

# РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ MINING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 65.011.56

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-2-5-12



## О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ РОБОТИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Азев В.А.<sup>1</sup>, Гартман А.А.<sup>1</sup>, Хажиев В.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>ООО «СУЭК-Хакасия», Черногорск, Россия<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, Челябинск, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** Подход к четвертой промышленной революции затрагивает все сферы человеческой деятельности и на сегодняшний день в мировой и российской практике важное направление в развитии получила технология роботизации. Не исключение и угледобывающая отрасль России, где роботизация начала применяться в автомобильном транспорте. Полученный опыт открытой угледобычи пологопадающих месторождений в условиях роботизации автомобильного транспорта ООО «СУЭК-Хакасия» позволяет произвести оценку результатов и осуществить обоснование рациональных параметров применения этой технологии. **Цель исследования.** Повышение эксплуатационной скорости роботизированного автомобильного транспорта при открытой угледобыче пологопадающих месторождений за счет выбора и обоснования рациональных технологических параметров разреза. **Используемые методы.** Для исследования используется метод хронометражных наблюдений, аналитических расчетов, имитационного моделирования и факторного анализа. **Новизна.** Для технологии открытой угледобычи пологопадающих месторождений обоснованы пять категорий качества условий эксплуатации роботизированного автомобильного транспорта. Переход от первой категории на пятую позволит повысить эксплуатационную скорость автосамосвалов до 5 раз и снизить себестоимость работ до 1,5 раза. **Результат.** Оценка результатов открытой угледобычи пологопадающего месторождения при роботизации автомобильного транспорта в ООО «СУЭК-Хакасия» позволила выявить, что достигнутые во время опытно-промышленной эксплуатации роботизированного автотранспорта значения показателей эффективности использования этих машин были значительно ниже, чем целевые. Применение факторного анализа дало возможность определить фактические технологические параметры работы роботизированного автотранспорта; формируемые на основе зарубежного опыта отработки месторождений с углубочными и смешанными системами разработки не позволяют достигать целевых показателей эффективности использования этих машин при отработке пологопадающих месторождений. Обоснованные параметры категорий качества условий эксплуатации роботизированного автомобильного транспорта при отработке пологопадающих месторождений дают основания для обоснованного влияния на качество условий работы, повышение эксплуатационной скорости транспорта, а также возможность сформировать основу для достижения значений всех целевых показателей эффективности осваиваемой технологии.

**Ключевые слова:** роботизация, автомобильный транспорт, технологические параметры, качество условий эксплуатации.

© Азев В.А., Гартман А.А., Хажиев В.А., 2022

### Для цитирования

Азев В.А., Гартман А.А., Хажиев В.А. О технологических параметрах открытой угледобычи пологопадающих месторождений при роботизации автомобильного транспорта // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №2. С. 5–12. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-2-5-12>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# TECHNOLOGY PARAMETERS OF OPEN-PIT COAL MINING OF FLAT DIPPING DEPOSITS USING ROBOTIZATION OF ROAD TRANSPORT

Azev V.A.<sup>1</sup>, Gartman A.A.<sup>1</sup>, Khazhiev V.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SUEK-Khakassia LLC, Chernogorsk, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Efficiency and Safety of Mining, Chelyabinsk, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** The approach to the fourth industrial revolution has effect on all spheres of human activity. Today, robotization gains an area for development in Russian and global practice. The coal mining industry in Russia is no exception, where robotization has begun to be used in road transport. The experience gained in open-pit coal mining of gently dipping deposits with the robotization of road transport at SUEK-Khakassia LLC allows us to evaluate the results and substantiate the rational parameters of this technology. **Objectives.** The study involves the selection and substantiation of rational process parameters to increase the operational speed of robotic road transport in open-pit coal mining of gently dipping deposits. **Methods Applied.** To carry out the study, the method of time studies, analytical calculations, simulation modeling and a factor analysis is used. **Originality.** Regarding the technology of open-pit coal mining of gently dipping deposits, five categories of the quality of the operating conditions of robotic road transport are substantiated. The transition from the first category to the fifth one will increase the operating speed of dump trucks up to 5 times and decrease cost of operation by 1.5 times. **Result.** Evaluation of the results of open-pit coal mining at a gently dipping deposit with robotization of road transport at SUEK-Khakassia LLC made it possible to reveal that the values of efficiency indicators for the use of these machines achieved during the pilot operation of robotic vehicles were significantly lower than the target ones. The factor analysis has showed that the actual process operation parameters of robotic road transport determined by foreign experience in mining deposits with sinking and mixed development systems do not achieve the target indicators for efficiency of using such machines for gently dipping deposits. The justified parameters of the quality categories of the robotic road transport operating conditions for gently dipping deposits contribute to changes in the quality of operating conditions, an increase in the operational speed of such road transport, and set the basis for achieving the values of all target indicators of efficiency of the technology being mastered.

**Keywords:** robotization, road transport, technology parameters, quality of operating conditions.

## For citation

Azev V.A., Gartman A.A., Khazhiev V.A. Technology Parameters of Open-Pit Coal Mining of Flat Dipping Deposits Using Robotization of Road Transport. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 2, pp. 5–12. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-2-5-12>

## Введение

Переход к передовым цифровым технологиям и роботизированным системам является одним из приоритетов научно-технологического развития РФ на ближайшие 15 лет [1]. Не исключением при реализации такого перехода является угольная промышленность РФ, в частности предприятия открытой угледобычи.

На сегодняшний день в мировой и российской практике горнодобывающей промышленности наибольшее развитие получила технология роботизации автомобильного транспорта. Анализ мировой практики эксплуатации роботизированных карьерных автосамосвалов (175 единиц) в период с 2008 по 2019 гг. на одиннадцати горнорудных месторождениях, расположенных в Австралии, Южной и Северной Аме-

рике показал их основные преимущества по отношению к автосамосвалам, пилотируемым операторами [2–4]:

- рост производительности труда, ходимости шин и срока службы оборудования;
- снижение расхода топлива и затрат на транспортирование горной массы;
- высокая степень безопасности персонала.

Эти достоинства выявлены в основном при эксплуатации роботизированных автосамосвалов на горнорудных месторождениях с преимущественно углубочными и смешанными системами разработки. Характеристики отработки пологопадающих месторождений угля отличаются преимущественно сплошной системой разработки, при которой ширина вскрышных заходок равна ширине угольных заходок и обусловлена необходимостью поддержания требуемой скорости под-

готовки готовых запасов угля. При этом ширина угольных заходок зависит от длины фронта горных работ и должна обеспечивать требуемое доле участие угольных пластов различными качественными характеристиками в шихте, подаваемой на обогатительные фабрики и пункты переработки угля. Соответственно, пологопадающие месторождения угля характеризуются большими значениями параметров рабочих площадок, разгрузочных площадок и меньшей крутизной автомобильных съездов и делают роботизацию автомобильного транспорта на российских предприятиях открытого способа добычи угля привлекательной, особенно в условиях дефицита квалифицированных работников и ужесточения конкуренции на мировых рынках энергоносителей.

### Полученные результаты и их обсуждение

В динамично развивающейся угольной компании АО «СУЭК» рассматривается применение роботизированного автотранспорта, апробация которого осуществляется в Хакасии. С 2019 г. по настоящее время эксплуатируются два роботизированных автосамосвала БелАЗ-7513R. Значения показателей, отражающих эффективность использования роботизированного автотранспорта, полученных во время опытно-промышленной эксплуатации, были значительно ниже целевых, установленных для данного проекта (табл. 1). Значения целевых показателей эффективности эксплуатации роботизированного автотранспорта превышают в среднем на 20% значения показателей, достигаемых при традиционной технологии транспортирования.

По итогам анализа эксплуатации роботизированных автосамосвалов было определено, что неудовлетворительные значения показателей их работы во многом обусловлены создаваемыми условиями, в которых они эксплуатируются, а также значениями технологических параметров этих условий [5]. Под технологическим параметром

понимается величина показателя, определяющая состояние или условия проведения процесса. Условия эксплуатации для роботизированных автосамосвалов формировались в основном по принципу – освоение лучших условий, создаваемых для пилотируемых автосамосвалов на отечественных угледобывающих предприятиях, с учетом зарубежного опыта эксплуатации роботизированных автосамосвалов на горнорудных месторождениях с углубочными и смешанными системами разработки. В результате программное обеспечение роботизированных автосамосвалов при возникновении любых отклонений от проектных параметров осваиваемой технологии выполняло команду «стоп», что не позволило в достаточной мере использовать технический потенциал этого оборудования.

Для определения факторов, сдерживающих достижение значений целевых показателей работы роботизированных автосамосвалов, был произведен анализ структуры фонда времени роботизированного автосамосвала. Определено, что время производительной работы составляло в среднем 27% от календарного фонда времени этих машин. В структуре простоев выделены следующие группы:

- неплановые и плановые ремонты оборудования, не связанные с автоматизацией роботизированных автосамосвалов;
- взаимодействие с комплексом вспомогательного оборудования;
- организация транспортных коммуникаций;
- организация работы в забое и на отвале;
- отказы оборудования автоматизации роботизированных автосамосвалов (рис. 1).

Выделенные группы простоев позволили идентифицировать составляющие горнотехнической системы и определить ключевые показатели параметров технологии, изменение которых позволит повысить время производительной работы роботизированных автосамосвалов [6].

Таблица 1. Оценка результатов освоения роботизированного автотранспорта  
Table 1. Evaluation of robotic road transport development

Показатель	Ожидаемый результат	Фактический результат	Отклонение, разы	Причина отклонения
Количество рейсов за месяц, ед.	1586	487	↓ 3,26	Несоответствие фактических технологических параметров требуемым
Производительность, тыс. т·км/мес.	169,7	81,1	↓ 2,09	
Коэффициент использования	0,82	0,62	↓ 1,25	
Удельный расход топлива, г/т·км	95	110	↓ 1,16	
Снижение затрат на ремонты у БелАЗ 7513R относительно БелАЗ 75131	на 10%	на 4%	↓ 2,50	
Снижение численности персонала в процессе транспортирования	на 80%	на 60%	↓ 1,33	



Рис. 1. Распределение фонда времени роботизированных автосамосвалов в 2020 г.  
 Fig. 1. Distribution of the time fund of robotic dump trucks in 2020

К ключевым составляющим горнотехнической системы, существенно оказывающим влияние на время производительной работы роботизированных автосамосвалов, отнесены технологические параметры рабочих и разгрузочных площадок, транспортных коммуникаций, организация работы в забое и на отвале, транспортные коммуникации и взаимодействие с комплексом вспомогательного оборудования.

Показателями параметров исследуемой технологии, выделенных характеристик горнотехнической системы являются: ширина рабочей площадки экскаватора, ширина и конструкция разгрузочной площадки, угол постановки автосамосвала под погрузку экскаватором, качество дорожного полотна, ширина проезжей части, наличие заужений, просыпей и величина уклонов автодороги, пропускная способность информационной сети, качество покрытия связью, уровень обособленности зоны работы роботизированного автомобильного комплекса и качество организации работы со вспомогательным оборудованием.

Выделенные характеристики горнотехнической системы и показатели технологических параметров роботизированных автосамосвалов позволили осуществить имитационное моделирование, заключающееся в исследовании влияния структуры технологических параметров на результаты работы этих машин. Учитывая то, что открытая отработка пологопадающих месторождений угля обусловлена необходимостью поддержания требуемой скорости подготовки готовых запасов, в качестве ключевого показателя работы роботизированных автосамосвалов определена величина эксплуатационной скорости этих машин. Имитационное моделирование позволило в зависимости от численного значения каждого параметра технологии выделить пять категорий качества условий эксплуатации роботизированных автосамосвалов,

определяющих величину их эксплуатационной скорости (табл. 2) [7]. Под качеством условий эксплуатации роботизированных автосамосвалов понимается совокупность взаимосопоставляемых технологических параметров работы автосамосвалов, обуславливающих изменение показателей их функционирования.

Экономическое обоснование целесообразности перехода на повышенную категорию базировалось на сопоставлении экономического результата от повышения эксплуатационной скорости роботизированных автосамосвалов и затрат, обусловленных созданием более привлекательных условий эксплуатации этих машин. Расчёты дали основание утверждать, что основным показателем, обеспечивающим экономическую эффективность роботизированного автотранспорта угольного разреза, является его стабильная средняя эксплуатационная скорость. Переход от первой категории на пятую позволяет повысить эксплуатационную скорость роботизированных автосамосвалов в среднем до 5 раз – с 4 до 20 км/ч и сократить себестоимость их работы до 1,5 раза.

Благодаря обоснованию рациональных параметров открытой угледобычи пологопадающих месторождений при роботизации автомобильного транспорта удалось сформировать целенаправленную деятельность по повышению качества условий для эксплуатации этих машин. Изменение технологических параметров позволило повысить эксплуатационную скорость роботизированных автосамосвалов в 2,6 раза (рис. 2).

На основании обобщения результатов проведенного исследования по повышению эксплуатационной скорости роботизированных автосамосвалов разработана схема формирования и освоения технологических параметров открытой угледобычи при роботизации автомобильного транспорта, приведенная на рис. 3.

Таблица 2. Технологические параметры открытой угледобычи при роботизации автомобильного комплекса в составе двух единиц автосамосвалов БелАЗ-7513R  
 Table 2. Technology parameters of open-pit coal mining with the robotic road transport complex, consisting of 2 dump trucks, BelAZ-7513R

Составляющие горнотехнической системы	Показатель технологических параметров	Ед. изм.	Категория качества условий эксплуатации				
			I	II	III	IV	V
Организация работы в забое и на отвале	Ширина рабочей площадки экскаватора	м	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
	Ширина разгрузочной площадки	м	20-30	40-80	80-100	100-150	150-200
	Конструкция разгрузочной площадки		Однозонная	Однозонная	Двухзонная	Двухзонная	Трехзонная
	Угол постановки автосамосвала под погрузку экскаватором	град	≈ 90	≈ 90	60-90	60-90	60-90
Транспортные коммуникации	Качество дорожного полотна (по ГОСТ Р 50597-2017)		Наличие колеи, волн, ям, выбоин свыше 50% от общей протяженности дороги	Наличие колеи, волн, ям, выбоин свыше 20% от общей протяженности дороги	Наличие волн, выбоин свыше 10% от общей протяженности дороги	Наличие волн свыше 10% от общей протяженности дороги	Отсутствие колеи, волн, ям, выбоин
	Минимальная ширина проезжей части	м	10-12	12-20	20-26	26-30	Не менее 30
	Наличие заужений автодороги на 30%	шт./км	< 4	1-3	> 1	0	0
	Уклоны	‰	90-100	90-100	80-90	60-80	60
	Пропускная способность информационной сети	Мб/с	Не менее 20	Не менее 25	Не менее 30	Не менее 35	Не менее 35
	Покрытие связью		Локальное	Локальное	Ковровое	Ковровое	Ковровое
	Обособленность зоны работы роботизированного автомобильного комплекса		Необособленный	Частично обособленный	Частично обособленный	Полностью обособленный	Обособленность не требуется
Наличие просыпей с размером куска в поперечнике более 30 см.		Просыпи по всей протяженности автодороги	Одиночные куски в зонах виражей, зон погрузки/разгрузки	Одиночные куски горной массы на 1 км	Нет	Нет	
Взаимодействие с комплексом вспомогательного оборудования	Качество организации работы со вспомогательным оборудованием (бульдозер, грейдер, полив-оросительная машина)		Работа вспомогательной техники по технологии с пилотируемыми автосамосвалами	Дооборудование вспомогательной техники аварийной кнопкой остановки роботизированного автомобильного комплекса	Дооборудование вспомогательной техники аварийной кнопкой остановки роботизированного автомобильного комплекса, наличие площадок для разезда вспомогательной техники и автосамосвалов	Дооборудование системой распознавания свой/чужой, наличие площадок для разезда	Дооборудование системой распознавания свой/чужой, наличие площадок для разезда, дооборудование комплекса системой автоматического определения параметров дорог и разгрузочных площадок
Результаты работы роботизированного автомобильного комплекса	Производительность на плечо откатки 1,7	м <sup>3</sup> /смену	1300-2500	2500-3000	3000-3500	3500-4000	4000-5500
	Эксплуатационная скорость	км/ч	3-9	9-11	11-13	14-15	15-20
	Себестоимость	раз	1,4-1,6	1,2-1,4	1,1-1,2	1,05-1,1	1,0

□ - освоенный результат    □ - периодически достигаемый результат    □ - целевой результат



Рис. 2. Эксплуатационная скорость роботизированных автосамосвалов  
 Fig. 2. Operating speed of robotic dump trucks

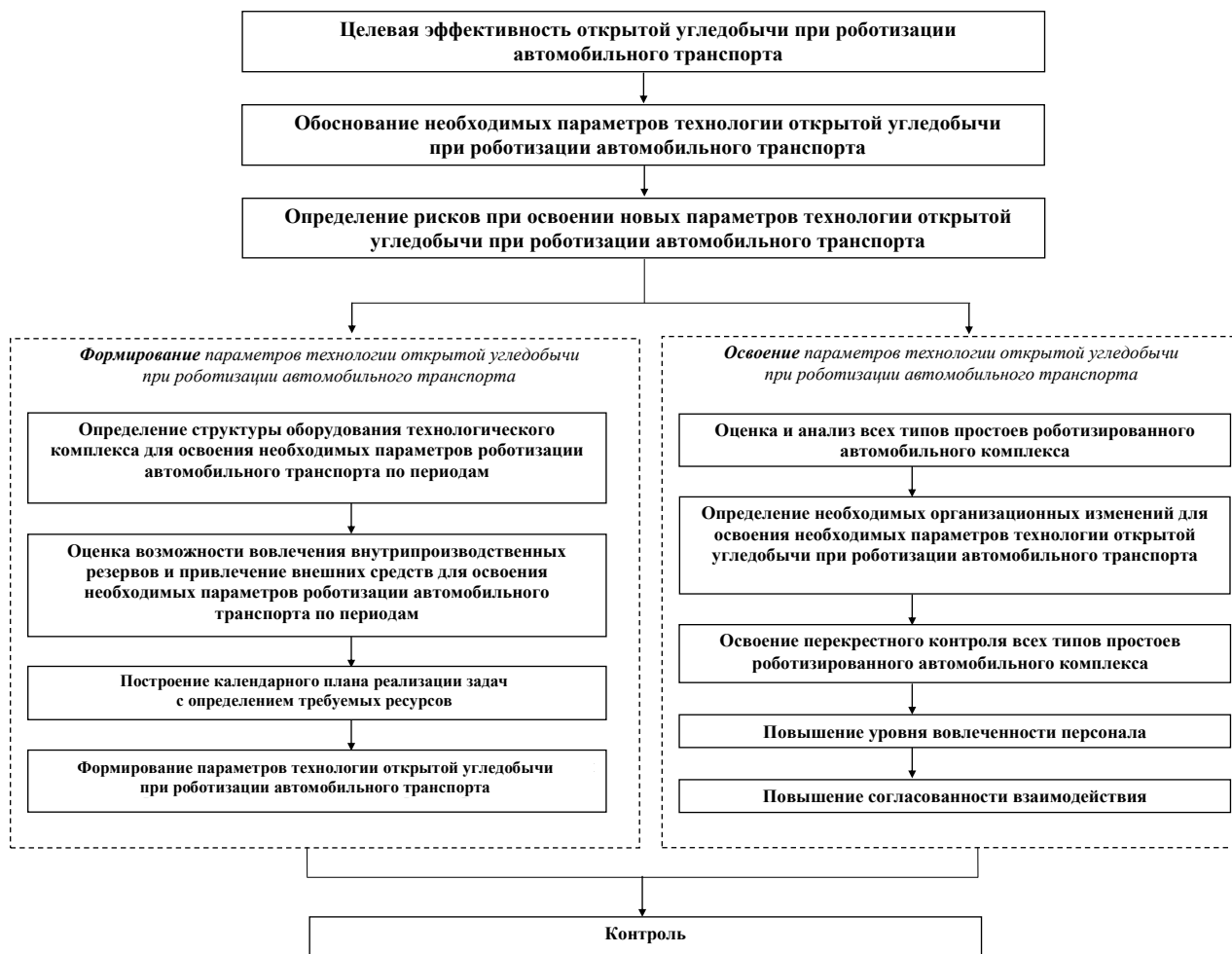


Рис. 3. Схема формирования и освоения технологических параметров открытой угледобычи при роботизации автомобильного транспорта  
 Fig. 3. The sequence of setting and developing technology parameters of open-pit coal mining, when using robotic road transport

### Направления дальнейших исследований

Произведенная работа по повышению эксплуатационной скорости роботизированного автомобильного транспорта путем изменения категории качества условий его эксплуатации позволили выявить, что для обеспечения эффективности работы роботизированного транспорта требуется оценка экономической целесообразности вложения средств в улучшение условий эксплуатации. Рентабельность вложений определяется с учетом актуальных цен на производственные ресурсы. Экономическая целесообразность вложения средств в повышение категорий качества условий эксплуатации роботизированного автомобильного транспорта для увеличения его эксплуатационной скорости зависит от ценности разрабатываемого месторождения – целевой результат главным образом от цены продаваемой продукции, которая определяет долю стоимости владения роботизированным комплексом в выручке предприятия. Осуществляется разработка методического инструментария определения рентабельности повышения качества условий эксплуатации роботизированного автомобильного транспорта.

Кроме этого, дальнейшие исследования по повышению эффективности технологии открытой угледобычи пологопадающих месторождений при роботизации автомобильного транспорта предполагают поиск и обоснование организационно-технологических решений, освоение которых позволит управлять переходным процессом от работы в менее качественных категориях условий эксплуатации роботизированного автомобильного транспорта к более качественным категориям условий его работ [8]. Предполагается, что данный переходный процесс будет базироваться на формировании взаимосогласованных изменений технологических, трудовых и организационно-управленческих процессов горнотехнической системы [9, 10].

### Заключение

Исследование показало, что одним из основных показателей, обеспечивающих экономическую эффективность роботизированного автотранспорта угольного разреза, является его стабильная средняя эксплуатационная скорость. Выделены пять категорий качества для условий эксплуатации роботизированных автосамосвалов, определяющих величину их эксплуатационной скорости. Основными технологическими параметрами, влияющими на эксплуатационную скорость,

являются: ширина рабочей площадки экскаватора и разгрузочной площадки автосамосвала, конструкция разгрузочной площадки, угол постановки автосамосвала под погрузку экскаватором, качество дорожного полотна, ширина проезжей части, параметры сетей и связи, качество организации работы со вспомогательным комплексом. Переход от первой категории на пятую позволяет повысить эксплуатационную скорость автосамосвалов до 5 раз и сократить себестоимость работ до 1,5 раза.

Благодаря обоснованию и применению рациональных, взаимосоответствующих параметров технологии открытой угледобычи пологопадающих месторождений при роботизации автомобильного транспорта в условиях ООО «СУЭК-Хакасия» удалось повысить эксплуатационную скорость роботизированных автосамосвалов в 2,6 раза.

Опираясь на выделенные категории качества условий эксплуатации и разработанную схему формирования и освоения технологических параметров открытой угледобычи при роботизации автомобильного транспорта, возможно эффективно осуществлять комплекс мероприятий по повышению эксплуатационной скорости этих машин.

### Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. №642 (в ред. Указа Президента Российской Федерации от 15 марта 2021 г. № 143). 15 с.
2. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18, №1. С. 4–15.
3. Сбербанк. Аналитический обзор мирового рынка робототехники. С. 15–22.
4. Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр / М.В. Рьльникова, Д.Я. Владимиров, И.А. Пыталев, Т.М. Попова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. С. 93–96.
5. Артемьев В.Б., Килин А.Б., Галкин В.А. Проблемы формирования инновационной системы управления эффективностью и безопасностью производства в условиях финансового кризиса // Уголь. 2009. №6. С. 24–27.
6. Взаимосвязь организации и технологии горного производства / В.Б. Артемьев, А.Б. Килин, В.А. Галкин, А.М. Макаров // Открытые горные работы в XXI веке: результаты, проблемы и перспективы развития: материалы III международной научно-практической конференции): ГИАБ (научно-технический журнал). В 2-х т. Т. 1. 2017. №12 (специальный выпуск 37). С. 68–76.

7. Хажиев В.А. Оценка влияния эксплуатационных факторов на эффективность использования экскаваторов-мехлопат на угольных разрезах // Горное оборудование и электромеханика: научно-аналитический и производственный журнал. 2009. №6. С. 21–26.
8. Развитие организационно-технологической структуры угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов / В.Л. Яковлев, А.Б. Килин, В.А. Азев, Г.Н. Шаповаленко // Развитие угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. 2016. Специальный выпуск №34. С. 8–19.
9. Азев В.А. Методология комплексного планирования развития угледобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельная статья. 2018. №7 (спецвыпуск №40). 50 с.
10. Артемьев В.Б. Стратегия организационно-технологического развития угледобычи в ОАО «СУЭК» // Уголь. 2008. Спецвыпуск. С.11.

### References

1. Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 642 dated December 1, 2016 (as amended by Decree of the President of the Russian Federation No. 143 dated March 15, 2021). 15 p.
2. Khazin M.L. Robotic equipment for mining. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2020, vol. 18, no. 1, pp. 4–15. (In Russ.)
3. Sberbank. Analytical review of the international robotics market, pp. 15–22.
4. Rylnikova M.V., Vladimirov D.Ya., Pytalev I.A., Popova T.M. Robotic geotechnologies as a way to increase efficiency and ecodesign of subsoil development. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and Technical Problems of Mining], 2017, pp. 93–96. (In Russ.)
5. Artemiev V.B., Kilin A.B., Galkin V.A. Problems of setting an innovative system for managing efficiency and safety of production during the financial crisis. *Ugol* [Coal], 2009, no. 6, pp. 24–27. (In Russ.)
6. Artemiev V.B., Kilin A.B., Galkin V.A., Makarov A.M. Relationship between organization and technology of mining. *Otkrytye gornye raboty v XXI veke: rezultaty, problemy i perspektivy razvitiya: materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Open-pit mining in the 21<sup>st</sup> century: results, problems and prospects of development: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific and Practical Conference). *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], in 2 volumes, vol. 1, 2017, no. 12 (special issue 37), pp. 68–76. (In Russ.)
7. Khazhiev V.A. Evaluation of the influence of operational factors on efficiency of using mechanized shovels in open-pit coal mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika: nauchno-analiticheskiy i proizvodstvenny zhurnal* [Mining Equipment and Electromechanics: Scientific, Analytical and Production Journal], 2009, no. 6, pp. 21–26. (In Russ.)
8. Yakovlev V.L., Kilin A.B., Azev V.A., Shapovalenko G.N. Development of the organizational and technological structure of a coal-mining enterprise in transient processes. *Razvitie ugledobyvayushchego proizvodstvennogo obedineniya: Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Development of a Coal-Mining Industrial Association: Mining Informational and Analytical Bulletin], 2016, special issue No. 34, pp. 8–19. (In Russ.)
9. Azev V.A. Methodology of comprehensive planning of coal mining enterprise development. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskyy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2018, no. 7 (special issue No. 40), 50 p. (In Russ.)
10. Artemiev V.B. Strategy of organizational and technological development of coal mining at OJSC SUEK. *Ugol* [Coal], 2008, special issue, p. 11. (In Russ.)

Поступила 31.03.2022; принята к публикации 15.04.2022; опубликована 28.06.2022  
Submitted 31/03/2022; revised 15/04/2022; published 28/06/2022

**Азев Владимир Александрович** – доктор технических наук, заместитель генерального директора – технический директор, ООО «СУЭК-Хакасия», Черногорск, Россия. Email: AzevVA@suek.ru

**Гартман Александр Александрович** – заместитель генерального директора по производству, ООО «СУЭК-Хакасия», Черногорск, Россия. Email: GartmanAA@suek.ru

**Хажиев Вадим Аслямович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией эффективной эксплуатации оборудования, Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, Челябинск, Россия. Email: vadimkhazhiev@gmail.com

**Vladimir A. Azev** – DrSc (Eng.), Deputy General Director – Technical Director, SUEK-Khakassia LLC, Chernogorsk, Russia. Email: AzevVA@suek.ru

**Alexander A. Gartman** – Deputy Deputy General Director for Production, SUEK-Khakassia LLC, Chernogorsk, Russia. Email: GartmanAA@suek.ru

**Vadim A. Khazhiev** – PhD (Eng.), Head of the Laboratory of Efficient Operation of Equipment, Research Institute of Efficiency and Safety of Mining, Chelyabinsk, Russia. Email: vadimkhazhiev@gmail.com