and Innovation Foundation*, 2019.
12. Guideline for the implementation of autonomous systems in mining. Version 2. Published 2024 Autonomous Mining Working Group.

13. Khimichenko A.A. Development of a Method for Assessing the Efficiency of Robotic Technological Complexes in Industry: Abstract of the diss. ... cand. of econ. sc. – M.: MATI – Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky, 2008. – 153 p.
14. Bołoz Ł., Biały W. Automation and Robotization of Underground Mining in Poland // Applied Sciences. 2020, vol. 10, p. 7221.
15. Plotnikov N.S., Kolokoltseva E.U., Volkova Y.V. Technical Review of Robotic Complexes for Underground Mining // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol. 459, p. 042025.
16. Kozyrev Yu.G. Industrial Robots. Main Types and Technical Characteristics. – M.: KnoRus, 2017. – 560 p.
17. Trubetskoy K.N., Vladimirov D.N., Pytalev I.A., Popova T.M. Robotic Mining Systems for Open-Pit Mining of Mineral Deposits // Mining Journal. 2016, no. 5, pp. 21-27.
18. Khazin M.L. Robotic Equipment for Mineral Extraction // Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov. 2020, vol. 18, no. 1, pp. 4-15.
19. García de Soto B., Skibniewski M.J. Future of Robotics and Automation in Construction // In: Sawhney A., Riley M., Irizarry J. (Eds.). Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment. 1st Edition. London: Routledge, 2020. – P. 289-306.
20. Pelevin E.E., Tsudikov M.B. Economic Efficiency of Robotization of Various Types of Production // Juvenis Scientia. 2017, no. 6, pp. 13-17.
21. Peshkova M.Kh., Shulgina O.V. Assessment of Investment Attractiveness of Innovative Projects of Mineral Resource Companies // Industrial Economics. 2015, no. 1, pp. 65-69.
22. Kaplan A.V., Baev I.A., Tereshina M.A. Management of Social and Economic Development of a Mining Enterprise in the Context of System Unity: Monograph. – Chelyabinsk: Publ. Center of SUSU, 2021. – 206 p.
23. Khasanova G.F., Burenina I.V. Synergy as a Method for Improving Company Efficiency // Electronic Scientific Journal "Oil and Gas Business". 2011, no. 6, pp. 188-196.

Наговицын Олег Владимирович – доктор технических наук, главный научный сотрудник	Oleg Vladimirovich Nagovitsyn – doctor of engineering sciences, chief researcher
Белогородцев Олег Владимирович – научный сотрудник лаборатории «Теории комплексного освоения и сохранения недр»	Oleg Vladimirovich Belogorodtsev – researcher, laboratory "Theories of Integrated development and conservation of subsoil resources"
o.belogorodcev@ksc.ru	

Received 11.11.2024