

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А. Е. Карванен^{1✉}, А. Н. Анушенков², С. В. Анушенков³

¹ООО «Заполярная строительная компания», г. Норильск, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

³АО «Сибирь-Полиметаллы», г. Рубцовск, Российская Федерация

✉ lex19-88@mail.ru

Аннотация. В современных условиях горнодобывающая промышленность сталкивается с такими вызовами, как рост требований к безопасности труда, повышение производительности и оптимизация затрат. В этой связи автоматизация и роботизация горнопроходческих работ представляют собой перспективное решение этих задач. Рассмотрены различные виды автоматизации от существующих программных продуктов до промышленного оборудования и автоматизированных систем, позволяющих специалистам контролировать разные процессы в подземных горных выработках. Представлен обзор лидирующих мировых компаний, которые производят различные системы автоматизации для подземных горных работ. Подчеркивается, что необходимо тщательно изучать как преимущества, так и риски автоматизации, чтобы принять обоснованное решение о ее внедрении.

Ключевые слова: автоматизация, роботизация, безопасность, производительность, горнопроходческие работы, подземные горные выработки

Для цитирования: Карванен АЕ, Анушенков АН, Анушенков СВ. Анализ влияния автоматизации на безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):92-96. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-92-96>.

ANALYZING THE IMPACT OF AUTOMATION ON SAFETY AND PRODUCTIVITY IN THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND MINE WORKINGS

A. E. Karvanen^{1✉}, A. N. Anushenkov², S. V. Anushenkov³

¹Polar Construction Company, LLC, Norilsk, Russian Federation

²Siberian Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk, Russian Federation

³Siberia-Polymetals, JSC, Rubtsovsk, Russian Federation

✉ lex19-88@mail.ru

Abstract. In today's environment, the mining industry is facing challenges such as increasing requirements for work safety, increasing productivity and optimizing costs. In this regard, automation and robotization of mining operations represent a promising solution to these challenges. The paper considers different types of automation - from existing software products, to industrial equipment and automated systems that allow specialists to control different processes in underground mine workings. In addition, the paper provides an overview of the world's leading companies that produce various automation systems for underground mining operations. The paper emphasizes that it is necessary to carefully study both the benefits and risks of automation in order to make an informed decision about its implementation.

Keywords: automation, robotization, safety, productivity, mining operations, underground mine workings

For citation: Karvanen AE, Anushenkov AN, Anushenkov SV. Analyzing the impact of automation on safety and productivity in the construction of underground mine workings. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):92-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-92-96>.

Введение

На сегодняшний день горнодобывающая промышленность является одной из важнейших отраслей экономики любого государства [1, 2]. Вместе с тем она также является и одной из наиболее опасных отраслей. Уровень травматизма и гибели шахтеров остается высоким, что обусловлено в первую очередь тяжелыми и опасными условиями труда [3, 4].

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является автоматизация и роботизация горнопроходческих работ [5–8].

Полностью автоматизированные комплексы позволяют исключить рабочий персонал из опасных зон, повысить точность и качество выполнения работ, а также оптимизировать технологические процессы.

Цель исследования: провести комплексный анализ влияния автоматизации и роботизации на безопасность и производительность работ при проходке подземных горных выработок.

Методология

Представленная работа основана на анализе актуальной научно-технической информации в виде научных работ, статистических сборников (World Mining Data, Mining Risk Review), информационно-аналитических порталов (investing.com, companiesmarketcap.com, mining-technology.com), сайтов горнодобывающих компаний.

Результаты и обсуждение

Строительство подземных горных выработок является одним из наиболее опасных видов производственной деятельности. Горнорабочие постоянно подвергаются воздействию различных факторов риска, таких как обрушение породы, взрывы скопления газов, профессиональные заболевания (силикоз, вибрационная болезнь и др.). Эти опасности приводят к значительному количеству несчастных случаев, а также снижению производительности труда.

В последние годы автоматизация становится все более распространенным явлением в горнодобывающей промышленности. Автоматизированные системы используются для выполнения таких задач, как управление буровыми установками, транспортировка материалов и погрузка горной массы. Автоматизация может потенциально повысить безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок:

- за счет снижения воздействия на работников опасных факторов;
- повышения точности и эффективности выполнения работ;
- снижения утомляемости и ошибок работников.

В настоящее время уровень автоматизации горных работ в подземных условиях постоянно возрастает. Ниже представлен анализ влияния автоматизации на безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок. Рассмотрены крупнейшие разработчики и производители технологий и оборудования по автоматизации, позволяющие максимизировать безопасность и производительность труда.

Наиболее распространены следующие виды автоматизации производственных процессов:

1. Системы мониторинга горного массива – позволяют

прогнозировать горно-геологические опасности и принимать меры по их предотвращению. К данным системам могут относиться геодезические (для контроля деформаций и смещений горного массива), геофизические методы (контроль напряженно-деформируемого состояния массива), системы газового контроля (газоанализаторы и системы сигнализации), системы контроля крепи (например, датчики деформации крепи) и т. д. [9–12].

Данные системы мониторинга включают в себя различные методы и технологии, которые используются на предприятиях по всему миру (табл. 1).

Помимо рассмотренных систем, на предприятии может использоваться визуальный контроль в виде видеонаблюдения определенных участков (такие услуги, например, предоставляют шведская компания Axis Communications, китайская компания Hikvision, немецкая Mobotix AG и др.).

2. *Проектирование буровзрывных работ* – позволяет оптимизировать расположение и параметры взрывных шпуров (скважин), что в свою очередь приводит к более эффективному разрушению горного массива, снижению расхода взрывчатых материалов и, как следствие, повышению безопасности работ. В настоящее время существует большое количество автоматизированных программных продуктов и встраиваемых модулей для проектирования параметров буровзрывных работ (BlastMaker Underground, Datamine, Micromine, K-Mine, KAZBLAST UNDER, I-blast Ultimate и др.), которые помогают проектировщикам в достижении этих результатов [13].

3. *Автоматизация процессов бурения взрывных шпуров (скважин)* – обеспечивает высокую точность бурения, что в конечном счете повышает качество буровзрывных работ. В системе самоходных буровых установок оптимизируется скорость бурения, подача бурового раствора и других основных параметров, что в сравнении с ручным способом бурения является более производительным и безопасным [14].

Лидирующие компании, разрабатывающие современные буровые установки, представлены в таблице 2.

Таким образом, современные системы автоматизации бурения для подземных горных работ значительно повышают точность и производительность буровых операций. Такие установки, как Epiroc Boomer S2, Sandvik DD422i и Atlas Copco Simba E7, оснащены передовыми системами автоматического управления и мониторинга, что позволяет улучшить качество буровзрывных работ и обеспечить безопасность работников. Внедрение этих технологий на подземных рудниках по всему миру демонстрирует их эффективность и преимущества по сравнению с традиционными методами бурения.

4. *Автоматизация процессов отгрузки отбитой горной массы* – направлена на оптимизацию и повышение эффективности процесса транспортировки горной массы [15]. К данной категории относятся системы GPS-навигации, системы управления маршрутами, системы автоматической загрузки и разгрузки погрузочно-доставочных машин, системы управления скоростью и направлением движения конвейерных лент, системы управления дробилками, грохотами, и многое другое.

Краткий обзор лидирующих фирм по выпуску систем автоматизации отгрузки отбитой горной массы представлен в таблице 3.

Таблица 1 / Table 1

Основные существующие системы мониторинга горного массива / Main existing systems for monitoring the rock massif

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Leica Geosystems, Швейцария	Leica Nova MS60 MultiStation – сочетает в себе функции тахеометра и сканера, обеспечивает высокоточный мониторинг с точностью до миллиметра	Широко используются на рудниках и угольных шахтах для контроля деформаций и смещений горного массива. Активно используется на рудниках Канады и Австралии
Trimble, США	Trimble S9 – высокоточный роботизированный тахеометр, используемый для мониторинга деформаций	Используется на крупных рудниках в Северной Америке и Австралии
Topcon Corporation, Япония	Topcon MS AXII – высокоточный роботизированный тахеометр с точностью измерения углов $\pm 0,5$	Используется на рудниках в Европе и Азии для контроля стабильности подземных выработок
Geosense Ltd, Великобритания	Geosense MPBX (Multipoint Borehole Extensometers) – многоточечные измерители деформаций для контроля изменений в подземных горных выработках	Используются на рудниках в Европе и Северной Америке для оценки стабильности горных выработок
Solexperts AG, Швейцария	Solexperts Multi-Point Borehole Extensometer (MPBX) – многоточечные измерители смещений для контроля за состоянием горных выработок	Используются на крупных подземных рудниках и при строительстве туннелей в Альпах
China Southwest Instrument Co., Ltd, Китай	SWSL-S Smart Weighing Sensor Load Cell – датчики нагрузки для измерения деформаций в креплениях	Используются на подземных рудниках в Китае и других странах Азии для мониторинга состояния крепи и предотвращения аварий
Becker Mining Systems, Германия	Becker Mining SMARTsense® – система датчиков деформации для мониторинга состояния крепи и прогнозирования ее обрушения	Используются на шахтах в США и Канаде, обеспечивая высокую степень безопасности и контроля
Drägerwerk AG & Co. KGaA, Германия	Dräger X-am 8000 – многоканальный портативный газоанализатор, способный одновременно контролировать до 7 газов, со встроенной системой GPS для отслеживания местоположения и передачи данных в реальном времени	Применяется на угольных шахтах Германии, Польши и Китая для предотвращения взрывов метана и контроля содержания других опасных газов

Таблица 2 / Table 2

Основные существующие системы автоматизации процессов бурения в подземных горных выработках / Main existing systems for automation of drilling processes in underground mine workings

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Epiroc, Швеция	Epiroc Boomer S2 – самоходная буровая установка с двумя стрелами, автоматизированное управление бурением, система телеметрии	Эти и другие системы активно внедряются на различных подземных рудниках по всему миру. Например, данные буровые машины используются на рудниках в Австралии, Канаде, Чили, Финляндии, Швеции, Южной Африке, Норвегии, Канаде, России и многих других странах, предлагая передовые функции автоматического бурения и удаленного управления
Sandvik, Швеция	Sandvik DD422i – самоходная буровая установка с двумя стрелами, системой автоматического позиционирования и бурения, интегрированная с программным обеспечением	
Atlas Copco, Швеция	Atlas Copco Simba E7 – электрогидравлическая буровая установка, система автоматического бурения и мониторинга, удаленное управление	
Boart Longyear, США	Boart Longyear StopeMaster – самоходная буровая установка для подземного бурения, автоматизация подачи и управления буром	
Shandong Lingong Construction Machinery Co., Ltd., Китай	Lingong Drilling Rig LGMRT – буровая установка с автоматическим управлением, система контроля параметров бурения, телеметрия	

Таблица 3 / Table 3

Основные существующие системы автоматизации процессов отгрузки отбитой горной массы / Main existing systems of automation of the processes of shipment of broken-off rock mass

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Siemens, Германия	Siemens MineOptimize – включает в себя системы мониторинга и управления конвейерными лентами, автоматизированные системы загрузки и разгрузки, а также интегрированные системы GPS-навигации для оптимизации маршрутов	Активно внедряются на различных рудниках по всему миру, обеспечивая эффективность и безопасность производства работ
ABB, Швейцария	ABB Ability™ Operations Management System – система управления и оптимизации производственными процессами, включая отгрузку горной массы	
Rockwell Automation, США	Rockwell Automation MineSuite – предоставляет широкий спектр функций, включая системы автоматической загрузки и разгрузки, управление скоростью и направлением движения конвейерных лент, а также интегрированные системы мониторинга и управления производственными процессами	
Schneider Electric, Франция	Schneider Electric EcoStruxure™ for Mining – интегрированная система управления и мониторинга с возможностью автоматизации	
Emerson, США	Emerson Mine Fleet Management System – система управления транспортным оборудованием и мониторинга производственных процессов	

Рассмотренные системы автоматизации отгрузки отбитой горной массы предоставляют комплексные решения для оптимизации процессов транспортировки на подземных горных предприятиях. Их внедрение помогает снизить затраты, повысить эффективность и обеспечить безопасность работ на рудниках и шахтах.

Эти и другие виды автоматизации производственных процессов играют одну из ключевых ролей в горной промышленности, поскольку отвечают таким современным вызовам, как:

- **экономическая эффективность** – возможность снижения себестоимости строительства за счет более детального расчета используемых материалов, оборудования и т. д.;

- **снижение негативного воздействия на окружающую среду** – современное оборудование разрабатывается с учетом необходимости снижения углеродного следа, что улучшает экологическую обстановку в районе строительства, а также приводит к снижению потребления воды, энергии и других ресурсов, что в совокупности положительно влияет на окружающую среду;

- **социальные аспекты производства** – автоматизация заменяет людей на потенциально опасных работах, тем самым снижая риски травматизма, плюс ко всему данная активно развивающаяся индустрия требует квалифицированных кадров, что в перспективе создает новые рабочие места.

Важно отметить, что автоматизация и роботизация процессов не должны рассматриваться как замена человеческому труду, поскольку на данном этапе развития науки и техники данные технологии должны использоваться лишь для повышения безопасности, производительности и эффективности работ. Также необходимо помнить, что автоматизированные системы могут быть уязвимы к сбоям, что может привести к авариям.

Заключение

1. Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что внедрение автоматизации на любой стадии разработки месторождения от проектирования до непосредственных работ по извлечению полезного ископаемого оказывает положительное влияние на скорость выполнения работ, безопасность труда рабочих и повышение уровня производительности оборудования.

2. Внедрение автономных комплексов и современного программного обеспечения позволяет снизить уровень травматизма, повысить производительность труда и сократить расходы на содержание персонала.

3. Для эффективного внедрения таких современных технологий необходимо решить ряд первоочередных задач:

- наличия существенного стартового капитала (обеспечение финансирования);
- подготовки квалифицированных кадров для работы и дальнейшего обслуживания закупленного оборудования или программных продуктов;
- постоянного совершенствования системы управления.

Оптимизация технологических процессов за счет использования автоматизированных систем проектирования, управления и контроля приводит к сокращению времени простоев и увеличению скорости принятия ключевых решений.

Выводы

1. В статье приведены результаты комплексного анализа влияния автоматизации и роботизации на безопасность и производительность работ при проходке подземных горных выработок.

2. Показано, что автоматизация производственных процессов позволит значительно повысить безопасность и производительность труда при строительстве подземных горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кирсанов А.К. Роль стран Центральной Азии в мировой горнодобывающей промышленности: монография. Красноярск, 2022:220. [Kirsanov A.K. The Central Asian States' Role In The World Mining Industry: monograph. Krasnoyarsk, 2022:220 (In Russ.)]
2. Кондратьев В.Б. Роль горной промышленности в экономике. *Горная промышленность*. 2017;1(131):4-13. [Kondratiev V.B. The role of the mining industry in the economy. *Mining Industry*. 2017;1(131):4-13 (In Russ.)]
3. Вяльцев В.М., Меркулов А.В. К вопросу снижения травматизма шахтеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;3:191. [Vyaltsev V.M., Merkulov A.V. To the issue of reducing miners' traumatism. *Mining information-analytical bulletin*. 2000;3:191 (In Russ.)]
4. Пустовит А.Е., Козлов В.И. Прогнозирование травматизма среди шахтеров посредством анализа рисков травмирования. *Сиббезопасность-Спасиб*. 2013;1:234-8. [Pustovit A.E., Kozlov V.I. Prediction of injury rate among miners by analyzing injury risks. *Sibbezopasnost-Spassib*. 2013;1:234-8 (In Russ.)]
5. Опарин В.Н., Тапсиев А.П., Русин Е.П. и др. Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках: монография. Новосибирск, 2007: 97 [Oparin V.N., Tapsiev A.P., Rusin E.P., et al. World experience of mining automation in underground mines: a monograph. Novosibirsk, 2007:97 (In Russ.)]
6. Громов Е.В. Цифровая трансформация технологических процессов подземных горных работ: ретроспективный анализ и мировой опыт. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020;8:90-108. [Gromov E.V. Digital transformation of technological processes in underground mining: retrospective analysis and world experience. *News of higher educational institutions. Mining magazine*. 2020;8:90-108. (In Russ.)]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-90-108.
7. Яценко С.Н., Яценко М.А., Николайчук Н.А. Применение системы автоматизации в добычных процессах на подземных горнорудных предприятиях. *International Scientific Review*. 2016;20(30):23-6. [Yatsenko S.N., Yatsenko M.A., Nikolaychuk N.A. Application of automation systems in mining processes at underground mining enterprises. *International Scientific Review*. 2016;20(30):23-6. (In Russ.)]
8. Лаптев В.В., Звонарева С.В. Расчет параметров транспортирования горной массы при автоматизированном планировании подземных горных работ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;2:70-80. [Laptev V.V., Zvonareva S.V. Calculation of parameters for transporting rock mass during automated planning of underground mining. *Mining information and analytical bulletin*. 2022;2:70-80 (In Russ.)]. DOI 10.25018/0236_1493_2022_2_0_70.
9. Давкаев К.С., Ляховец М.В., Гулевич Т.М. и др. Автоматизированный информационно-управляющий комплекс гидро-газовых эндогенных шахтных процессов. *Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов*. 2017;3:321-6. [Davkaev K.S., Lyakhovets M.V., Gulevich T.M., et al. Automated information and control complex of hydro-gas endogenous mine processes. *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources*. 2017;3:321-6. (In Russ.)]

10. Kirsanov AK, Karvanen AE, Anushenkov SV. A review of the methods of mine support protection from the effect of different types of corrosion. *News of higher educational institutions. Mining magazine*. 2023;4:9-15. DOI 10.21440/0536-1028-2023-4-9-15.
11. Коста ЭС, Матильде М, Фалькэо Невес П. Система мониторинга и управления горными работами при подземной добыче мрамора. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2008;1:101-10. [Costa ES, Matilde M, Falcao P Neves. Monitoring and management system for mining operations during underground marble mining. *Physico-technical problems of mineral development*. 2008;1:101-10 (In Russ.)]
12. Смирняков ВВ. Обучение методам безопасного ведения работ в подземных условиях с использованием многофункциональных систем безопасности. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015;6-3:74-6. [Smirnyakov VV. Training in methods of safe work in underground conditions using multifunctional safety systems. *Current problems of the humanities and natural sciences*. 2015;6-3:74-6. (In Russ.)]
13. Кирсанов АК. Анализ программных продуктов для проектирования буровзрывных работ при отработке месторождений подземным способом. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;2:249-59. [Kirsanov AK. Analysis of software products for the design of drilling and blasting operations during underground mining. *News of Tula State University. Geosciences*. 2023. No. 2. pp. 249-259. (In Russ.)]
14. Русин ЕП, Фрейдин АМ, Тапсиев АП. Об автоматизации добычных процессов на подземных горнорудных предприятиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007;16:235-44. [Rusin EP, Freidin AM, Tapsiev A.P. On the automation of mining processes at underground mining enterprises. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2007;16:235-44. (In Russ.)]
15. Павленко СВ, Котов АА. Система дистанционного управления погрузочно-доставочной машиной при поэтажном торцевом выпуске руды на подземном руднике «Удачный». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;7/6:3-10. [Pavlenko SV, Kotov AA. The system of remote control of the loading and delivery machine at the underground end ore release at the Udachny underground mine. *Mining information and analytical bulletin*. 2022;7/6:3-10 (In Russ.)]. DOI 10.25018/0236_1493_2022_7_6_3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS



Алексей Евгеньевич Карванен –
заместитель главного инженера по
механизации и оборудованию ООО «Заполярная
строительная компания», 663310, г. Норильск,
Российская Федерация, e-mail: lex19-88@mail.ru

Aleksey E. Karvanen –
Deputy Chief Engineer for Mechanization and
Equipment, Polar Construction Company, LLC,
663310, Norilsk, Russian Federation,
e-mail: lex19-88@mail.ru



Александр Николаевич Анушенков –
д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Aleksandr N. Anushenkov –
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal
University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru



Сергей Викторович Анушенков –
главный механик АО «Сибирь-Полиметаллы»,
658210, Алтайский край, г. Рубцовск, Россий-
ская Федерация. e-mail: s.anushenkov@mail.ru

Sergey V. Anushenkov –
Chief Mechanical Engineer, Siberia-Polymetals,
JSC, 658210, Rubtsovsk, Altai Territory, Russian
Federation, e-mail: s.anushenkov@mail.ru

Критерии авторства / Contribution: Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.01.2025.

Поступила после рецензирования: 07.03.2025.

Принята к публикации: 24.03.2025.

Article info

Received: 20.01.2025.

Revised: 07.03.2025.

Accepted: 24.03.2025.