

УДК 622.012:681.3.01:519.67

Возняк Мария Григорьевна

научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН,
184209 Мурманская обл.,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24

**ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
РУДЫ НА РОБОТИЗИРОВАННОМ
ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ***Аннотация:*

Проблема обеспечения качества продукции горных предприятий всегда являлась наиболее важной и затрагивала интересы почти всех перерабатывающих производств. На каждом предприятии данная проблема решается индивидуально, но чаще сводится к применению программных модулей для оптимизации рудопотоков. Такие модули обычно представляют собой интеграционное решение, объединяющее имеющиеся на предприятии систему диспетчеризации и систему горно-геологического обеспечения. Учитывая активное внедрение в технологические процессы горного производства различных автоматизированных систем, было бы актуальным представить место процесса управления качеством руды на новом этапе развития горного производства, т.е. на полностью роботизированном предприятии.

В статье проведен анализ распространенных проблем, связанных с усреднением качества руды на современных горнодобывающих предприятиях, выявлены основные принципы работы интеграционных решений для оптимизации подачи руды на обогащение, составлена схема потоков данных и схема процесса оптимизации подачи руды на обогащение на цифровом горнодобывающем предприятии.

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

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.01.006

Wozniak Maria G.

Researcher,
Mining Institute of the KSC RAS,
24 Fersman Str., 184209 Apatity,
Murmansk Region

**ORE QUALITY MANAGEMENT PROCESS
AT THE ROBOTIC MINING FACILITY***Abstract:*

The problem of ensuring the quality of mining enterprises' products has always been the most important and has affected the interests of almost all processing industries. At each enterprise, this problem is solved individually, but more often it comes down to the use of software modules to optimize ore flows. Such modules are usually an integration solution that combines the dispatching system and the mining and geological support system available at the enterprise. Given the active introduction of various automated systems into the technological processes of mining, it would be relevant to imagine the place of the ore quality management process at a new stage in the development of mining, i.e. at a fully robotic enterprise.

The article analyzes common problems related to ore quality averaging in modern mining enterprises, identifies the basic principles of integration solutions for optimizing ore supply for enrichment, draws up a data flow diagram and a process diagram for optimizing ore supply for enrichment in a digital mining enterprise.

Key words: robotic system, automated system, mining enterprise management, robotic management, human factor, data exchange, mining enterprise management structure, cyber-physical systems, Internet of Things, ore quality management, ore feed optimization.

Введение

В условиях изменчивости содержания полезного компонента на различных участках месторождения стабилизация качества сырья является актуальной задачей для горной промышленности. Стабильное качество поставляемого рудниками сырья определяет минимизацию затрат на выпуск товарной продукции обогатительными фабриками. На сегодняшний день неотъемлемой частью работы горнодобывающих предприятий является управление качеством минерального сырья на стадии планирования и непосредственной добычи, это позволяет оптимизировать всю производственную цепочку и сни-

зить эксплуатационные затраты на производство концентрата с определенными параметрами. Однако на современных горнодобывающих предприятиях существует ряд проблем, связанных с усреднением качества руд, для устранения которых применяются различные методы и технологии.

1. Распространенные проблемы, связанные с усреднением качества руды, и способы их устранения

Наиболее распространенные проблемы, связанные с усреднением качества руды на горнодобывающих предприятиях:

- Отставание от потребностей рудника химического анализа проб отбитой горной массы. Из-за низкой оперативности анализа рудники получают его результаты в лучшем случае через сутки после опробования. Таким образом, информация о качестве руды в потоке отстает от выполнения добычных работ, последующих производственных процессов и процессов перевозки руды. Как следствие отсутствует своевременная информация о характеристиках рудной массы в конкретных пунктах, а управление производством осуществляется исходя из визуальной оценки массива геологом и общих представлений о реальной ситуации.

- Отсутствие сквозной, оперативно действующей системы информации о качестве руды по всей технологической цепи, начиная от опробования рудного тела и отбитой руды по каждому забою и заканчивая складами и рудопотоками на поверхности.

- Недостоверность анализа качества руд на обогатительных фабриках, имеющих относительно большую хрупкость и меньшую прочность, которые образуют в навалe рудной массы менее крупные куски и большее количество мелочи, чем окружающие их горные породы. За счет этого в процессе дробления рудной массы на фабрике руды более высокого качества проходят все стадии дробления быстрее прочих и раньше попадают на анализ состава руды. Это приводит к недостоверным результатам анализа пробы относительно всего объема прибывшей рудной массы.

- Отсутствие информационной системы, позволяющей обеспечить визуализацию информации о процессах усреднения руды в единой диспетчерской. Обычно автоматизированным процессом является получение исходной информации о статусе каждой единицы оборудования с помощью различных датчиков. Остальные процессы диспетчеризации осуществляются практически в ручном режиме.

Проблемы, связанные с анализом качества, обычно разрешаются на предприятиях методами оперативного распознавания состава руды и процессом предконцентрации.

В настоящее время отечественные и зарубежные компании выпускают как стационарные, так и портативные аппараты для экспресс-анализа минеральных сред. Естественно, что информация, получаемая на портативных аппаратах, менее точная, чем на стационарных установках, тем более что они работают не на специально подготовленных порошковых пробах, а на кусковом материале и в массиве горных пород. Но главное их достоинство – это быстрота и возможность получения большого массива статистических данных за относительно короткие сроки, что необходимо для оперативного управления производством.

Для устранения проблемы недостоверности анализа качества руд на обогатительных фабриках принято использовать варианты технологии с разделением по типам и сортам руды. Разделение компонентов рудной массы может производиться на базе непосредственного использования различия определенных свойств полезных ископаемых и засоряющих их горных пород. Процесс предконцентрации максимально автоматизируется с применением специальных сепараторных устройств. В основу процессов предконцентрации закладываются устойчивые корреляционные связи между определенными

физическими характеристиками и вещественным составом горных пород, а также степень различия этих характеристик между разделяемыми компонентами рудной массы. Разделение компонентов рудной массы может производиться на базе непосредственного использования различия каких-то свойств полезных ископаемых и засоряющих их горных пород. Это позволяет отделять наиболее богатую часть рудной массы путем ее грохочения. Кроме того, используя различие в удельном весе руды и пустой породы, возможно разделение руды и пустых пород в плотной жидкой среде, например, в процессе гидроподъема рудной массы на поверхность или, по аналогии с обогащением в тяжелых средах, в специальных емкостях, отделяя наиболее доступную в этих условиях часть пустых пород.

Проблема отсутствия информационной системы, позволяющей оперативно получить достоверную информацию о характеристиках руды по всему диапазону шахтного поля и по всей технологической схеме рудника, устраняется применением различных интеграционных решений, обеспечивающих взаимосвязь двух систем рудника – диспетчеризации и системы горно-геологического обеспечения горных работ.

2. Принцип работы интеграционных модулей для оптимизации подачи руды на обогащение, применяемых на современных горнодобывающих предприятиях

Разработкой модулей, обеспечивающих взаимосвязь диспетчерской системы и горно-геологической информационной системы (ГГИС), применяемой на руднике, занимаются различные компании - промышленные интеграторы. Разрабатываемые модули оптимизации подачи руды обычно базируются на работе с поступающими из ГГИС данными о содержании полезного компонента в блочных моделях выемочных единиц и рудного склада. При проведении оперативного опробования кускового материала в массиве горных пород посредством экспресс-анализаторов полученный массив статистических данных за относительно короткие сроки позволяет формировать достаточно точные блочные модели выемочных единиц, которые необходимы для дальнейшего оперативного управления производством.

На основе имеющихся данных о целевом содержании полезного компонента в руде и данных о доступности технологического оборудования, получаемых от диспетчерской системы или ГГИС, посредством интеграционного модуля для оптимизации подачи руды подготавливаются графики работ, после чего выполняется поиск оптимизированных маршрутов с рудника на фабрику или склад. Далее, основываясь на этих данных, формируются сменно-суточные задания для попадающих в план работ исполнителей. Определенные системой варианты заданий передаются в исполнительную систему/систему диспетчеризации (рис. 1).

Таким образом, современное решение по оптимизации подачи руды на обогащение представляет собой сложный комплекс систем. Внедрение такого комплекса повышает коэффициент извлекаемости полезных ископаемых (ПИ), сокращая операционные расходы на транспортировку и снижая потери ПИ в процессе обогащения и обычно требует значительно меньших вложений средств, чем усреднительный склад. Однако для эффективной и точной работы системы и обогащательной фабрики требуется разработать и внедрить целый комплекс регламентов, который бы позволял эффективно управлять процессом. Помимо этого, интеграционные решения имеют и недостатки, например, может присутствовать несогласованность интегрируемых данных, вследствие отсутствия в компании единой системы управления ими, или закрытость служб сопровождения и разработчиков интегрируемых информационных систем. Особенно этот вопрос актуален сейчас, когда зарубежные производители программ отказываются осуществлять их поддержку. Это может затруднить интеграцию и последующие доработки в рамках комплекса программных систем.

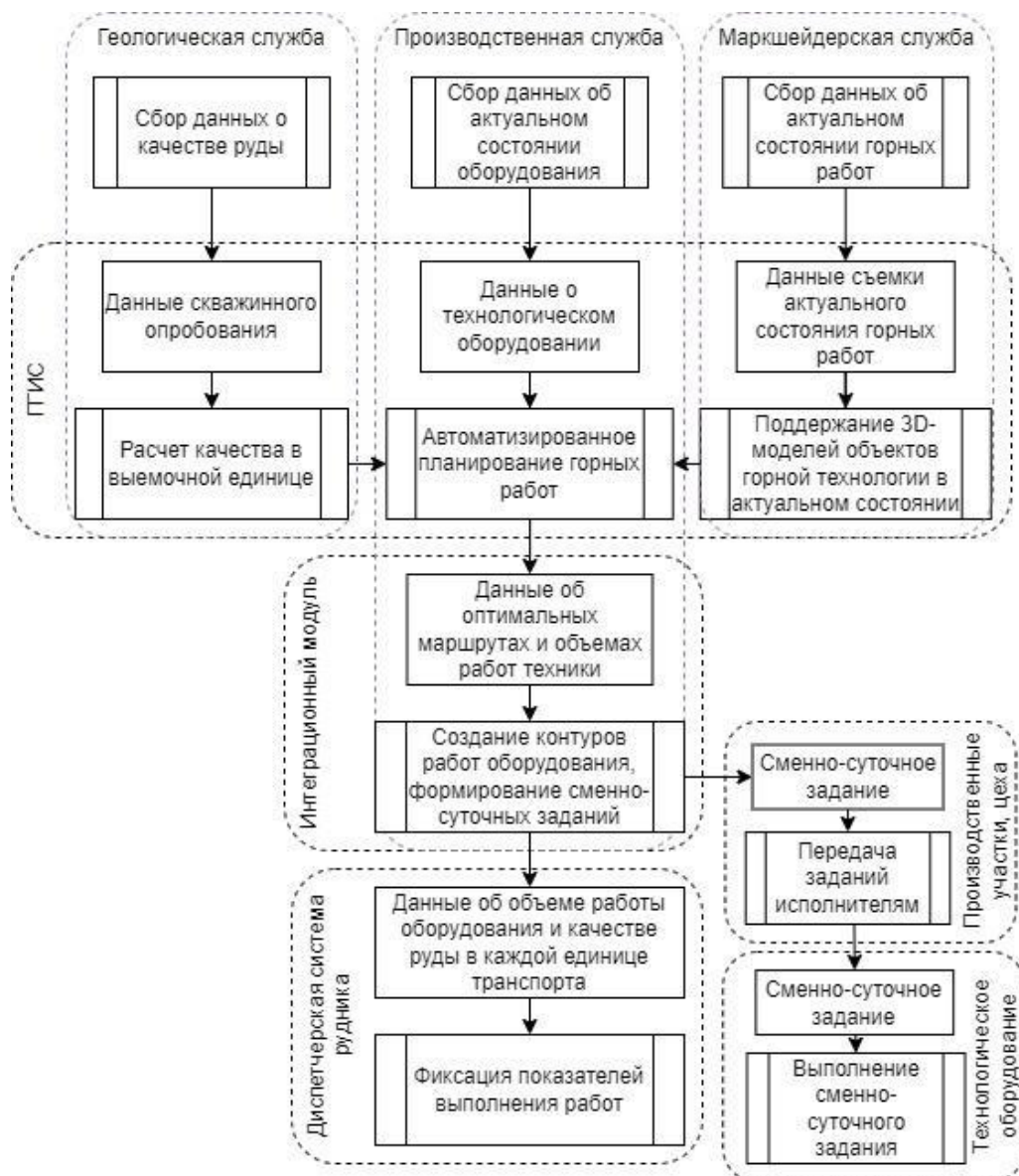


Рис. 1. Принцип работы интеграционных решений для оптимизации подачи руды на обогащение

3. Процесс управления качеством руды на роботизированном горном предприятии

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. Основными движущими силами 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.

Перенос на особенности горного производства общие технологические предпосылки появления киберфизических систем, можно выделить следующие этапы их формирования:

1. Увеличение количества устройств со встроенными процессорами и системами хранения данных: сети мониторинга геомеханических, аэрологических параметров; горное оборудование с микроконтроллерами управления отдельными подсистемами; маркшейдерские и геологические приборы для съемки и опробования и т.д.

2. Интеграция, позволяющая добиться большего эффекта методом объединения ряда отдельных компонентов в единую систему: промышленный интернет вещей и цифровое подключение – системы диспетчеризации и мониторинга горнотранспортного оборудования; сети интеллектуальных сенсоров; умные среды горного предприятия. Цифровое подключение персонала, все еще остающегося в пространстве ведения работ.

3. Вывод человека из контуров управления технологическими процессами и горным предприятием в целом из-за ограничения когнитивных способностей человека, которые эволюционируют медленнее, чем развиваются возможности алгоритмов искусственного интеллекта. При этом – усиление аналитических способностей человека с помощью цифровых помощников и создание интерактивных систем в контуре управления на высших уровнях.

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. 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. Обобщенная схема потоков данных на цифровом горнодобывающем предприятии, иллюстрирующая этот процесс, приведена на рис. 2.

Основные задачи, необходимые для управления качеством руды, будут выполняться искусственным интеллектом на основе данных, получаемых от технологического оборудования. Схема процесса оптимизации подачи руды на обогащение на цифровом горнодобывающем предприятии изображена на рис. 3

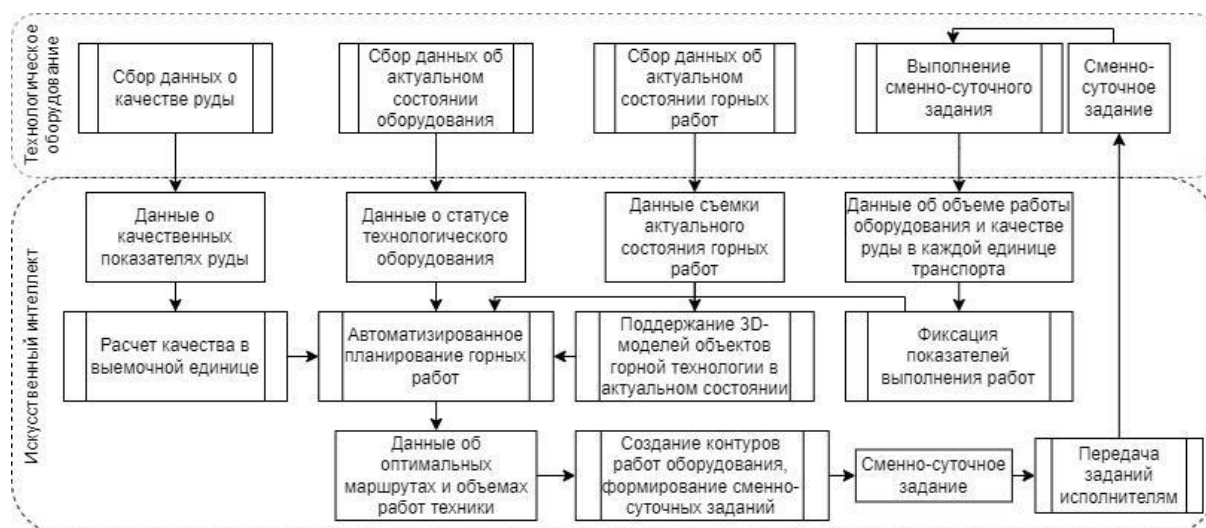


Рис. 2. Обобщенная схема потоков данных на цифровом горнодобывающем предприятии



Рис. 3. Схема процесса оптимизации подачи руды на обогащение на цифровом горнодобывающем предприятии

Данные, собранные во время бурения скважин и экспресс-анализа качества массива, обеспечивают облако выборки по конкретным измеренным показателям для последующего прогнозирования гранулометрического и качественного состава породы в развале. Блочная модель, построенная на основе полученной информации, может учитывать качественные, прочностные характеристики и все структурные нарушения, обнаруженные в массиве горных пород. Такие блочные модели будут строиться по всем выемочным единицам, и на их основе будет производиться планирование работ, а также определение оптимальных маршрутов техники. На основе данных, содержащихся в блочных моделях, будет выполняться прогнозирование качественного состава руды в каждой единице рудничного транспорта. Некоторые функции диспетчерской системы не будут актуальны при работе цифрового горнодобывающего предприятия, однако их часть, например, фиксация показателей выполнения работ и статусов оборудования, а также передача заданий на исполнительную технику будет выполняться посредством алгоритмов искусственного интеллекта. Зафиксированные системой результаты работ будут использованы для

последующего планирования. При анализе этих особенностей обмена данными на цифровом горнодобывающем предприятии становится ясно, что в процессе оптимизации подачи руды на обогатительную фабрику не будет недостатков, связанных с интеграционными решениями, т.к. данный процесс будет являться естественной частью единой роботизированной системы.

Заключение

В результате анализа принципов работы интеграционных решений для оптимизации потоков руды на современных горнодобывающих предприятиях было выявлено, что внедрение такого сложного комплекса систем позволяет повысить коэффициент извлекаемости ПИ, сократить операционные расходы на транспортировку и снизить потери ПИ в процессе обогащения. Но для эффективной и точной работы системы и обогатительной фабрики требуется разработать и внедрить целый комплекс регламентов, который бы позволял эффективно управлять процессом. Помимо этого, интеграционные решения имеют и недостатки, например, может присутствовать несогласованность интегрируемых данных вследствие отсутствия в компании единой системы управления ими или закрытость служб сопровождения и разработчиков интегрируемых информационных систем. Однако на полностью роботизированном производстве современная структура управления претерпит значительные изменения и с учетом особенностей обмена данными на цифровом горнодобывающем предприятии становится ясно, что в процессе оптимизации подачи руды на обогатительную фабрику не будет недостатков, связанных с интеграционными решениями, т.к. данный процесс будет являться естественной частью единой роботизированной системы.

Список литературы

1. Решетняк С.П., 2012. Основные проблемы проектирования карьеров нового поколения. *Записки горного института*, Т. 197, С. 154-158.
2. Кубрин С.С., 2016. Автоматизированная система управления горным производством как платформа комплексирования технологических стадий и операций в единый технологический процесс. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, С. 96-107.
3. Michael J. de C Henshaw, 2017. «Cyber-physical systems. What will the merger of the Internet of people, things and services lead to?», available at: www.tadviser.ru,
4. Alexopoulos K., Sipsas K., Xanthakis E., Makris S., Mourtzis D., 2018. An industrial Internet of Things based platform for context-aware information services in manufacturing. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, no. 31, pp.1111–1123.
5. Monostori L., 2018. Cyber-physical systems theory and application. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1199 p.
6. Nikolakis N., Sipsas K., Makris S., 2018. A cyber-physical context-aware system for coordinating human-robot collaboration. *Procedia CIRP*, no. 72, pp. 27–32.
7. Nikolakis N., Kantaris G., Bourmpouchakis K., Alexopoulos K., 2020. A cyber-physical system approach for enabling ventilation on-demand in an underground mining site. *Procedia CIRP*, no. 97, pp. 487–490.
8. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и др., 2019. *Открытые горные работы – XXI век*. Справочник. Том 2. Под ред. К.Ю. Анистратова Москва: ООО «Система максимум», 872 с.
9. Гришин Е.Л., Трушкова Н.А., 2018. Обеспечение безопасности ведения горных работ в современных условиях добычи полезных ископаемых. *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр.* Вып. 16. Пермь: ГИ УРО РАН, С. 254-257.
10. Наговицын О.В., Возняк М.Г., 2021. К вопросам управления роботизированным горнодобывающим предприятием. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-1, С. 326-335.

11. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 N 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) URL: https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/2024-02-21/normativnaya-dokumentaciya_17085208501138992792.pdf (дата обращения 14.02.2025)

12. *Безопасность при взрывных работах*: Сборник документов. Серия 13. Выпуск 1. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009, 232 с.

13. *Инструкция по охране труда и технике безопасности водителей самосвалов*. Санкт-Петербург: Группа компаний «КаршМаш», 2018, 60с.

References

1. Reshetnyak S.P., 2012. Osnovnye problemy proektirovaniya kar'eroz novogo pokoleniya [Main problems of designing quarries of new generation]. *Zapiski gornogo instituta*, Vol. 197, P. 154-158.

2. Kubrin S.S., 2016. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya gornym proizvodstvom kak platforma kompleksirovaniya tekhnologicheskikh stadii i operatsii v edinyi tekhnologicheskii protsess [Automated mining production management system as a platform for integrating technological stages and operations into a complex technological process]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 11, P. 96-107

3. Michael J. de C Henshaw, 2017. «Cyber-physical systems. What will the merger of the Internet of people, things and services lead to?», available at: www.tadviser.ru,

4. Alexopoulos K., Sipsas K., Xanthakis E., Makris S., Mourtzis D., 2018. An industrial Internet of Things based platform for context-aware information services in manufacturing. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, no. 31, pp.1111–1123.

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

6. Nikolakis N., Sipsas K., Makris S., 2018. A cyber-physical context-aware system for coordinating human-robot collaboration. *Procedia CIRP*, no. 72, pp. 27–32.

7. Nikolakis N., Kantaris G., Bourmpouchakis K., Alexopoulos K., 2020. Acyber-physical system approach for enabling ventilation on-demand in an underground mining site. *Procedia CIRP*, no. 97, pp. 487–490.

8. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. i dr., 2019. Otkrytye gornye raboty – XXI vek [Open-pit mining – the 21st century]. *Spravochnik*. Tom 2. Pod red. K.Yu. Anistratova Moscow: OOO "Sistema maksimum", 872 p.

9. Grishin E.L., Trushkova N.A., 2018. Obespechenie bezopasnosti vedeniya gornykh rabot v sovremennykh usloviyakh dobychi poleznykh iskopaemykh [Ensuring the safety of mining operations in modern conditions of mining]. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov: sb. nauch. tr. Vyp. 16*. Perm': GI URO RAN, P. 254-257.

10. Nagovitsyn O.V., Voznyak M.G., 2021. K voprosam upravleniya robotizirovannym gornodobyvayushchim predpriyatiem [To the issues of management of a standardized mining enterprise]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5-1, P. 326-335.

11. Prikaz Rostekhnadzora ot 08.12.2020 N 505 "Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh" [Rostekhnadzor Order No. 505 dated 12/08/2020 "On Approval of Federal Norms and Rules in the field of industrial safety "Safety Rules for Mining and Processing of Solid Minerals"] (Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 21.12.2020 № 61651) URL: <https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/>

2024-02-21 normativnaya-dokumentaciya_17085208501138992792.pdf (data obrashcheniya 14.02.2025)

12. Bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh [Safety during blasting operations]: Sbornik dokumentov. Seriya 13. Vypusk 1. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-tekhnicheskii tsentr issledovaniy problem promyshlennoi bezopasnosti", 2009, 232 p.

13. Instruktsiya po okhrane truda i tekhnike bezopasnosti voditelei samosvalov [Instructions on labor protection and safety for dump truck drivers stuff]. Sankt-Peterburg: Gruppa kompanii "KarshMash", 2018, 60 p.