

Научная статья

УДК 658.51

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-13-20

Морозов Руслан Анатольевич¹, Беклемешев Владимир Анатольевич²,
Хажиев Вадим Аслямович^{3, 4*}, Байкин Валентин Станиславович³

¹ АО «Бурибаевский ГОК»

² ООО «СУЭК-Хакасия»

³ ООО «НИИОГР»

⁴ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

* для корреспонденции: vadimkhazhiev@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ РИСКА СБОЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА



Информация о статье

Поступила:

25 декабря 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

14 января 2026 г.

Принята к печати:

29 января 2026 г.

Опубликована:

02 марта 2026 г

Ключевые слова:

горное оборудование, технологический комплекс, технологический этап, производственный процесс, структура, эксплуатационная надежность, управление процессом, риск сбоя, функции управления, качество управления

Аннотация.

В статье представлены результаты изучения и осмысливания позитивной многолетней практики руководителей и специалистов отечественных горнодобывающих предприятий, позволившей существенно повысить эксплуатационную надежность комплексов технологического горного оборудования с приемлемыми затратами ресурсов. Определено, что успешное повышение надежности комплекса базируется на определенной последовательности преобразований элементов и взаимосвязей во всей иерархии его структуры по критерию риска сбоя производственного процесса. Последовательность преобразования характеризуется необходимым условием: в первую очередь преобразуются более общие элементы и взаимосвязи комплекса, а именно взаимосвязи комплексов оборудования между технологическими этапами, далее последовательно изменению подвергаются более частные элементы и взаимосвязи на уровне оборудования, агрегатов, узлов и деталей.

В статье представлена разработанная схема деятельности работников по изменению взаимосвязей между комплектами оборудования технологических этапов горнодобывающего предприятия, позволяющая существенно повышать эксплуатационную надежность комплекса технологического горного оборудования с приемлемыми затратами ресурсов. Разработанная схема деятельности базируется на выявленной связи величины риска сбоя производственного процесса с качеством управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования и преобразовании выявленных функций управления процессом повышения надежности комплекса. К выявленным функциям, подлежащим преобразованию, относятся следующие: планирование и подготовка изменений в работе комплексов оборудования на технологических этапах для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса; информационное обеспечение работников о преобразованиях в технологических этапах, обуславливающих изменение эксплуатационной надежности оборудования в других технологических этапах; организация и контроль взаимодействия между работниками технологических этапов для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса.

Для цитирования: Морозов Р.А., Беклемешев В.А., Хажиев В.А., Байкин В.С. Повышение эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 1 (183). С. 13-20. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-13-20, EDN: MQMVOH

Введение

Управление процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического

горного оборудования является одним из наиболее ответственных видов деятельности персонала горнодобывающего предприятия [1-3]. Данное управ-

ление в общем виде заключается в приведении структуры комплекса в состояние, обеспечивающее снижение риска сбоя производственного процесса до необходимого уровня с приемлемыми затратами [4–6]. Преобразование структуры комплекса осуществляется последовательным изменением элементов и взаимосвязей по всей иерархии комплекса от более общего его элемента к более частному [7–9]. Для преобразования структуры руководителями и специалистами предприятия реализуются определенные функции, оказывающие влияние на уровень эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования [10–12]. Совершенствование реализации данных функций для увеличения результативности процесса повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования является актуальной научно-практической задачей.

Результаты исследования

С целью выявления функций, оказывающих определяющее влияние на эксплуатационную надежность комплекса технологического горного оборудования, проведено исследование деятельности руководителей и специалистов ряда горнодо-

бывающих предприятий по преобразованию элементов и взаимосвязей структуры комплекса [13–15]. Результаты исследования деятельности позволили определить, что на величину риска сбоя производственного процесса оказывает результативность реализации таких функций, как:

- планирование и подготовка изменений в работе комплектов оборудования на технологических этапах для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса;
- информационное обеспечение работников о преобразованиях в технологических этапах, обусловливающих изменение эксплуатационной надежности оборудования в других технологических этапах;
- организация и контроль взаимодействия между работниками технологических этапов для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса.

На основе проведенного исследования был сформулирован вывод о том, что реализация выявленных функций в их единстве представляет собой деятельность по управлению процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса тех-

Таблица 1. Характеристика функций управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса
Table 1. Characteristics of the functions of managing the process of increasing the operational reliability of a complex of technological mining equipment based on the criterion of the risk of failure of the production process

Качество управления процессом повышения эксплуатационной надежности (Ky)	Характеристика функций управления			Риск сбоя производственного процесса (R _{пп})
	Планирование и подготовка изменений в работе комплектов оборудования на технологических этапах для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса	Информационное обеспечение работников о преобразованиях в технологических этапах, обусловливающих изменение эксплуатационной надежности оборудования в других технологических этапах	Организация и контроль взаимодействия между работниками технологических этапов для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса	
Высокое	планирование и подготовка осуществляются непрерывно и включены во все производственные циклы от смены до пятилетки	информационный обмен осуществляется своевременно, достоверно и в полном объеме	взаимодействие между работниками технологических этапов комплементарное	<0,25
Среднее	планирование и подготовка осуществляются, но не сбалансировано между технологическими этапами	информационный обмен осуществляется в случае возникновения высокого риска невыполнения плана производства	взаимодействие между работниками технологических этапов компромиссное	0,25-0,45
Низкое	планирование и подготовка осуществляются в кризисные периоды	отсутствует информационный обмен	взаимодействие между работниками технологических этапов конфликтно-компромиссное	0,45-0,70
Крайне низкое	планирование и подготовка не осуществляются	информация искажается	взаимодействие между работниками технологических этапов конфликтное	>0,70

нологического горного оборудования. Результативность реализации этих функций определяет то, какого качества рабочая среда для рассматриваемого оборудования будет формироваться оборудованием других технологических этапов. В свою очередь, качество рабочей среды оборудования при его неудовлетворительном состоянии служит причиной для работы оборудования с пиковыми нагрузками, при удовлетворительном – без пиковых нагрузок [16–20]. Отсутствие пиковых нагрузок на оборудование повышает вероятность постоянства наработки между отказами его агрегатов, узлов и деталей и, соответственно, возможность увеличить горизонт и точность прогноза поломки каждого элемента структуры комплекса для реализации превентивных мер по снижению риска сбоя производственного процесса.

Сопоставление величины риска сбоя производственного процесса горнодобывающих предприятий с содержанием каждой выявленной функции позволило выделить 4 уровня результативности их реализации: высокий, средний, низкий и крайне низкий. Выявленные уровни результативности, по сути, отражают качество управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования (K_y) (Таблица 1). Представленные характеристики функций управления возможно применять для диагностики по выявлению резервов снижения риска сбоя производственного процесса на горнодобывающих предприятиях, а также в качестве ориентиров развития деятельности руководителей и специали-

стов предприятий.

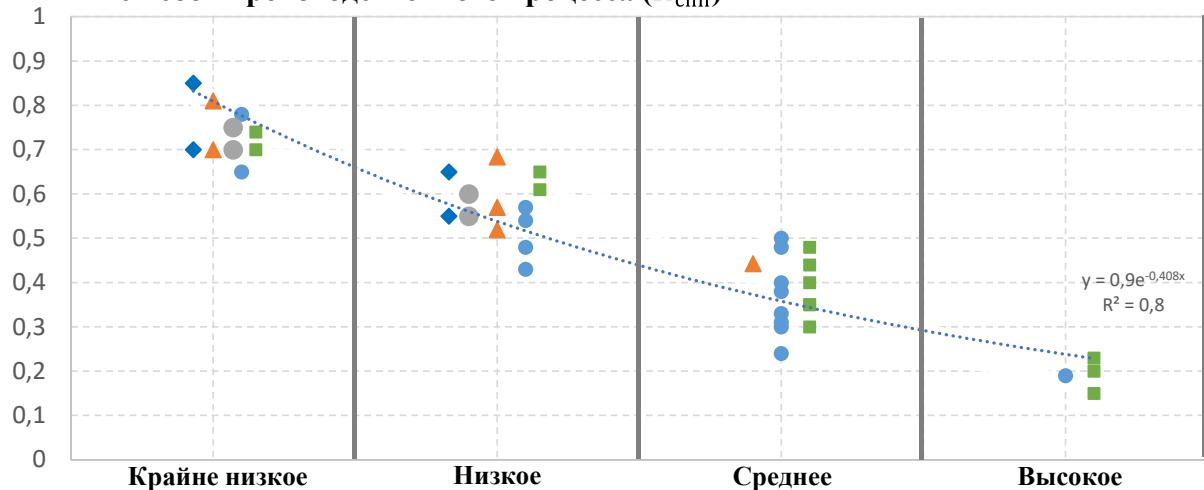
На Рис. 1 представлена оценка влияния качества управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования, определяемого результативностью реализации выявленных функций, на величину риска сбоя производственного процесса горнодобывающих предприятий. В результате оценки определено, что связь величины риска сбоя производственного процесса с качеством управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования характеризуется экспоненциальной функцией с корреляционным отношением $R = -0,8$. Выявлено, что качество управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса может обуславливать изменение величины риска сбоя производственного процесса более чем в 4 раза.

Обсуждение результатов исследования

Анализ реализованных решений, позволивших снизить риск сбоя производственного процесса на рассматриваемых предприятиях, показал, что обеспечение этого результата посредством повышения результативности реализации функций управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования не требует привлечения значительных дополнительных ресурсов.

Повышение эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования, учитывающее влияние результатов работы оборудования одного технологического этапа на

Риск сбоя производственного процесса ($R_{\text{спп}}$)



Данные за год: ● ООО "СУЭК-Хакасия" (2010-2024гг.)

- ▲ Рудоуправление ПАО "Ураласбест" (2015-2020гг.)
- ◆ Промтехвзрыв ПАО "Ураласбест" (2021-2024гг.)
- АО "Бурибаевский ГОК" (2021-2024гг.)
- ООО "Восточно-Бейский разрез" (2012-2024гг.)

Качество управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса (K_y)

Рис. 1. График связи величины риска сбоя производственного процесса с качеством управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования

Fig. 1. Graph of the relationship between the magnitude of the risk of failure of the production process and the quality of management of the process of increasing the operational reliability of a complex of technological mining equipment

эксплуатационную надежность оборудования остальных технологических этапов и базирующееся на связи величины риска сбоя производственного процесса с качеством управления процессом повышения надежности комплекса, положено в основу схемы повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса, которая представлена в общем виде на Рис. 2.

Повышение эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса включает четыре основных блока: организация и контроль деятельности по снижению риска сбоя производственного процесса; определение фактических и необходимых характеристик функций управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования; расчет фактического и целевого риска сбоя производственного процесса; обоснование приоритетов по улучшению взаимодействия между комплектами оборудования технологических этапов. Для обеспечения непрерывности контроля качества взаимодействия между комплектами оборудования технологических этапов в схеме предусмотрена цикличность всех действий, направленных на обеспечение соответствия уровня надежности комплекса технологического горного оборудования актуальным целям горнодобывающего предприятия. Также на рисунке в блоках выделены действия, которые вносят новизну в деятельность

руководителей и специалистов и, соответственно, для освоения которых требуется их обучение и внесение изменений в должностную инструкцию.

Схема повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса целенаправленно осваивается на предприятиях АО «Бурибаевский ГОК» и ООО «СУЭК-Хакасия» и в некоторых его частях на других горнодобывающих предприятиях при разработке и реализации решений по повышению эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования.

Выводы

Обосновано, что повышение качества управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования заключается в приведении взаимосвязей комплекса в состояние, когда результаты работы оборудования одного технологического этапа создают благоприятную рабочую среду для работы оборудования других технологических этапов, не обуславливающую их работу с пиковыми нагрузками. Минимизация пиковых нагрузок оборудования позволяет обеспечить постоянство определенной наработки между отказами его агрегатов, узлов и деталей и, соответственно, увеличить горизонт и точность прогноза поломки каждого элемента структуры комплекса для проведения своевременных профилактических мер и достижения приемлемого уровня риска сбоя производственного

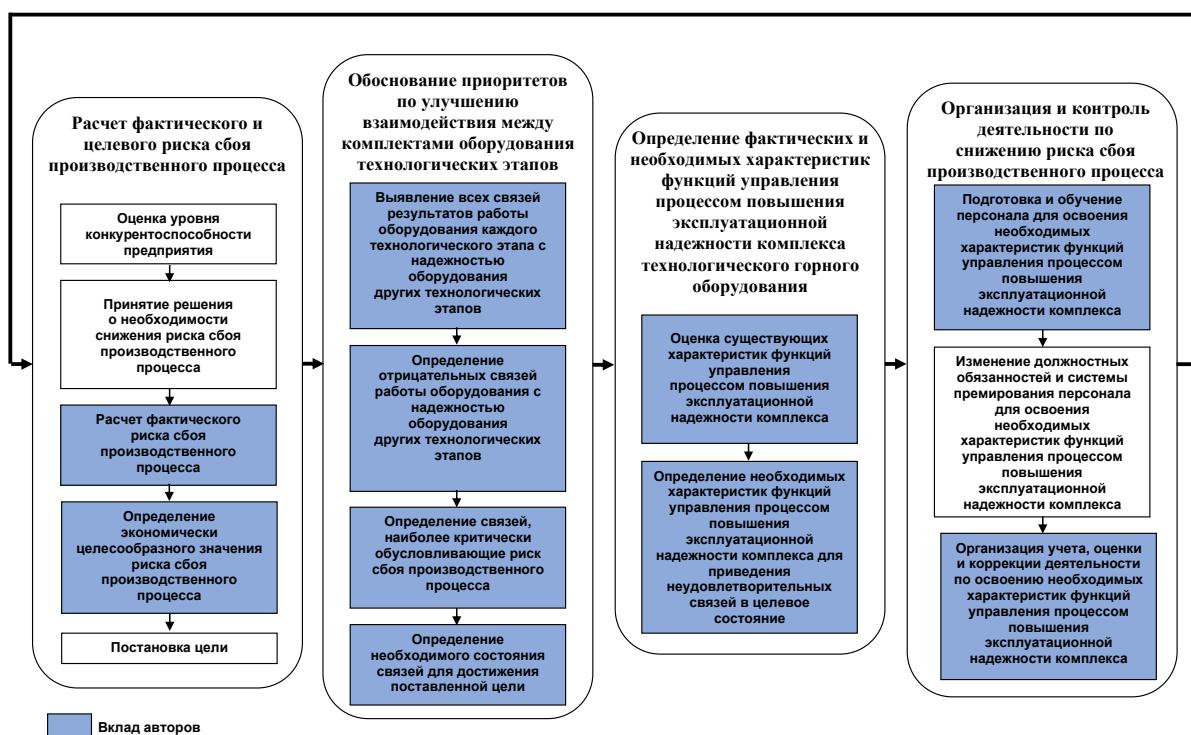


Рис. 2. Схема повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса

Fig. 2. Scheme for increasing the operational reliability of a complex of technological mining equipment based on the criterion of the risk of failure of the production process

процесса.

Увеличение качества управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования осуществляется совершенствованием следующих функций:

- планирование и подготовка изменений в работе комплексов оборудования на технологических этапах для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса;

- информационное обеспечение работников о преобразованиях в технологических этапах, обусловливающих изменение эксплуатационной надежности оборудования в других технологических этапах;

- организация и контроль взаимодействия между работниками технологических этапов для достижения требуемой эксплуатационной надежности комплекса.

Практические результаты повышения результативности реализации функций управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования на отечественных горнодобывающих предприятиях показывают возможность 4-х кратного снижения риска сбоя производственного процесса без привлечения значительных дополнительных ресурсов.

По мнению авторов статьи и ряда успешных руководителей предприятий для освоения выявленных резервов логичным является результативность деятельности по улучшению качества управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса, оцениваемой риском сбоя производственного процесса, возложить на главного механика предприятия. Для этого требуются соответствующие изменения в его должностной инструкции и повышение квалификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хажиев В. А. Развитие системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия: теория и практика: монография. Челябинск : Издательский центр «Титул», 2022. 198 с. ISBN:978-5-6047960-1-6.

2. Хорешок А. А., Хажиев В. А. Оценка влияния системы эксплуатации оборудования технологического комплекса на надежность производственного цикла горнодобывающего предприятия // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 16. С. 117–126. DOI: 10. 26160/2658-3305-2022-16-117-126. EDN: FGBQMF.

3. Хажиев В. А. Исследование системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 3. С. 75–87. DOI: 10. 26730/1999-4125-2022-3-75-87. EDN: XAJSRO.

4. Москвичев В. В., Ковалев М. А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Транспортные системы и технологии. 2020. Т. 6. № 4. С. 25–44. DOI: 10.17816/transsyst20206425-44. EDN: CARPTY.

5. Задорожная Е. А., Маслюков С. П. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов «БелАЗ» на разрезе «Черногорский» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2022. Т. 22. № 2. С. 64–73. DOI: 10.14529/engin220206. EDN: KLQWDO.

6. Черных В. Г., Отроков А. В., Гринько Д. А., Гринько А. А., Миронова А. О., Богатырев А. Р. Определение параметров надежностно-ориентированного технического обслуживания автосамосвалов угольного разреза // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2(178). С. 50–58. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-50-58. EDN: UJDKFC.

7. Иваненко А. Ф., Мухин П. Е. Особенности расчета технического риска на углеперерабатывающих предприятиях // Научный вестник НИИГД Респиратор. 2022. № 4(59). С. 109–116. EDN: SEAEVG.

8. Черных В. Г., Отроков А. В., Гринько Д. А., Гринько А. А., Миронова А. О., Богатырев А. Р. Разработка методических подходов к идентификации рисков отказов и определения их критичности для карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2(178). С. 59–68. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68. EDN: VTFNIK.

9. Сухарьков И. Н. Формирование конкурентоспособного технического сервиса обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования. 05.02.22: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сухарьков Игорь Николаевич. Москва, 2018. 21 с. EDN: DYLPBZ.

10. Li J., Xie J., Yang Z., Li J. Fault Diagnosis Method for a Mine Hoist in the Internet of Things Environment // Sensors. 2018, 18: 19-20. DOI:10.3390/s18061920.

11. Darren McDonnell, Nora Balfe Linda, Pratto Garret, O'Donnell. Predicting the unpredictable: Consideration of human and organisational factors in maintenance prognostics // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018. № 54. Pp. 131–145. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.02.016.

12. Килин А. Б., Азев В. А., Костарев А. С., Басев И. А., Галкина Н. В. Эффективное развитие угледобывающего производственного объединения: практика и методы. Под ред. В. Б. Артемьева. М. : Издательство «Горная книга», 2019. 280 с. ISBN 978-5-98672-488-1.

13. Андреева Л. И. Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 6(158). С. 38–43. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43. EDN: TTOOWA.

14. Андреева Л. И. Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 4. С. 83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91. EDN: ZYMIK.

15. Альшанская А. А., Доронин С. В., Тюменцев В. А. Экспертное оценивание факторов повы-

шения надежности механического оборудования карьерных экскаваторов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 19. С. 155–160. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-19-155-160. EDN: GOJSHR.

16. Доронин С. В., Альшанская А. А. Обоснование приоритетности ремонтного обслуживания парка экскаваторов на основе экспертных оценок слабоформализуемых закономерностей формирования отказов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2023. № 4(20). С. 36–45. DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-36-45. EDN: INMAMY.

17. Cao Xiangang, Duan Xinyu, Zang Mengyuan, Lei Zhuo, Li Yanchuan. Coal mine equipment condition monitoring system design // Journal of Mine Automation. 2021 № 47(5). Pp. 101–105. DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2020120065.

18. Жуков А. В. Научные основы управления надежностью и эффективностью комплексов горных машин и оборудования: специальность 08.00.28: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Жуков Анатолий Васильевич. Новосибирск, 1990. 41 с. EDN: ZJLLTJ.

19. Liu Yuanyua. Current status and development trend of research on intelligent maintenance of coal mine electromechanical equipment // Journal of Mine Automation. 2021. № 47(7). Pp. 79–84. DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.17753.

20. Москвичев В. В., Ковалев М. А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Транспортные системы и технологии. 2020. Т. 6. № 4. С. 25–44. DOI: 10.17816/transsyst20206425-44. EDN: CARPTY.

© 2026 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Морозов Руслан Анатольевич, главный механик, АО «Бурибаевский ГОК» (453821, Респ. Башкортостан, Хайбуллинский район, с. Бурибай, ул. Горького, 49), e-mail: morozoff.ru@yandex.ru

Беклемешев Владимир Анатольевич, главный механик, ООО «СУЭК-Хакасия» (655162, Респ. Хакасия, г. Черногорск, ул. Советская, 40), e-mail: BeklemeshevVA@suek.ru

Хажиев Вадим Аслямович, доктор техн. наук, заведующий лабораторией эффективной эксплуатации оборудования, ООО «НИИОГР» (454020, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30); доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», e-mail: vadimkhazhiev@gmail.com

Байкин Валентин Станиславович, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории эффективной эксплуатации оборудования, ООО «НИИОГР» (454020, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30), e-mail: valentin_baikin@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Морозов Руслан Анатольевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Беклемешев Владимир Анатольевич – научный менеджмент, написание текста, сбор и анализ данных.

Хажиев Вадим Аслямович – концептуализация исследования, выводы, научный менеджмент.

Байкин Валентин Станиславович – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, написание текста, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-13-20

Ruslan A. Morozov¹, Vladimir A. Beklemeshev², Vadim A. Khazhiev^{3, 4*}, Valentin S. Baikin³¹

¹ JSC «Buribaevsky GOK»

² LLC «SUEK-Khakassia»

³ LLC «NIIogr»

⁴ NMSTU

* for correspondence: vadimkhazhiev@gmail.com

IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF A MINING EQUIPMENT SYSTEM BASED ON THE RISK OF PRODUCTION PROCESS FAILURE

Abstract.

This article presents the results of a study and analysis of the positive, long-term practices of managers and specialists at domestic mining companies, which have significantly improved the operational reliability of technological mining equipment systems with acceptable resource expenditure. It has been determined that successfully improving the reliability of a system is based on a specific sequence of transformations of elements and relationships throughout its entire structural hierarchy based on the risk of production process failure. This transformation sequence is characterized by a necessary condition: first, the more general elements and relationships of the system are transformed, namely, the relationships between equipment sets between process stages. Then, more specific elements and relationships at the level of equipment, units, assemblies, and components are sequentially modified.



Article info

Received:

25 December 2025

Accepted for publication:

14 January 2026

Accepted:

29 January 2026

Published:

02 March 2026

Keywords: mining equipment, technological complex, technological stage, production process, structure, operational reliability, process management, risk of failure, management functions, management quality.

The article presents a developed framework for employee activities to modify the relationships between equipment sets at the process stages of a mining company, enabling significant improvements in the operational reliability of technological mining equipment systems with acceptable resource expenditure. The developed activity plan is based on the identified relationship between the magnitude of the risk of production process failure and the quality of management of the process of improving the operational reliability of a complex of technological mining equipment and the transformation of the identified management functions for improving the complex's reliability. The following functions were identified and are subject to transformation: planning and preparation of changes in the operation of equipment sets at technological stages to achieve the required operational reliability of the complex; information support for employees about changes in technological stages that lead to changes in the operational reliability of equipment in other technological stages; organization and control of interaction between employees of technological stages to achieve the required operational reliability of the complex.

For citation: Morozov R.A., Beklemeshev V.A., Khazhiev V.A., Baikin V.S. Improving the operational reliability of a mining equipment system based on the risk of production process failure. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2026; 1(183):13-20 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-13-20, EDN: MQMVOH

REFERENCES

1. Khazhiev V.A. Development of the equipment operation system of the technological complex of a mining enterprise: theory and practice: monograph. Chelyabinsk: Publishing center "Titul"; 2022. 198 p. ISBN: 978-5-6047960-1-6.
2. Khoreshok A.A., Khazhiev V.A. Assessment of the influence of the equipment operation system of the technological complex on the reliability of the production cycle of a mining enterprise. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022.; 16:117-126. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-117-126/ EDN: FGBQMF.
3. Khazhiev V.A. Study of the equipment operation system of the technological complex of a mining enterprise. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022; 3:75-87. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-75-87. EDN: XAJHSRO.
4. Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Evaluation of operational reliability indicators of quarry rope excavators. *Transport systems and technologies*. 2020; 6(4):25-44. DOI: 10.17816/transsyst20206425-44. EDN: CARPTY.
5. Zadorozhnaya E.A., Maslyukov S.P. Review of the Structure of Sudden Failures of Friction Units of BelAZ Dump Trucks at the Chermogorsky Open Pit. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering*. 2022; 22(2):64-73. DOI: 10.14529/engin220206. EDN: KLQWDO.
6. Chernykh V.G., Otrakov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., A.R. Bogatyrev. Definition of Parameters of Reliability-Oriented Maintenance of Dump Trucks at a Coal Open Pit. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2025; 2(178):50-58. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-50-58. EDN: UJDKFC.
7. Ivanenko A.F., Mukhin P.E. Features of calculating technical risk at coal processing plants. *Scientific Bulletin of NIIGD Respirator*. 2022; 4(59):109-116. EDN: SEAEVG.
8. Chernykh V.G., Otrakov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., A.R. Bogatyrev. Development of methodological approaches to identifying failure risks and determining their criticality for quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2025; 2(178):59-68. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68. EDN: VTFNIK.

9. Sukharkov I.N. Formation of a competitive technical service to ensure the operability of mining and transport equipment. 05.02.22: abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Sukharkov Igor Nikolaevich. Moscow, 2018. 21 p. EDN: DYLPBZ.

10. Li J., Xie J., Yang Z., Li J. Fault Diagnosis Method for a Mine Hoist in the Internet of Things Environment. *Sensors*. 2018; 18:19–20. DOI: 10.3390/s18061920.

11. Darren McDonnell, Nora Balfe Linda, Pratto Garret, O'Donnell. Predicting the unpredictable: Consideration of human and organizational factors in maintenance prognostics. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2018; 54:131–145. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.02.016.

12. Kilin A.B., Azev V.A., Kostarev A.S., Baev I.A., Galkina N.V. Effective development of a coal mining production association: practice and methods. Ed. by V.B. Artemyev. Moscow: Publishing house "Gornaya kniga", 2019. 280 p. ISBN 978-5-98672-488-1.

13. Andreeva L.I. Methodological approach to assessing the condition of mining equipment and the appropriate period of its operation. *Mining equipment and electromechanics*. 2021; 6(158):38–43. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43. EDN: TTOOWA.

14. Andreeva L.I. Selecting a strategy for repair and maintenance of mining equipment. *News of higher educational institutions. Mining journal*. 2021; 4:83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91. EDN: ZYMIK.

15. Alshanskaya A.A., Doronin S.V., Tyumentsev V.A. Expert Evaluation of Factors for Improving the Reliability of Mechanical Equipment of Mining Excavators. *Transport, Mining and Construction Mechanical Engineering: Science and Production*. 2023; 19:155–160. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-19-155-160. EDN: GOJSHR.

16. Doronin S.V., Alshanskaya A.A. Justification of the Priority of Repair and Maintenance of the Excavator Fleet Based on Expert Assessments of Weakly Formalizable Patterns of Failure Formation. *Bulletin of Tver State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2023; 4(20):36–45. DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-36-45. EDN: INMAMY.

17. Cao Xiangang, Duan Xinyu, Zang Mengyuan, Lei Zhuo, Li Yanchuan. Coal mine equipment condition monitoring system design. *Journal of Mine Automation*. 2021; 47(5):101–105. DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2020120065.

18. Zhukov A.V. Scientific foundations of managing the reliability and efficiency of mining machinery and equipment complexes: specialty 08.00.28: abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Engineering Sciences / Zhukov Anatoly Vasilievich. Novosibirsk, 1990. 41 p. EDN: ZJLLTJ.

19. Liu Yuanya. Current status and development trend of research on intelligent maintenance of coal mine electromechanical equipment. *Journal of Mine Automation*. 2021; 47(7):79–84. DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.17753.

20. Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Evaluation of operational reliability indicators of quarry rope excavators. *Transport systems and technologies*. 2020; 6(4):25–44. DOI: 10.17816/transsyst20206425-44. EDN: CARPTY.

© 2026 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Ruslan A. Morozov, chief mechanic, Buribayevsky GOK JSC (453821, Republic of Bashkortostan, Khaibullinsky district, Buribay village, Gorky St., 49), e-mail: morozoff.ru@yandex.ru

Vladimir A. Beklemeshev, chief mechanic, SUEK-Khakassia LLC (655162, Republic of Khakassia, Chernogorsk, Sovetskaya St., 40), e-mail: BeklemeshevVA@suek.ru

Vadim A. Khazhiev, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Laboratory for Efficient Equipment Operation, NII-OGR LLC (30 Entuziastov Street, Chelyabinsk, 454020); Associate Professor, Department of Mining Machinery and Transport and Technological Complexes, Nosov Moscow State Technical University, e-mail: vadimkhazhiev@gmail.com

Valentin S. Baikin, PhD in Engineering, Researcher, Laboratory for Efficient Operation of Equipment, NII-OGR LLC (30 Entuziastov St., Chelyabinsk, 454020), e-mail: valentin_baikin@mail.ru

Contribution of the authors:

Ruslan A. Morozov – formulation of the research problem, review of relevant literature, data collection and analysis.

Vladimir A. Beklemeshev – scientific management, writing, data collection and analysis.

Vadim A. Khazhiev – research conceptualization, conclusions, scientific management.

Valentin S. Baikin – scientific management, review of relevant literature, writing, data collection and analysis.

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

