ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(12-1):52-62
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.012:681.3.01:519.67 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_52

ВЛИЯНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

О.В. Наговицын[1], М.Г. Возняк[1]

[1] Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия,
e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru

Аннотация: Для повышения эффективности производства в различных отраслях промышленности, в том числе и в горной, в последнее время все больше применяются цифровые технологии. Внедрение роботизированного оборудования является важным шагом на пути к цифровой трансформации горного производства, для которой характерно применение ряда цифровых технологий: промышленный интернет вещей, цифровое подключение оборудования, облачные сервисы, виртуальная, расширенная и дополненная реальности, цифровое проектирование, автономные роботизированные комплексы. Благодаря все более широкому внедрению информационных технологий горнодобывающие предприятия получили возможность обработки больших объемов данных о производственных процессах. Эти данные отражают актуальное состояние комплекса горнотранспортного оборудования и объектов карьера и становятся составной частью цифрового двойника горного предприятия. Цифровая трансформация оказывает значительное влияние на технологию горного производства, что приводит к необходимости изменения требований обеспечения безопасности на цифровом горнодобывающем предприятии. Показаны изменения общих требований для обеспечения безопасности горных работ на цифровом горнодобывающем предприятии, составлена обобщенная схема обмена данными и определен ряд функций необходимых для обеспечения безопасности.

Ключевые слова: роботизированная система, автоматизированная система, управление горным предприятием, роботизированное управление, человеческий фактор, обмен данными, структура управления горным предприятием, киберфизические системы, интернет вещей.

Для цитирования: *Наговицын О. В., Возняк М. Г.* Влияние роботизированных технологий на безопасность ведения открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-1. – С. 52–62. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_52.

Impact of robotic technologies on open mining safety

O.V. Nagovitsyn[1], M.G. Voznyak[1]

[1] Mining Institute, Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia,
e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru

Abstract: In order to improve the efficiency of production in various industries, including mining, enterprises have recently used digital technologies. The introduction of robotic equipment is an important step towards the digital transformation of mining industry. It is characterized

© О.В. Наговицын, М.Г. Возняк. 2022.

by the application of a number of digital technologies: industrial Internet of Things, digital con-nection of equipment, cloud services, virtual, augmented and augmented realities, digital design, nd autonomous robotic complexes. The increasing use of information technologies has allowed mining companies to process large amounts of data about production processes. This data reflects the current state of mining equipment and open pit facilities and is an integral part of the digital twin of the mining enterprise. Digital transformation impacts significantly on mining technologies, leading to the need to change safety requirements in the digital mining enterprise. The article shows changes in the general requirements for mining safety in the digital mining enterprise. The authors have made a generalized scheme of data exchange and identify a number of functions necessary to ensure safety.

Key words: robotic system, automated system, mining management, robotic management, human factor, data exchange, mining management structure, cyber-physical systems, Internet of things.

For citation: Nagovitsyn O. V., Voznyak M. G. Impact of robotic technologies on open mining safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12-1):52-62. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_52.

Введение

В настоящее время наблюдается быстрый рост применения цифровых технологий во многих областях человеческой деятельности. Горная промышленность не стала исключением и находится в процессе внедрения автоматизированной и роботизированной техники практически во все технологические процессы горных работ [1, 2]. Основными целями этого процесса являются повышение экономической эффективности производства и исключение необходимости присутствия человека в местах с опасными условиями труда.

Очевидно, на полностью роботизированном производстве современная структура управления претерпит значительные изменения; так, например, не будет необходимости в организации некоторых функциональных служб, подразделений и производственных участков, их задачи могут быть выполнены автоматически по данным, получаемым от систем управления и мониторинга технологических процессов. Для мониторинга и выработки управляющих воздействий такая система цифрового управления будет отслеживать ход выполнения производственных процессов и предоставлять необходимые данные о динамике их показателей, состоянии технических средств, оборудования и выработанного пространства, инфраструктурных объектов, формируя связную совокупность киберфизических систем и цифровых двойников объектов и процессов горного производства.

Перенося на особенности горного производства общие технологические предпосылки появления киберфизических систем [3, 4], можно выделить следующие этапы их формирования:

1. Возрастание числа агрегатов со встроенными процессорами и системами хранения данных:

- сети оперативного наблюдения геомеханических, аэрологических параметров;
- горное оборудование с автоматизацией работы отдельных подсистем;
- маркшейдерское и геологическое оборудование для съемки и опробования и т.д.

2. Объединение ряда отдельных компонентов в единую систему для достижения большей эффективности: промышленного интернета вещей и цифрового подключения (системы диспетчеризации и мониторинга горнотранспортного оборудования), сети интеллектуальных сенсоров, умных сред горного предприятия, а также персонала, все еще остающегося в пространстве ведения работ.

3. Вывод человека из зон управления технологическими процессами и горным предприятием в целом из-за ограниченности когнитивных способностей человека, которые эволюционируют медленнее, чем развиваются возможности алгоритмов искусственного интеллекта. Оставшиеся люди станут частью роботизированного комплекса горного предприятия. Аналитические способности человека будут усилены цифровыми помощниками и созданием интерактивных систем в контуре управления на высших уровнях [5, 6].

Таким образом, начиная со второго, а в основном на третьем этапе, проектирование, планирование, управление горными работами, мониторинг природных и техногенных процессов, собственно технические средства и оборудование будут формировать единую роботизированную систему, автоматически адаптирующуюся к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям по мере развития горных работ, представляя собой комплекс цифровых двойников объектов и процессов горной технологии, т.е. цифровое горнодобывающее предприятие [7]. Цифровое горнодобывающее предприятие — это предприятие, в котором процессы добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых полностью автоматизированы и управление развитием горных работ, технологическими комплексами геологоразведочного, горного, транспортного, дробильно-размольного, обогатительного и вспомогательного оборудования обеспечивается с использованием искусственного интеллекта (ИИ), методов обработки больших массивов данных (BIG DATA), прогнозной аналитики, интернета вещей в едином цифровом и информационном пространстве на основе непрерывно обновляемого цифрового двойника предприятия с применением онлайн-мониторинга состояния всех горных выработок, оборудования и персонала [8, 9].

Можно выделить несколько основных этапов в организации и обеспечении безопасных условий ведения горных работ по мере формирования цифрового горнодобывающего предприятия.

1. Исходное состояние — обеспечение безопасности людей регламентировано технологическими и организационными мероприятиями. Безопасность людей обеспечивают люди.

2. Переходный период — усиление требований к безопасности людей из-за присутствия роботизированных машин на рабочих площадках, в связи с этим появляются автоматические средства обеспечения безопасной работы. Безопасные условия работы людей обеспечивают человеко-машинные автоматизированные комплексы.

3. Итоговое состояние — люди, в целом, выведены из рабочего пространства, их безопасность и безопасность роботов полностью обеспечивается автоматическими техническими средствами, роботизированными комплексами.

В настоящее время 90% травм и аварий происходит по причине ошибок персонала. Цифровая система управления горным предприятием потенциально может значительно снизить человеческий фактор как причину возникновения нечастных случаев за счет исключения человека с производственной площадки. Оставшиеся люди станут частью роботизированного комплекса горного пред-

приятия. С помощью цифровых помощников и интерактивных систем люди будут выполнять работу в контуре управления на высших уровнях.

Особенности обеспечения безопасных условий труда на цифровом горнодобывающем предприятии

Анализ аварийности и производственного травматизма на горных предприятиях показывает преобладающую роль человеческого фактора как причину возникновения таких ситуаций. При более детальном рассмотрении причин становится явным, что значительная часть аварийных случаев и случаев производственного травматизма происходит из-за ошибок персонала, работающего в условиях дефицита информации [10], т.е. зачастую работник имеет неверное представление о реальном уровне опасности, что становится причиной несчастных случаев. На цифровом горнодобывающем предприятии работа основывается на многоуровневом анализе данных, поступающих от всех машин и оборудования, задействованных в технологических процессах горных работ. За счет этого дефицит информации будет нивелирован и перестанет являться основной причиной возникновения опасных ситуаций. Это достигается посредством использования цифрового подключения всего оборудования рудника к единой управляющей информационной системе, т.е. промышленного интернета вещей.

Такое цифровое информационное пространство содержит данные о местоположении и состоянии оборудования в реальном времени, это позволяет отрегулировать технологические процессы таким образом, чтобы опасные ситуации были исключены. В результате формируется безопасная среда для ведения горных работ, основанная не на ненадежных ментальных способностях

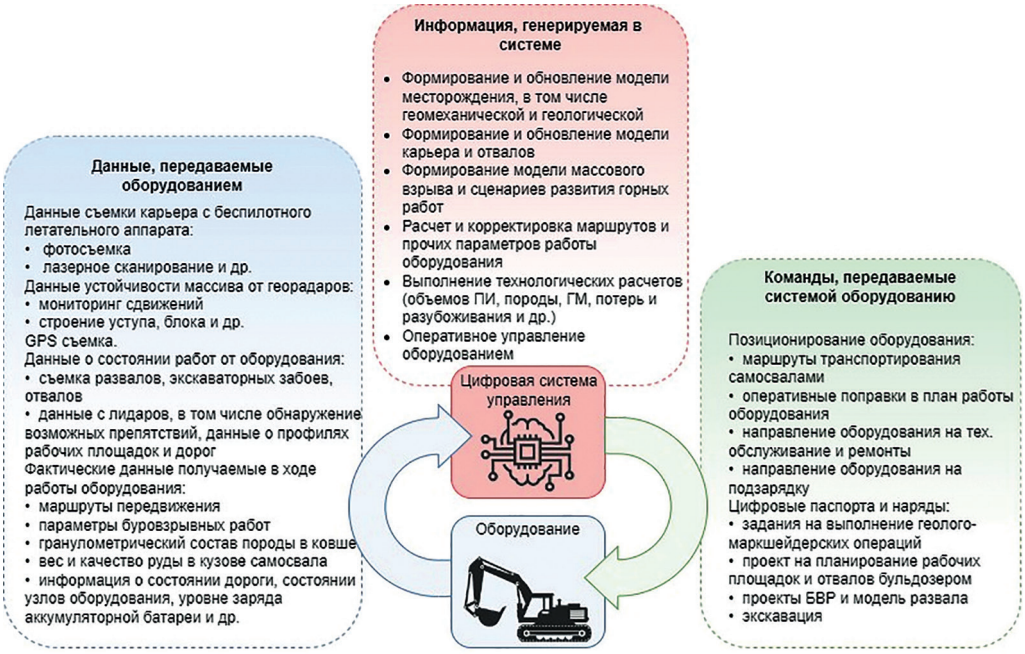

Рис. 1. Обмен данными на цифровом горнодобывающем предприятии
Fig. 1. Data exchange in a digital mining enterprise

человека, а на формальных правилах, условиях и ограничениях, включенных в алгоритмы управления цифровым горным предприятием.

Уже в настоящее время современное горное оборудование оснащается множеством различных датчиков, сенсоров, средствами машинного зрения и видеоаналитики, обеспечивающих мониторинг его состояния, цифровыми контроллерами, реализующими дистанционный и автономный режимы управления оборудованием [11]. Это позволяет получить наиболее полное представление об актуальном состоянии процессов, происходящих на производстве в каждый момент времени, и принимать управляющие решения исходя из него. Средства искусственного интеллекта, основываясь на состоянии рабочей среды, смогут в реальном времени формировать необходимые управляющие воздействия и команды для согласованной работы комплекса механизмов и горно-транспортного оборудования [12, 13]. Обобщенная схема потоков данных на цифровом горнодобывающем предприятии, иллюстрирующая этот процесс, приведена на рис. 1.

Изменение общих требований для обеспечения безопасности на цифровом горнодобывающем предприятии

Для обеспечения безопасного ведения горных работ рядом нормативно-правовых документов предусматриваются требования, в большинстве своем направленные на обеспечение безопасности людей на производственных площадках. В связи с тем, что на цифровом горнодобывающем предприятии люди должны быть в основном исключены из производственных процессов и выведены из рабочей зоны, многие из этих требований потеряют актуальность. Например, некоторые требования приказа Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых"» (Зарегистрировано в Минюсте России 21.12.2020 № 61651):

- к выполнению работ допускаются только те лица, которые имеют специальную подготовку и квалификацию, а к руководству горными работами лица, имеющие соответствующее специальное образование;
- обеспечение персонала специальной одеждой, средствами индивидуальной и коллективной защиты;
- машины, оборудование и материалы, применяемые в производстве, должны соответствовать санитарным нормам;
- на объектах открытых горных работ с особо трудным пылегазовым режимом должна быть организована пылевентиляционная служба, объекты должны постоянно обслуживаться специализированным профессиональным аварийно-спасательным формированием;
- каждое рабочее место в течение смены должен осматривать горный мастер, а в течение суток — начальник участка или его заместитель, которые обязаны не допускать производство работ при наличии нарушений правил безопасности;
- каждый работающий, заметив опасность, угрожающую людям, производственным объектам (неисправность железнодорожных путей, машин и механизмов, электросетей, признаки возможных оползней, обвалов уступов, возникновения пожаров и др.), обязан сообщить об этом техническому руководителю смены, а также предупредить людей, которым угрожает опасность.

Требования инструкции по охране труда и технике безопасности водителей самосвалов:

• в местах, представляющих опасность для работающих людей и оборудования (водоемы, затопленные выработки и т.п.), должны устанавливаться предупредительные знаки;

• места работ должны быть освещены в соответствии с установленными нормами.

Требования безопасности при взрывных работах:

• воздух рабочей зоны должен содержать по объему 20% кислорода и не более 0,5% углекислого газа; содержание других вредных газов не должно превышать установленных санитарных норм;

• допуск рабочих и специалистов на рабочие места после производства массовых взрывов разрешается после получения ответственным руководителем взрыва сообщения от специализированного профессионального аварийно-спасательного формирования о снижении концентрации ядовитых продуктов взрыва в воздухе до установленных санитарных норм, но не ранее чем через 30 мин после взрыва, рассеивания пылевого облака и полного восстановления видимости, а также осмотра мест (места) взрыва ответственным лицом (согласно распорядку массового взрыва).

Требования типовой инструкции по охране труда для машинистов экскаваторов одноковшовых ТОИ:

• для снижения пылеобразования при экскавации горной массы в теплые пе-

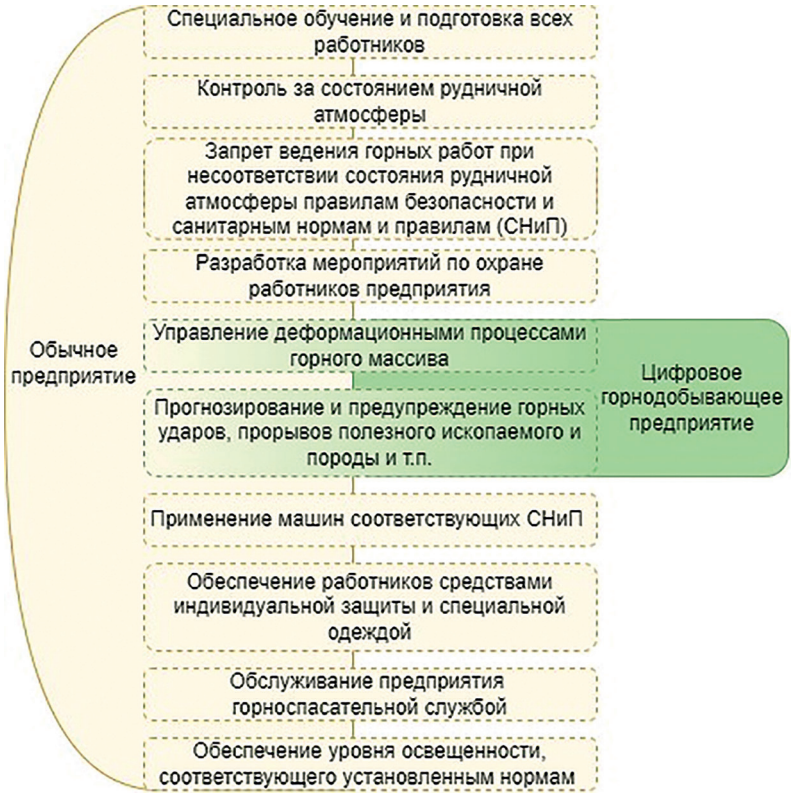

Рис. 2. Требования для обеспечения безопасности горных работ на обычном и цифровом горнодобывающем предприятии

Fig. 2. Requirements for mining safety in a conventional and digital mining enterprise

риоды года необходимо проводить систематическое орошение взорванной горной массы водой.

На цифровом горнодобывающем предприятии необходимыми для выполнения останутся требования для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьера. Требования к безопасности персонала, эпизодически появляющегося в зоне ведения работ, должны быть трансформированы с учетом условий функционирования роботизированных горнодобывающих комплексов.

На рис. 2 приведена упрощенная схема, отображающая разницу в требованиях к обеспечению безопасности на цифровом и обычном предприятии.

Для обеспечения безопасных условий работы техники на цифровом горнодобывающем предприятии необходимо проведение комплекса геолого-маркшейдерских наблюдений и осуществление специальных мероприятий по прогнозированию и предупреждению внезапных выбросов газов, горных ударов, прорывов воды, обрушений пород, а также управление деформационными процессами горного массива [14].

Для этого комплексу технических средств мониторинга, связанному с цифровой системой управления, необходима реализация следующих функций (рис. 3).

1. Постоянный геомеханический мониторинг, при котором выявляются опасные сейсмические события и критические подвижки уступов и бортов карьеров, откосов отвалов и хвостохранилищ. В случае возникновения аварийной ситуации каждой единице оборудования в зоне выявленной опасности поступит команда о необходимости перемещения в безопасное место [15, 16].

2. Все технологическое оборудование, применяемое на карьере, передает в единую управляющую информационную систему данные о своем окружении. На основе этих данных выполняется анализ и принимается наиболее оптимальное решение о проведении каких-либо мероприятий по исправлению возникшей ситуации [17, 18].

Рис. 3. Процессы для обеспечения безопасности на роботизированном предприятии
Fig. 3. Processes to ensure safety in a robotic enterprise

3. Все технологическое оборудование на карьере обменивается с единой управляющей информационной системой данными о своем состоянии и статусе выполнения своих работ, система в свою очередь оперативно управляет оборудованием для максимально эффективного выполнения технологических процессов в условиях динамично меняющейся среды.

4. Происходит постоянное обновление цифровой модели карьера за счет съемки, выполняемой беспилотными летательными аппаратами, системами геомеханического мониторинга, собственно горным оборудованием, оснащенным средствами технического зрения [19, 20]. Такой комплекс средств мониторинга также позволит обнаруживать возникновение в карьере посторонних объектов, несанкционированное появление людей, животных и пр.

Заключение

Анализ требований, предусмотренных рядом нормативно-правовых документов, показал, что в большинстве своем они направлены на обеспечение безопасности людей на производственных площадках. На цифровом горнодобывающем предприятии многие из этих требований станут неактуальными. Были выявлены изменения в общих требованиях для обеспечения безопасности горных работ на цифровом предприятии.

Составлена обобщенная схема процессов, выполняемых для обеспечения безопасности на роботизированном предприятии, которая предусматривает проведение комплекса геолого-маркшейдерских наблюдений и осуществление специальных мероприятий по прогнозированию и предупреждению внезапных выбросов газов, горных ударов, прорывов воды, обрушений пород, а также управление деформационными процессами горного массива.

Определен ряд функций, необходимых для обеспечения безопасности на цифровом горном предприятии.

Применение роботизированной техники окажет значительное влияние на технологию горного производства, что приведет к изменению требований по обеспечению безопасности на открытых горных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Решетняк С. П.* Основные проблемы проектирования карьеров нового поколения // Записки горного института. — 2012. — Т. 197. — С. 154—158.

2. *Кубрин С. С.* Автоматизированная система управления горным производством как платформа комплексирования технологических стадий и операций в единый технологический процесс // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 11. — С. 96—107.

3. *Amit Kumar Tyagi, Sreenathc N.* Cyber physical systems: Analyses, challenges and possible solutions // Internet of Things and Cyber-Physical Systems. 2021, vol. 1, pp. 22—33. DOI: 10.1016/j.iotcps.2021.12.002.

4. *Alexopoulos K., Sipsas K., Xanthakis E., Makris S., Mourtzis D.* An industrial internet of things based platform for context-aware information services in manufacturing // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2018, vol. 31, no. 11, pp. 1111—1123. DOI: 10.1080/0951192X.2018.1500716.

5. *Monostori L.* Cyber-physical systems theory and application / CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. 2018, 1199 p.

6. *Nikolakis N., Sipsas K., Makris S.* A cyber-physical context-aware system for coordinating human-robot collaboration // Procedia CIRP. 2018, vol. 72, pp. 27—32. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.033.

7. *Nikolakis N., Kantaris G., Bourmpouchakis K., Alexopoulos K.* A cyber-physical system approach for enabling ventilation on-demand in an underground mining site // Procedia CIRP. 2021, vol. 97, pp. 487—490. DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.265.

8. *Черепанов Н. В.* Промышленный «Интернет вещей» на предприятии // Инновации и инвестиции. — 2019. — № 10. — С. 151—154.

9. *Гришин Е. Л.*, *Трушкова Н. А.* Обеспечение безопасности ведения горных работ в современных условиях добычи полезных ископаемых / Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сборник научных трудов. Вып. 16. — Пермь: ГИ УРО РАН, 2018. — С. 254—257. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.69.

10. *Дерябин С. А.*, *Кондратьев Е. И.*, *Рзазаде Ульви Азар оглы*, *Темкин И. О.* Язык моделирования архитектуры цифрового предприятия: методологический подход к проектированию систем Индустрии 4.0 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 2. — С. 97—110. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_97.

11. *Наговицын О. В.*, *Возняк М. Г.* К вопросам управления роботизированным горнодобывающим предприятием // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5-1. — С. 326—335. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_326.

12. *Зиновьева О. М.*, *Кузнецов Д. С.*, *Меркулова А. М.*, *Смирнова Н. А.* Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 113—123. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_21_0_113_123.

13. *Захаров В. Н.*, *Кубрин С. С.* Цифровая трансформация и интеллектуализация горнотехнических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5-2. — С. 31—47. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_31.

14. *Вербило П. Э.*, *Иовлев Г. А.*, *Петров Н. Е.*, *Павленко Г. Д.* Применение технологий информационного моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-2. — С. 60—79. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_60.

15. *Комиссаров А. П.*, *Лагунова Ю. А.*, *Набиуллин Р. Ш.*, *Хорошавин С. А.* Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 4. — С. 156—168. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156.

16. *Дерябин С. А.*, *Рзазаде Ульви Азар оглы*, *Кондратьев Е. И.*, *Темкин И. О.* Метамодель архитектуры системы автономного управления транспортно-технологическими процессами в карьере // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 117—129. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_117.

17. *Галиев С. Ж.*, *Галиев Д. А.*, *Утешов Е. Т.*, *Текенова А. Т.* Основы информационно-технологической платформы системы управления геотехнологическим комплексом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 10. — С. 142—154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-142-154.

18. *Бондаренко И. С.* Разработка планов-прогнозов на основе технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 97—107. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_97.

19. *Young A., Rogers W.* A review of digital transformation in mining // Mining, Metallurgy & Exploration. 2019, vol. 36, no. 1. DOI: 10.1007/s42461-019-00103-w.

20. *Dragičević Z., Bošnjak S.* Digital transformation in the mining enterprise: The empirical study // Mining and Metallurgy Engineering Bor. 2019, vol. 1-2, pp. 73—90. DOI: 10.5937/mmeb1902073D. ГИАБ

REFERENCES

1. Reshetnyak S. P. The main problems of designing open pits of a new generation. *Journal of Mining Institute*. 2012, vol. 197, pp. 154—158. [In Russ].

2. Kubrin S. S. Automated control system for mining production as a platform for integrating technological stages and operations into a single technological process. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 11, pp. 96 — 107. [In Russ].

3. Amit Kumar Tyagi, Sreenathc N. Cyber physical systems: Analyses, challenges and possible solutions. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2021, vol. 1, pp. 22 — 33. DOI: 10.1016/j.iotcps.2021.12.002.

4. Alexopoulos K., Sipsas K., Xanthakis E., Makris S., Mourtzis D. An industrial internet of things based platform for context-aware information services in manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018, vol. 31, no. 11, pp. 1111 — 1123. DOI: 10.1080/0951192X.2018.1500716.

5. Monostori L. Cyber-physical systems theory and application. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2018, 1199 p.

6. Nikolakis N., Sipsas K., Makris S. A cyber-physical context-aware system for coordinating human-robot collaboration. *Procedia CIRP*. 2018, vol. 72, pp. 27 — 32. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.033.

7. Nikolakis N., Kantaris G., Bourmpouchakis K., Alexopoulos K. A cyber-physical system approach for enabling ventilation on-demand in an underground mining site. *Procedia CIRP*. 2021, vol. 97, pp. 487 — 490. DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.265.

8. Cherepanov N. V. Industrial «Internet of things» at the enterprise. *Innovatsii i investitsii*. 2019, no. 10, pp. 151 — 154. [In Russ].

9. Grishin E. L., Trushkova N. A. Ensuring the safety of mining operations in modern conditions of mining. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov: Sbornik nauchnykh trudov*. Vyp. 16 [Strategy and processes of development of georesources. Collection of scientific papers, issue 16], Perm, GI URO RAN, 2018, pp. 254 — 257. [In Russ]. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.69.

10. Deryabin S. A., Kondratev E. I.,Rzazade Ulvi Azar ogly, Temkin I. O. Digital Mine architecture modeling language: Methodological approach to design in Industry 4.0. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 97 — 110. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_97.

11. Nagovitsyn O. V., Voznyak M. G. Robotic mine management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 326 — 335. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_326.

12. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 113 — 123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_21_0_113_123.

13. Zakharov V. N., Kubrin S. S. Digital transformation and intellectualization of mining systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5-2, pp. 31 — 47. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_31.

14. Verbilo P. E., Iovlev G. A., Petrov N. E., Pavlenko G. D. Application of information modeling technologies for mine surveying support of mining operations. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-2, pp. 60 — 79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_60.

15. Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Nabiullin R. Sh., Khoroshavin S. A. Digital model of shovel work process. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 4, pp. 156 — 168. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156.

16. Deryabin S. A., Rzazade Ulvi Azar ogly, Kondratev E. I., Temkin I. O. Metamodel of autonomous control architecture for transport process flows in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 117 — 129. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_117.

17. Galiev S.Zh., Galiev D. A., Uteshov E. T., Tekenova A. T. A framework for the information technology platform for operations and facilities management in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 10, pp. 142 — 154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-142-154.

18. Bondarenko I. S. Elaboration of plans–forecasts based on engineering-and-economic performance of mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 97—107. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_97.

19. Young A., Rogers W. A review of digital transformation in mining. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2019, vol. 36, no. 1. DOI: 10.1007/s42461-019-00103-w.

20. Dragičević Z., Bošnjak S. Digital transformation in the mining enterprise: The empirical study. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*. 2019, vol. 1-2, pp. 73—90. DOI: 10.5937/mmeb1902073D.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наговицын Олег Владимирович[1] — д-р техн. наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0115-8411,
Возняк Мария Григорьевна[1] — ведущий инженер,
e-mail: voznyak@mineframe.ru,
[1] Горный институт Кольского научного центра РАН.
Для контактов: Наговицын О.В., e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

O.V. Nagovitsyn[1], Dr. Sci. (Eng.),
Chief Researcher,
e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0115-8411,
M.G. Voznyak[1], Leading Engineer,
e-mail: voznyak@mineframe.ru,
[1] Mining Institute, Kola Scientific Centre
of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.
Corresponding author: O.V. Nagovitsyn, e-mail: O.Nagovitsyn@ksc.ru.

Получена редакцией 25.03.2022; получена после рецензии 22.09.2022; принята к печати 10.11.2022.
Received by the editors 25.03.2022; received after the review 22.09.2022; accepted for printing 10.11.2022.