

Анализ предпосылок создания транспортных систем «умного» горнодобывающего предприятия

В.Ю. Коптев¹✉, А.В. Коптева²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Международный центр компетенций в горнотехническом образовании, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ koptev_vyu@pers.spmi.ru

Резюме: В работе рассмотрен комплекс возможностей преобразования горнодобывающих предприятий в высокоэффективное производство востребованных обществом полезных компонентов, содержащихся в полезных ископаемых. В большей степени исследования относятся к области добычи руд, горно-химического сырья и в меньшей степени могут быть рекомендованы для добычи малокомпонентного сырья и природных ресурсов с высоким содержанием полезного компонента, характерных для стройиндустрии, добычи углеводородов и углей. Для оценки возможности развития «умного» горнодобывающего предприятия по парадигмам логистики и цифровой трансформации изучен и проанализирован практический опыт инновационных технологий, отраженный в современной научно-технической литературе, и выполнено изучение потенциальных возможностей взаимодействия искусственного интеллекта, больших данных, продвинутой аналитики с процессами добычи полезных ископаемых. Основным методом стал систематический обзор актуальных научных публикаций и примеров применения в области повышения эффективности взаимодействия процессов горнодобывающего предприятия. Особое внимание уделялось работам по организации процессов добычи и системам управления материальными и информационными потоками и применения эффективных транспортных систем. Исследование конкретизирует направления развития существующих горнодобывающих предприятий и позволяет определить задачи практической реализации бизнес-проектов горной промышленности.

Ключевые слова: грузопоток, умное предприятие, горное производство, транспорт, управление потоками, логистика, цифровизация производства

Для цитирования: Коптев В.Ю., Коптева А.В. Анализ предпосылок создания транспортных систем «умного» горнодобывающего предприятия. *Горная промышленность*. 2025;(1S):92–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-92-96>

Analysis of prerequisites to create transportation systems of a smart mining enterprise

V.Yu. Koptev¹✉, A.V. Kopteva²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² International Competence Centre for Mining Engineering Education, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ koptev_vyu@pers.spmi.ru

Abstract: The paper addresses a set of opportunities for the transformation of mining enterprises into a highly efficient production of useful components contained in minerals that are in demand by the society. The research is mostly related to mining ores and chemical feedstock, and to a lesser extent it can be recommended for extraction of low-component raw materials and natural resources with a high content of the useful component, which are characteristic of the construction industry, hydrocarbon production and coal mining. Practical experience of innovative technologies reflected in current scientific and technical publications has been studied and analyzed in order to assess the possibility of developing a smart mining enterprise in terms of the logistics and digital transformation paradigms, and the potential of interaction of artificial intelligence, big data, advanced analytics with the mining processes has been investigated. A systematic review of the current research publications and application examples in improving the efficiency of interaction between processes of a mining enterprise was chosen as the main research method. A particular attention was paid to works on organization of the mining processes and systems of material and information flow management as well as application of efficient transportation systems. The study specifies the directions for development of the existing mining enterprises and makes it possible to define the tasks for practical implementation of mining business projects.

Keywords: ematerial flow, smart enterprise, mining operation, transport, flow management, logistics, digitalization of production

For citation: Koptev V.Yu., Kopteva A.V. Analysis of prerequisites to create transportation systems of a smart mining enterprise. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):92–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-92-96>

Введение

Горнодобывающая отрасль – это непрерывное производство с последовательностью технологических процессов бурения, взрывания, экскавации, отделения, транспортировки, складирования и обогащения полезных ископаемых.

Для каждого из процессов этой цепочки сегодня применяются различные системы и технологии, которые позволяют автоматизировать тот или иной процесс [1–3].

Развитие и внедрение методов управления предприятиями, цифровой трансформации технологий и организации производства являются основой для «умного» горнодобывающего предприятия [4–6], являющегося высоко-автоматизированным производством полезных ископаемых (ПИ). Для достижения такого уровня предложены концептуальные и практические решения по трансформации существующих добывающих предприятий в интеллектуальные производства. Основные концепции основываются на непрерывном и оперативном отслеживании информации о протекании технологических процессов, повышении безопасности и качестве работ, эксплуатации оборудования, выборе рациональных режимов и корректировке проектов, финишном получении продукции на обогатительной фабрике (ОФ) [7; 8]. В комплексе реализация перечисленных концепций позволяет создать «умное» горнодобывающее предприятие (ГДП).

Проблема

В ГДП доминируют технологии валового транспортирования горной массы, содержащей многокомпонентное сырьё с малым содержанием одного, реже нескольких компонентов ценного продукта, составляющих от сотых долей до нескольких процентов в объёме горной массы. Для их получения применяются технологии обогащения ОФ с конечной целью доведения до практического использования в промышленности. Наиболее часто применяются взрывные технологии разрушения горных пород и отделения горной массы от массива с параметрами, необходимыми для погрузки и транспортирования. Огромная масса горных пород (вскрыша, вмещающие породы), на подготовку которой к выемке, отделению и транспортировке затрачена энергия и трудовые ресурсы, направляется в отвалы.

Применяемые для добычи технологии высокочрезвычайно затратны, направлены на получение больших объёмов горной массы (достигающих десятков миллионов тонн), перемещаемых на значительные расстояния к местам обогащения (десятки километров) [9].

Существующие технологии добычи предусматривают в конечном итоге получение одного, реже нескольких компонентов полезного продукта и не предусматривают глубокой переработки с разделением горной массы на многие виды полезных компонентов, находящихся в горной массе.

Запасы ПИ в конечном итоге ограничены и многие ГДП уже сегодня должны ориентироваться на получение максимально качественных компонентов, в том числе и из сырья истощенных или бедных месторождений.

Предлагаемые технологии не в полной мере направлены на получение высокого качества сырья для переработки и характеризуются большими объёмами перемещения горной массы и высокими затратами на транспортирование.

Описание разработанных методов

Для оценки возможности развития «умного» ГДП по парадигмам логистики и цифровой трансформации изучен

и проанализирован практический опыт инновационных технологий, отраженный в современной научно-технической литературе, и выполнено изучение потенциальных возможностей взаимодействия ИИ, больших данных, продвинутой аналитики с процессами добычи ПИ.

Основным методом стал систематический обзор актуальных научных публикаций и примеров применения в области повышения эффективности взаимодействия процессов ГДП. Особое внимание уделялось работам по организации процессов добычи и системам управления материальными и информационными потоками и применения эффективных транспортных систем.

Внедрение современной техники и технологий подразумевает функционирование всех систем с наибольшим коэффициентом использования. Естественно, возникает вопрос об эффективном анализе и управлении. Система логистических правил, норм, методов и других решений предусматривает рачительное обращение с ресурсами и организацией перемещения потоков [10–12].

Логистическое преимущество организации производств основывается на эффективном взаимодействии множества участников [13; 14]. В стратегии организации процессов горнодобывающих производств нужно достичь синергии технологических процессов и всех заинтересованных сторон [15].

В концепции «Индустрия 4.0» [16] применение известных цифровых технологий открывает новые возможности повышения эффективности производств за счёт интеграции взаимодействия между человеком, компьютером и технологиями, использования «больших данных», связности («connectivity») процессов, искусственного интеллекта (ИИ), продвинутой аналитики и роботизации [17; 18]. Нарастает процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности, который требует внесения коренных изменений в технологии, культуру, операции и подходы к реализации деятельности предприятия, получивший название «Цифровая трансформация» [19].

В идеальном представлении умного предприятия требуется интеллектуальная система мониторинга горных пород и прогнозной аналитики с применением программного продукта для управления комплексной автоматизацией процесса добычи и выделения ценных компонентов из сырья.

Увеличение объёма извлекаемого и отделение «нужного от ненужного» (обогащение добываемого сырья), повышение требований к качеству, а также трудности доступа в залегающем ПИ привели к необходимости создания современных технологий добычи и переработки [20; 21]. Продолжают развиваться организационно-технологические системы добычи полезных ископаемых, переработки, совершенствуется техника и разрабатываются меры её эффективного применения с учётом последствий влияния на окружающую среду (ОС).

Практически во всех вариантах получения полезного сырья наблюдается разделение (выделение, пространственное удаление) от места залегания ПИ до производств извлечения и обогащения.

Одной из стратегий ИПКОН [22] является необходимость адаптировать применяющиеся технологии на высокое извлечение полезного из горной породы или по крайней мере значительно уменьшить объём доставляемого сырья к местам переработки.

Логистика требует повышать качество предмета обработки на входном звене производственной цепочки и фор-

мирует базовые принципы «Lean» (бережливого производства):

1. Определение ценности требует понимания потребностей и ожиданий заказчиков, изучения рынка и конкурентов.

2. Создание потока требует согласования всех элементов, устранения препятствий и барьеров, снижения времени цикла и увеличения скорости выполнения заказов.

3. Построение потока ценности требует анализа всех этапов, определения необходимых ресурсов, сроков и трат на каждом этапе, выявления потерь и излишков.

4. Стремление к совершенству требует вовлечения всех сотрудников в поиск и решение проблем, введения культуры «кайдзен», которая основана на непрерывном и последовательном развитии.

5. Внедрение принципа «pull» (тянущего производства, организация работы предприятия по спросу, а не по предложению) требует синхронизации всех этапов с реальным спросом, создания системы «канбан», регулирующей параметры потока на каждом цикле производства посредством оперативной информации.

В отличие от существующих на ГДП структур деятельности структурная схема разработки «умного» ГДП должна выглядеть как представлено на рис. 1.

Таким образом, экспресс-технология управления рудопотоком в условиях подземной и открытой разработок месторождений – от геологической модели до конечного продукта, достигается за счёт интеллектуальной системы идентификации минерального состава руд от забоя до ОФ, диспетчеризации работы и перемещения потоков.

Рассмотрение тенденций в цифровизации процессов и стремление сделать умнее «умное предприятие» требует в разрабатываемых решениях и проектах применения системы распознавания состава руд на микроуровне и учета при последующих процессах транспортировки и переработки. Для этого операции измельчения, дезинтеграции, распознавания и оценку количества нужно осуществить уже в начале формирования грузопотока, а именно в забое.

Практически во всех процессах генерируется, накапливается и оперативно передаётся для использования необходимая информация для принятия решений.

Для повышения качества полезного компонента в руде разработан алгоритм StopeOptimiser компанией MicroMine при участии сотрудников «Полюса». Геологи рудного контроля адаптировали этот модуль для задач проектирования выемочных блоков в карьерах. На основе имеющейся цифровой геологической модели месторождения модуль автоматически рассчитывает оптимальные выемочные блоки с учетом технологических типов руд и параметров используемого горного оборудования.

Алгоритм делает это таким образом, чтобы в пределах одного блока оказалась руда одного технологического типа и содержания полезного компонента с минимальным количеством примесей пустых вмещающих пород и

других типов руд. В результате чего обеспечивается правильный и равномерный процесс подачи руд на конечную переработку (например, на ОФ) и наиболее эффективное извлечение полезных компонентов.

Наиболее развиты оптические и излучающие методы обнаружения компонентов в горной массе. Известны комплексы фотосепарации (к примеру, фотосепараторы SmartSort C3), позволяющие разделять потоки по составу.

Компания VG Work & Safety Management позволяет оперативно управлять работами и промышленной безопасностью с работой единого диспетчерского аналитического центра и автоматизацией систем нарядов и производственного контроля.

Компания Zyfra Industrial Internet of Things Platform предлагает цифровую промышленную платформу ZIoT, которая объединяет все производственные ИТ-системы в единый цифровой слой и реализует оптимизационные сценарии через несколько переделов, упрощает внедрение новых цифровых решений, в том числе искусственного интеллекта.

Оборудование компании Motion Metrics BeltMetrics™ – высокоточная альтернатива фракционному ситовому анализу – устраняется необходимость брать пробы с ленты или из карьера.

Главный элемент системы – прочная стереокамера. Она создаёт трёхмерные изображения с высоким разрешением. Таким образом, возможно точное измерение каждого камня на снимке. Камера не пропускает даже мелкие частицы – есть возможность работать с фракцией до 0,6 мм. Встроенный GPS связывает отснятые изображения с конкретными взрывами, а подключение к облаку открывает возможности для совместной работы с полученной информацией. Система ориентирована на оптимизацию работы ленточного конвейера.

Так, на ПАО «ГМК Норильский Никель» информацию с видеокamer получают по пенному продукту флотопотока, обрабатывают с помощью нейронных сетей и фиксируют такие параметры, как: скорость пеносьема, движение пены по флотомашине, размер пузырьков, стабильность пены.

Практическое применение полученных результатов

Особенности предложений по глубокой и комплексной дезинтеграции исходной руды с включением в общую платформу проектов ГДП материальных и информационных потоков с переработкой ИИ позволяют:

- повысить качество добываемой руды и дезинтеграцию её на компоненты;
- обеспечить оперативную передачу информации о процессах и качестве потока;
- изменить структуру процессов окончательной переработки руды на ОФ;
- принципиально изменить требования к транспорту горного предприятия.



Рис. 1
Требуемая структурная схема разработки «умного» горнодобывающего предприятия

Fig. 1
The required structural flowchart for the development of a smart mining enterprise

- Разделение потоков компонентов ПИ изменит объёмы и структуру грузопотоков из забоя и систем внутреннего транспорта. Наиболее важными преимуществами являются:
- возможность непрерывного транспортирования высоко-концентрированной по содержанию горной массы по сложной трассе (по бортам карьера и сложно расположенным подземным горным выработкам шахт и рудников);
- постоянное изменение маршрутов по протяжённости и параметрам;
- приспособленность к меняющемуся объёму потока;
- оперативное сопровождение потока;
- возможность обеспечения бесперебойной работы на всех этапах отработки месторождения;
- автоматизация транспортного процесса;
- снижение затрат на транспортирование.

Наиболее полно изменяющимся требованиям удовлетворяют трубопроводный и пневмоконтейнерный виды транспорта, а также конвейерные поезда. Они в лучшей мере обладают возможностью работы с дискретными

объёмами перемещения груза, изменением грузопотока и длины транспортирования, приспособлены к практически любым трассам в пространстве, легко интегрируются в элементы управления логистической цепи, а в то же время потребность в наземном пространстве при применении – минимальна.

Заключение

Выполненное исследование перспективно и практически значимо, поскольку учитывает специфику горно-геологических и горно-технологических характеристик как месторождения в целом, так и конкретного выемочного участка или подготовительной выработки в условиях изменчивости свойств и состояний массива при высоких темпах ведения горных работ.

В большей степени исследования относятся к области добычи руд, горно-химического сырья и в меньшей степени могут быть рекомендованы для добычи малокомпонентного сырья и природных ресурсов с высоким содержанием полезного компонента, характерных для стройиндустрии, добычи углеводородов и углей.

Вклад авторов

В.Ю. Коптев – разработка концепции, формирование идеи, цели и задачи исследования, создание методики, проведение исследования, оценка результатов.

А.В. Коптева – сбор и анализ данных, подготовка и редактирование текста.

Authors' contribution

V.Yu. Koptev – Development of the concept, generation of the research idea, goal and objectives, creation of the research methodology, conducting the research, evaluation of the results.

A.V. Kopteva – collection and analysis of data, preparation and editing of the text.

Список литературы / References

1. Katysheva E. Analysis of the interconnected development potential of the oil, gas and transport industries in the Russian Arctic. *Energies*. 2023;16(7):3124. <https://doi.org/10.3390/en16073124>
2. Barykin S.E., Strimovskaya A.V., Sergeev S.M., Borisoglebskaya L.N., Dedyukhina N., Sklyarov I. et al. Smart city logistics on the basis of digital tools for esg goals achievement. *Sustainability*. 2023;15(6):5507. <https://doi.org/10.3390/su15065507>
3. Васильева Н.В., Бойков А.В., Ерохина О.О., Трифонов А.Ю. Автоматизированная оцифровка круговых диаграмм. *Записки Горного института*. 2021;247:82–87. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.9>
Vasilyeva N.V., Boikov A.V., Erokhina O.O., Trifonov A.Y. Automated digitization of radial charts. *Journal of Mining Institute*. 2021;247:82–87. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.9>
4. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Sorokin K.V., Kuzmin K.A., Rudko V.A. Integral assessment of influence mechanism of heavy particle generator on hydrocarbon composition of vehicles motor fuel. *International Journal of Engineering*. 2024;37(8):1700–1706. <https://doi.org/10.5829/ije.2024.37.08b.20>
5. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Haotian T. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects. In: *Ceur workshop proceedings: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021)*. Aachen, Germany; 2021, pp. 17–26.
6. Choi Y. Recent advances in smart mining technology. *Applied Sciences*. 2023;13(6):3726. <https://doi.org/10.3390/app13063726>
7. Safiullin R., Efremova V., Ivanov B. The method of multi-criteria evaluation of the effectiveness of the integrated control system of a highly automated vehicle. *The Open Transportation Journal*. 2024;18:e18744478309909. <https://doi.org/10.2174/0118744478309909240807051315>
8. Александрова Т.Н., Николаева Н.В., Кузнецов В.В. Исследование прочностных свойств золотосодержащей руды Бамского месторождения. *Горный журнал*. 2021;(11):27–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.03>
Aleksandrova T.N., Nikolaeva N.V., Kuznetsov V.V. Strength analysis of gold-bearing ore of the Bam deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(11):27–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.03>
9. Кулешов А.А., Васильев К.А., Докукин В.П., Коптев В.Ю. Анализ вариантов транспортирования руды от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК «Алроса». *Горный журнал*. 2003;(6):13–16. Режим доступа: <https://rudmet.ru/journal/1081/article/17705/> (дата обращения: 06.10.2024).
Kuleshov A.A., Vasiliev K.A., Dokukin V.P., Koptev V.Yu. Analysis of options for ore transportation from the open pit to the processing plant for the conditions of ALROSA. *Gornyi Zhurnal*. 2003;(6):13–16. (In Russ.) Available at: <https://rudmet.ru/journal/1081/article/17705/> (accessed: 06.10.2024).

10. Koptev V.Yu. Improving machine operation management efficiency via improving the vehicle park structure and using the production operation information database. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;177:012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/177/1/012005>
11. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Гарифуллин Д.Р., Короткова О.Ю., Агагена А. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):317–330. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_317
Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Garufullin D.R., Korotkova O.Yu., Agaguena A. Analysis of the mobile complex structure for organogenic materials mining by in-pit method. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):317–330. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_317
12. Ivanov A.V., Smirnov Yu.D., Lisay V.V., Borowski G. Issues of the impact of granulated sulfur transportation on the environmental components. *Journal of Ecological Engineering*. 2023;24(6):86–97. <https://doi.org/10.12911/22998993/162558>
13. Park S., Choi Y. Analysis and diagnosis of truck transport routes in underground mines using transport time data collected through Bluetooth beacons and tablet computers. *Applied Sciences*. 2021;11(10):4525. <https://doi.org/10.3390/app11104525>
14. Zhao S., Wang L., Zhao Z., Bi L. Study on the autonomous walking of an underground definite route LHD machine based on reinforcement learning. *Applied Sciences*. 2022;12(10):5052. <https://doi.org/10.3390/app12105052>
15. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
16. Safiullin R., Tian H. Method of effective implementation of intelligent hardware complexes in the management of passenger transportation processes within urban agglomerations. *The Open Transportation Journal*. 2024;18(1):e26671212272101. <https://doi.org/10.2174/0126671212272101231128060918>
17. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Гобов Н.В., Никитин И.В. Опыт разработки инновационных подземных геотехнологий освоения рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3-1):338–350. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-338-350>
Sokolov I.V., Antipin Y.G., Gobov N.V., Nikitin I.V. Experience in the development of innovative underground geotechnologies for mining of ore deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(3-1):338–350. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-338-350>
18. Petrakov D., Jafarpour H., Qajar J., Aghaei H., Hajiabadi, H. Introduction of a workflow for tomographic analysis of formation stimulation using novel nano-based encapsulated acid systems. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021;19(2):327–333. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29694>
19. Onifade M., Adebeji J.A., Shivute A.P., Genc B. Challenges and applications of digital technology in the mineral industry. *Resources Policy*. 2023;85(B):103978. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103978>
20. Zvarivadza T., Onifade M., Dayo-Olupona O., Said K.O., Githiria J.M., Genc B., Celik T. On the impact of Industrial Internet of Things (IIoT) – mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2024;38(10):771–809. <https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2347131>
21. Zhukovskiy Yu., Tsvetkov P., Koshenkova A., Skvortsov I., Andreeva I., Vorobeva V. A methodology for forecasting the KPIs of a region's development: Case of the Russian Arctic. *Sustainability*. 2024;16(15):6597. <https://doi.org/10.3390/su16156597>
22. Труфанова И.С., Невзоров Д.Н. Применение конвейерных поездов как внешнего транспорта обогатительных предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):64–78. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_64
Trufanova I.S., Nevzorov D.N. The use of conveyor trains as external transport for enrichment enterprises. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):64–78. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_64

Информация об авторах

Коптев Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8353-4742>; e-mail: koptev_vyu@pers.spmi.ru

Коптева Александра Владимировна – исполнительный директор, Международный центр компетенций в горнотехническом образовании, ЮНЕСКО, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2697-3049>; e-mail: kopteva_av@pers.spmi.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.12.2024

Поступила после рецензирования: 06.02.2025

Принята к публикации: 06.02.2025

Information about the authors

Vladimir Yu. Koptev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8353-4742>; e-mail: koptev_vyu@pers.spmi.ru

Alexandra V. Kopteva – Executive Director, International Competence Centre for Mining Engineering Education, UNESCO, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2697-3049>; e-mail: kopteva_av@pers.spmi.ru

Article info

Received: 20.12.2024

Revised: 06.02.2025

Accepted: 06.02.2025