Оригинальная статья / Original article
УДК 622.063.46:622.61
DOI: http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-1-104-111

О перспективах применения автоматизированных способов добычи полезных ископаемых

© А.Н. Шевченко, В.А. Храмовских
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Статья посвящена теме организации автоматизированной разработки месторождений полезных ископаемых. В настоящее время многие зарубежные компании на рынке горных машин предлагают оборудование, позволяющее полностью автоматизировать процессы транспортировки, бурения, выемки полезного ископаемого и другие виды работ. Системы включают в себя установленные на машины датчики, контроллеры, навигационное и другое оборудование, позволяющее управлять ими. При четком представлении необходимости и востребованности горно-шахтной промышленности в высокотехнологичном оборудовании можно увидеть все предпосылки для создания современного самоходного горно-шахтного оборудования, в котором будут использованы новые технологии компоновки узлов и агрегатов с дополнительным оснащением приборами учета рабочих и технологических параметров работы оборудования. Наряду с дистанционным управлением, способствующим повышению безопасности производства горных работ, конструкцией машин должен быть предусмотрен ряд дополнительных функций, все разработки направлены на создание условий труда – безопасных и удобных, без снижения качества выполнения рабочих операций и общей производительности. В статье рассмотрены принципы создания высокотехнологичной продукции, предназначенной для повышения эффективности и безопасности проведения подземных горных работ при добыче урановых руд в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях урановых месторождений. Проведены исследования возможных решений проблемы с учетом мирового опыта применения инновационных способов организации безопасного извлечения полезных ископаемых. Представлен план поэтапного решения вопросов организации производства, обозначены планируемые виды работ по созданию высокотехнологичного производства и внедрению высокой технологии. Основным результатом выполняемых исследований должны стать работы по созданию комплекса самоходного горно-шахтного оборудования, включающего самоходные бурильные установки для бурения шпуров, погрузочно-доставочные машины с дистанционным управлением, обеспечивающие повышение производительности и безопасности проведения подземных горных работ при добыче урановых руд в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях урановых месторождений.

Ключевые слова: выемка полезного ископаемого, безлюдные технологии, дистанционное управление, техническое перевооружение, погрузочно-доставочная машина, урановые рудники

Информация о статье: Дата поступления 16 января 2019 г.; дата принятия к печати 14 февраля; дата онлайн-размещения 28 марта 2019 г.

Для цитирования: Шевченко А.Н., Храмовских В.А. О перспективах применения автоматизированных способов добычи полезных ископаемых. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых.* 2019. Т. 42, № 1. С. 104–111. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-1-104-111.

On application prospects of automated mining methods

© Aleksei N. Shevchenko, Vitaly A. Khramovskykh
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract: The article deals with the organization of automated mining of mineral deposits. Today there are many foreign companies in the market of mining machinery that offer equipment enabling full automation of the processes of transportation, drilling, mining of minerals, and other types of works. The systems include the equipment (sensors, controllers, navigation and others) installed on the machines that allows to control the machines. If there is a clear idea of the mining industry's need and demand in high-tech equipment you can see all the prerequisites for creating

modern self-propelled mining equipment, which will use new technology of component and assembly layouts with additional devices for monitoring working and technological parameters of equipment. The design of machines should include both a remote control contributing to the increased safety of mining works and a number of additional functions. All the developments are aimed at creating safe and convenient working conditions without compromising the quality of works and overall productivity. The article discusses the creation principles of high-tech products designed to improve the efficiency and safety of underground mining when extracting uranium ores in complex mining-engineering and mining-geological conditions of uranium deposits. Possible solutions to the problem have been studied with consideration of international experience in the application of innovative methods of mineral safe mining organization. A plan for a stage-by-stage solution of production organization problems is presented with specification of the planned types of works on creation of high-tech production and introduction of high technology. The main result of the research performed should be the works on the creation of a complex of self-propelled mining equipment including self-propelled drilling rigs for short-hole drilling, remote operated load haul dumpers ensuring improved productivity and safety of underground mining in the extraction of uranium ores in complex mining-engineering and mining-geological conditions of uranium deposits.

Keywords: mineral mining, unattended processing, remote control, technical re-equipment, load haul dumpers, uranium mines

Information about the article: Received January 16, 2019; accepted for publication February 14, 2019; available online March 28, 2019.

For citation: Shevchenko A.N., Khramovskykh V.A. On application prospects of automated mining methods. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 1, pp. 104–111. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-1-104-111.

Введение

Современное горнодобывающее предприятие представляет собой крупное механизированное и автоматизированное производство, характеризующееся разнообразием технологического оборудования, которое в оптимальных условиях требует согласованности и взаимодействия между его отдельными элементами.

Рациональное использование материалов и трудовых ресурсов, переоборудование горных предприятий на основе нового высокоэффективного автоматизированного оборудования, внедрение прогрессивных технологий дистанционного управления дают возможность значительно повысить безопасность проведения работ, а также производительность и качество продукции.

Материалы и методы исследования

Увеличение добычи полезных ископаемых в горнодобывающей промышленности во многом обусловлено техническим перевооружением предприятий на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, повышением безопасности и экономической эффективности производства. Следует отметить, что в настоящее время недостаточно внимания уделено вопросам создания технологии с внедрением малолюдной и безлюдной технологии добычи полезного ископаемого. Под системами безлюдной технологии подразумевается инновационное направление научной мысли, в которой рассматривается использование робототехники для выполнения рутинной, вредной и опасной работы без непосредственного участия человека. Робототехника выступает в качестве инструмента обеспечения безопасности и высокой производительности труда за счет исключения простоев оборудования, сокращения количества обслуживающего персонала непосредственно в забое, эффективной оптимизации управления и т. д.

Горная техника, применяемая на горных предприятиях, полностью не избавляет работающих от негативного воздействия факторов внешней среды, воздействия динамических нагрузок,

вибраций и циклически-монотонно совершаемых операций. Для эффективной защиты персонала возникает необходимость вынесения рабочих мест за пределы машины и создания условий дистанционного управления горными машинами и оборудованием, поскольку здоровье людей, особенно обладающих высокой квалификацией и опытом управления техникой, – один из самых главных и ценных капиталов любого предприятия [1].

Принимая во внимание положительные стороны технологий дистанционного управления, следует рассмотреть возможность создания высокотехнологичной продукции, предназначенной для повышения эффективности и безопасности проведения подземных горных работ на примере добычи урановых руд в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях урановых месторождений Забайкалья.

Следует отметить, что часто на предприятиях, действующих долгое время, наблюдается схожая ситуация, когда горно-геологические условия добычи полезного ископаемого постоянно усложняются и все беднее становятся руды, а самое главное, нормы радиационной безопасности требуют выдвижения на первый план защиты персонала от внешнего гамма-излучения, особенно в блоках с богатым содержанием урана в руде. Снижение дозы облучения персонала за счет применения новых подходов к механизации процесса добычи полезного ископаемого позволит решить проблему чрезмерного облучения персонала и избежать перевода рабочих в течение года на другие рабочие места.

Использование современных инновационных способов дистанционного управления горными машинами и механизмами позволит минимизировать негативное воздействие опасных факторов рабочей зоны на человека за счет сокращения времени пребывания персонала в особо опасных условиях.

Результаты исследования и их анализ

Опыт разработки сложноструктурных урановых месторождений и анализ проводимых опытно-промышленных испытаний обуславливают применение нисходящей слоевой выемки с применением высокопроизводительного самоходного горно-шахтного оборудования (ГШО) с дистанционным управлением [2].

Применяемые комплексы автоматизированного самоходного ГШО, включающего в себя самоходные бурильные установки (СБУ) для бурения шпуров и погрузочно-доставочные машины (ПДМ) с дистанционным управлением, должны обеспечивать:

– повышение безопасности сотрудников за счет снижения радиационного воздействия на персонал, которое имеет прямую зависимость от пылеобразования, возникающего при бурении шпуров и транспортировке руды от забоя до рудоприемника;

– повышение производительности и качества продукции за счет снижения потерь и разубоживания урановых руд вследствие уменьшения площади отрабатываемого забоя.

В ходе выполнения комплексного проекта по созданию и организации производства высокотехнологичного самоходного ГШО на первом этапе должны быть созданы ПДМ и СБУ с элементами систем дистанционного управления [3].

ПДМ предназначена для применения вне дорог общего пользования для погрузки разрыхленной горной массы из штабеля, последующей доставки и разгрузки ее в транспортные средства, в том числе кузова автосамосвалов, приемные бункеры, рудоспуски, конвейеры в горных выработках при подземной разработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений. СБУ предназначена для бурения шпуров в подземных выработках при разработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений.

ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463

Обе машины могут выпускаться в модификации с дизельным двигателем либо с электрическим силовым приводом, а также в модификации на аккумуляторных батареях.

Машины должны отличаться малыми габаритами, обеспечивающими высокую маневренность и надежность для использования в сложных горнотехнических условиях, и хорошо подходить для эксплуатации в узких тоннелях с ограниченной высотой и грязной рабочей поверхностью, быть рассчитаны для работы в среде, опасной по газу и пыли.

Немаловажен тот факт, что создание инновационного ГШО позволит расширить модификационную линейку оборудования, пользующуюся спросом на рынке горнодобывающих предприятий, а также будет отвечать требованиям политики импортозамещения.

Таким образом, сложная и, безусловно, актуальная научно-техническая проблема, имеющая большое практическое значение, может быть решена при помощи: разработки документации и технических требований по созданию ГШО, обеспечивающего высокую производительность, минимальное разубоживание и, самое главное, защиту персонала от негативного влияния излучения при отработке маломощных и богатых по содержанию полезного компонента рудных тел урановых месторождений; изготовления прототипов разрабатываемого ГШО с элементами систем дистанционного управления и их адаптации для реальных условий эксплуатации [3–6].

Обсуждение

Повышение эффективности работы ГШО за счет широкого использования достижений информационных технологий в конструкции самой техники происходит путем создания так называемых умных машин, выполняющих операции по разработанным алгоритмам. В частности, применение спутниковых навигационных систем актуально и целесообразно для позиционирования горного оборудования, диспетчеризации рудничного и карьерного транспорта, определения объемов выемки горной массы, контроля устойчивости естественных и техногенных откосов, обеспечения контроля производства, надежной связи, в том числе сквозь массивы горных пород, и для других целей [7, 8].

Рядом зарубежных компаний горного машиностроения разработаны и уже испытаны в производственных условиях автономные карьерные автосамосвалы и буровые станки, а также автономное технологическое оборудование для подземных горных работ. Некоторые виды горного оборудования адаптированы под дистанционное управление операторами, в том числе находящимися на значительном удалении от непосредственных мест производства горных работ [8–10].

Проведенные испытания беспилотных автосамосвалов подтверждают [8, 9, 11] реальность автономизации практически любого горного оборудования: погрузчиков, экскаваторов, буровых станков, бульдозеров и иных машин, особенно в условиях Севера и Сибири. А если учесть тот факт, что продвижение горнодобывающей промышленности осуществляется в северные и северо-восточные районы России, то спрос на технику с дистанционным управлением будет увеличиваться.

На первом этапе исключения человека из производственного процесса полезно и, по-видимому, неизбежно использование оборудования, дистанционно управляемого оператором, применяемого в нестандартных и неблагоприятных условиях, хотя конечной целью должно быть создание полностью автономной технологии с элементами искусственного интеллекта. Тогда роботизированная машина самостоятельно будет принимать решения к действию в соответствии с анализируемой информацией. К тому же появляется ряд полезных

функций, предоставляемых информационными системами, для мониторинга использования горной техники, таких как: диспетчеризация и сбор данных о ключевых параметрах функционирования машин для согласования ритмичности работы всего сложного комплекса оборудования горного предприятия; системы прогнозирования выхода из строя элементов горного оборудования для снижения расходов на ремонт и эксплуатацию техники; системы динамического взвешивания для строго учета количества погруженной массы и многие другие системы, отвечающие за расход ресурсов и безопасность.

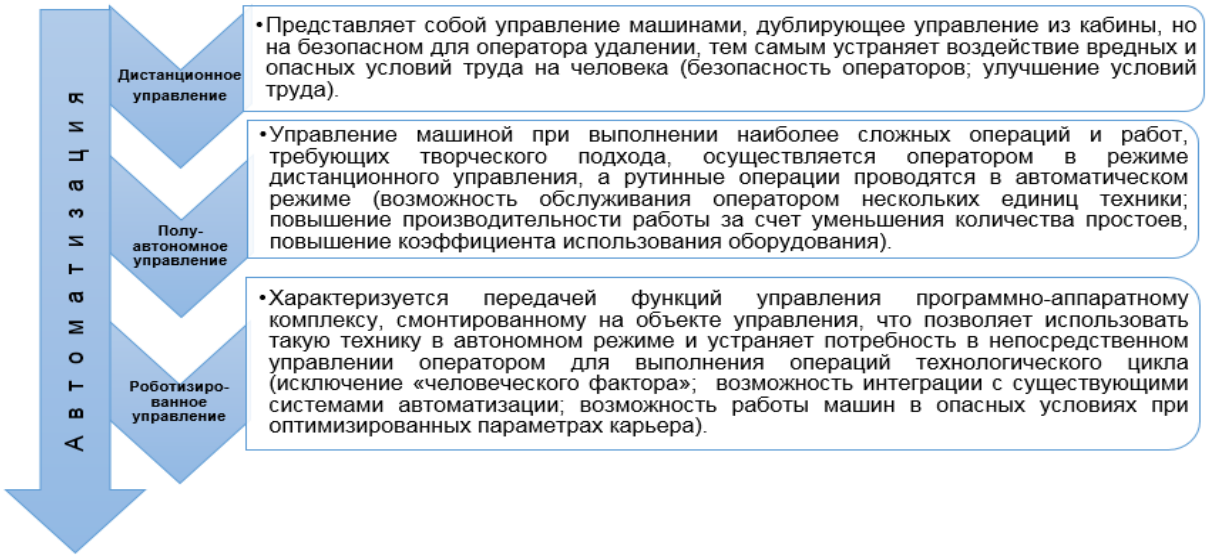
Увеличение стоимости оборудования при переориентации на дистанционно управляемые или автономные машины быстро компенсируется увеличением их производительности. Отмечается, что средняя скорость у автономных самосвалов намного выше, чем у машин, управляемых человеком [7]. Кроме того, уменьшается количество несчастных случаев, а производственные травмы и профессиональные заболевания исключаются. Время простоя оборудования из-за загазованности или запыленности воздуха сводится к минимуму, так как в рабочем пространстве не будет людей.

Добыча полезных ископаемых в промышленно развитых странах сейчас находится на стадии перехода к автоматизированной добыче, в то время как в странах третьего мира, где затраты на рабочую силу относительно невелики, потребность в повышении эффективности остается низкой.

На сегодняшний день крупнейшими мировыми производителями горно-шахтного и карьерного оборудования накоплен значительный опыт создания и эксплуатации горнотранспортных комплексов с частичным роботизированным управлением, при этом выполнение самых сложных операций находится в ведении оператора в ручном режиме, а монотонный труд отдан автоматике. Таким образом, можно представить развитие уровня автоматизации в зависимости от объема человеческого участия в процессе управления горными машинами в виде трех основных этапов: дистанционное управление (дублирующее управление на безопасном для оператора удалении); комбинированное (управление машиной при выполнении наиболее сложных операций и работ, требующих творческого подхода, которое осуществляется оператором в режиме дистанционного управления, при этом рутинные операции осуществляются в автоматическом режиме); полностью роботизированное (позволяет использовать технику в полностью автономном режиме, под управлением программно-аппаратного комплекса, лишенного потребности в непосредственном участии оператора для выполнения операций технологического цикла) (рисунок).

Нередко возникают опасения, что повсеместное внедрение систем автоматизации добычи полезных ископаемых приведет к сокращению числа рабочих мест. Но в целом это не оправдано: хоть некоторые специальности и могут стать ненужными (это в первую очередь относится к выполнению работы в опасных и антисанитарных условиях или к выполнению тяжелой и/или монотонной работы), автоматизация приведет к созданию новых рабочих мест, поскольку остается потребность в высококвалифицированном ремонтном персонале непосредственно на горнодобывающем предприятии. Также сохраняется невозможность полной автоматизации сложных технологических процессов (например, селективной выемки, действий в нестандартных ситуациях), поэтому для предприятий с большим количеством таких операций количество персонала будет только увеличиваться [12].

ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463



Виды удаленного управления по степени автоматизации в зависимости от объема человеческого участия
Types of remote control according to the automation degree depending on the amount of human participation

Для производителей горного, горно-транспортного и вспомогательного оборудования основной целью должно стать создание автономных «умных» машин, которые позволят полностью вывести людей из опасных рабочих процессов горного производства [8].

Наше видение решения поставленной задачи заключается в предложении поэтапного плана проработки вопросов организации производства и внедрения самых современных наработок мирового уровня на предприятиях-изготовителях горного оборудования.

Основные этапы и необходимые виды работ по созданию высокотехнологичного производства и внедрению высокой технологии должны включать следующее: проведение исследования рынка ГШО с целью обоснования модельного ряда; анализ конструкции производимого ГШО; подготовка перечня деталей и узлов, подлежащих доработке и повторной разработке; изготовление базовых агрегатов и опытных образцов разрабатываемого ГШО; моделирование и выполнение расчетов разрабатываемого ГШО; проведение испытаний опытных образцов и системы дистанционного управления разрабатываемого ГШО согласно программам и методикам исследовательских испытаний; разработка технологических рекомендаций по применению разрабатываемого ГШО и пр.

Реализация данного проекта будет способствовать: созданию нового импортонезависимого наукоемкого ГШО с системой дистанционного управления; исключению опасного радиационного воздействия на операторов ГШО при добыче полезного ископаемого шахтным методом за счет дистанционного управления ГШО; развитию современного уровня производства ГШО и повышению производительности труда, повышению научно-технического, производственно-технологического и кадрового потенциала на заводах-изготовителях, а также усилению конкурентоспособности производства; развитию и укреплению научно-исследовательского потенциала ИРНИТУ, его материально-технической и интеллектуальной базы, используемой при выполнении научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы в рамках проекта, а результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологиче-

ских работ будут способствовать подготовке специалистов в области современного машиностроения и рационального недропользования.

Заключение

Решение проблемы защиты персонала от негативного воздействия производственных факторов, а также повышение производительности горнодобывающих предприятий возможно за счет внедрения автоматизированных систем добычи полезного ископаемого. В мире накоплен положительный опыт создания и применения технологий безлюдной выемки полезного ископаемого: как с использованием отдельных элементов дистанционного управления, так и полностью автоматизированного производства. Предложенный поэтапный план создания высокотехнологичного производства позволит отечественным горно-машиностроительным предприятиям расширить линейку выпускаемого ГШО, соответствующего современным мировым требованиям к безопасности и технологичности.

Библиографический список

1. Дистанционно-автоматизированное управление машинами // Горная промышленность. 2004. № 4 [Электронный ресурс]. URL: https://mining-media.ru/ru/article/gorobor/1378-distantsionno-avtomatizirovannoe-upravlenie-mashinami (19.08.2018).

2. Алексеев О.Н. Перспективы развития горного машиностроения в ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 3. С. 253–255.

3. Овсейчук В.А., Алексеев О.Н. Разработка отечественной дешевой узкозахватной электрогидравлической погрузодоставочной машины для отработки маломощных рудных тел // Вестник Читинского государственного университета. 2009. № 2 (53). С. 39–43.

4. Шурыгин С.В., Белоусов А.С., Алексеев О.Н. Совершенствование системы разработки сложно-структурных рудных тел на урановых рудниках ОАО «ППГХО» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 7. С. 22–25.

5. Овсейчук В.А., Алексеев О.Н. Предохранение горнорабочего очистного забоя от радиоактивного облучения при разработке урановых месторождений // Вестник Читинского государственного университета. 2009. № 3 (54). С. 19–24.

6. Алексеев О.Н. Оценка радиационной безопасности при добыче урановых руд на рудниках ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» // Вестник Читинского государственного университета. 2009. № 1 (52). С. 8–11.

7. Решетняк С.П. Дистанционно управляемое и автономное горное оборудование // Горная техника 2012: каталог-справочник. Вып. 2 (10). СПб.: Славутич, 2012. С. 46–50.

8. Решетняк С.П. Актуальные направления развития методов проектирования горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. 2015. № 3 (121) [Электронный ресурс]. URL: https://mining-media.ru/ru/article/newtech/8822-aktualnye-napravleniya-razvitiya-metodov-proektirovaniya-gornodobyvayushchikh-predpriyatij (08.09.2018).

9. Cooper P. Automation & Remote Mining // International Mining [Электронный ресурс]. URL: https://im-mining.com/2012/01/01/automation-remote-mining/ (12.08.2018).

10. Smith B. Automation for mining in remote locations // AZoMining [Электронный ресурс]. URL: https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1349 (14.08.2018).

11. Лисенков А.А., Куандыков А.А., Букейханова С., Лысенко С.Б. Интеллектуализация систем проектирования, управления и функционирования горного производства // Горная Промышленность. 2017. № 6 (136). С. 88–91.

12. Журавлев А.Г. Тенденции развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 164–175. [Электронный ресурс]. URL: https://trud.igduran.ru/edition/3 (22.08.2018).

References

1. Automated remote control of machines. *Gornaya Promyshlennost'* [Mining Industry], 2004, no. 4. Available at: https://mining-media.ru/ru/article/gorobor/1378-distantsionno-avtomatizirovannoe-upravlenie-mashinami (accessed 19 August 2018).

ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463

2. Alekseev O.N. Development prospects of mining machine-building in the "Priargun Production and Mining and Chemical Association" OJSC. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2013, no. 3, pp. 253–255. (In Russ.).

3. Ovseichuk V.A., Alekseev O.N. Development of domestic cheap narrow-cut electrohydraulic loader for shallow ore bodies. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Chita State University Bulletin], 2009, no. 2 (53), pp. 39–43. (In Russ.).

4. Shurygin S.V., Belousov A.S., Alekseev O.N. Improving the complex-structure ore body mining method in uranium mines of "Priargun Mining and Chemical Production Association" OJSC. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2013, no. 7, pp. 22–25. (In Russ.).

5. Ovseichuk V.A., Alekseev O.N. Stope protection from radioactive radiation under development of uranium deposits. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Chita State University Bulletin], 2009, no. 3 (54), pp. 19–24. (In Russ.).

6. Alekseev O.N. Radiation safety evaluation under uranium ore mining on the mines of "Priargun Mining and Chemical Production Association" OJSC. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Chita State University Bulletin], 2009, no. 1 (52), pp. 8–11. (In Russ.).

7. Reshetnyak S.P. *Distantsionno upravlyaemoe i avtonomnoe gornoe oborudovanie* [Remotely controlled and autonomous mining equipment]. *Gornaya tekhnika 2012* [Mining equipment 2012]. Iss. 2 (10). Saint-Petersburg: Slavutich, 2012, pp. 46–50. (In Russ.).

8. Reshetnyak S.P. Relevant development directions of mining enterprise design methods. *Gornaya promyshlennost'* [Mining Industry], 2015, no. 3 (121). Available at: https://mining-media.ru/ru/article/newtech/8822-aktualnye-napravleniya-razvitiya-metodov-proektirovaniya-gornodobyvayushchikh-predpriyatij (accessed 8 September 2018).

9. Cooper P. Automation & Remote Mining. International Mining. Available at: https://im-mining.com/2012/01/01/automation-remote-mining/ (accessed 12 August 2018).

10. Smith B. Automation for mining in remote locations. AZoMining. Available at: https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1349 (accessed 14 August 2018).

11. Lisenkov A.A., Kuandykov A.A., Bukeikhanova S., Lysenko S.B. Intellectualization of mine design, planning, control and operation systems. *Gornaya Promyshlennost'* [Mining Industry], 2017, no. 6 (136), pp. 88–91. (In Russ.).

12. Zhuravlev A.G. Tendencies of open pit transport systems progress employing robotic machines. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use], 2014, no. 3, pp. 164–175. Available at: https://trud.igduran.ru/edition/3 (accessed 22 August 2018).

Критерии авторства

Шевченко А.Н., Храмовских В.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

Шевченко Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и электромеханических систем, директор Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Российская Федерация; *e-mail: shan@istu.edu*

Храмовских Виталий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и электромеханических систем Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Российская Федерация; *e-mail: wax@istu.edu*

Authorship criteria

Aleksei N. Shevchenko, Vitaly A. Khramovskykh have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Information about the authors

Aleksei N. Shevchenko, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining Machinery and Electromechanical Systems, Director of the Institute of Subsoil Use of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; *e-mail: shan@istu.edu*

Vitaly A. Khramovskykh, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining Machinery and Electromechanical Systems of the Institute of Subsoil Use of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; *e-mail: wax@istu.edu*