

Научная статья**УДК 658.51****DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-5-12**

**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

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**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, комплекс, технологический этап, структура, эксплуатационная надежность, риск сбоя, принцип от общего к частному, методический подход

Аннотация.

Эффективность функционирования горнодобывающего предприятия существенным образом обусловлена уровнем эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования. Недостаточный ее уровень приводит к сбоям производственного процесса и, соответственно, к финансовым издержкам предприятия. Исследование сущности причин сбоев производственного процесса ряда горнодобывающих предприятий за более чем двадцать лет показало, что на надежность оборудования одного технологического этапа оказывают существенное негативное влияние результаты функционирования оборудования других технологических этапов. В настоящее время данное влияние должно быть учтено руководителями и специалистами горнодобывающих предприятий при подготовке и реализации решений, направленных на повышение эксплуатационной надежности всего комплекса технологического горного оборудования, что ограничивает возможности повышения результативности деятельности предприятий. В статье обосновывается целесообразность разработки и освоения в деятельности руководителей и специалистов методического подхода к повышению эксплуатационной надежности горного оборудования, основанного на принципе «от общего к частному». Отличием рассматриваемого подхода от традиционных является то, что первоочередным объектом воздействия при повышении эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования выступает не отдельная деталь или вид оборудования, а качество взаимосвязей между комплектами оборудования технологических этапов. Освоение данного методического подхода позволяет использовать существующие ресурсы предприятия для предотвращения обстоятельств, когда сбой на одном технологическом этапе, даже, возможно, не критичный в рамках этого этапа, провоцирует закономерную цепь сбоев на других этапах, приводящих к значительным финансовым издержкам предприятия.

Для цитирования: Морозов Р. А., Беклемешев В. А., Хажиев В. А., Байкин В. С. Методический подход к повышению эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 1 (183). С. 5-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-5-12, EDN: LQXAPN

Введение

Горнодобывающее предприятие обеспечивает добычу полезного ископаемого посредством организации функционирования комплекса технологического горного оборудования [1–3]. Комплекс

технологического горного оборудования представляет собой иерархическую структуру, включающую в себя: комплекты оборудования на технологических этапах, виды оборудования, агрегаты, узлы и детали (Таблица 1). Каждый элемент этой

структуры при рассмотрении в качестве отдельного объекта повышения эксплуатационной надежности требует реализации специфических решений.

Оценка эксплуатационной надежности элементов комплекса технологического горного оборудования на ряде отечественных горнодобывающих предприятий, измеряемой комплексным показателем надежности – коэффициентом готовности – показала, что она снижается в среднем с 0,97 до 0,55 от условно частных элементов структуры, к которым относятся отдельные детали, к условно более общим – комплектам оборудования (Таблица 1) [4–6].

Анализ и сравнение результатов деятельности отечественных и передовых зарубежных горнодобывающих предприятий показали возможность повышения эксплуатационной надежности комплексов технологического горного оборудования на отечественных предприятиях до 0,87, т. е. в 1,6 раза, без привлечения значительных капитальных вложений [6–9].

Наличие данных резервов в том числе подтверждают результаты проведенного исследования причин сбоев производственного процесса ряда горнодобывающих предприятий, которое показало, что на надежность оборудования одного технологического этапа могут оказывать существенное негативное влияние результаты работы оборудования других технологических этапов [10–12]. Данный факт обусловлен тем, что руководителями и специалистами на горнодобывающих предприятиях при разработке и реализации управлений решений, направленных на повышение эксплуатационной надежности комплекса технологического

горного оборудования, в первую очередь осуществляются локальные преобразования условно простых элементов иерархической структуры комплекса, а во вторую очередь – преобразования условно общих элементов данной структуры. Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время деятельность руководителей и специалистов на горнодобывающих предприятиях основана на принципе «от частного к общему» [13–15]. Это также подтверждается различной регулярностью применения формализованных специфических решений для повышения надежности элементов комплекса технологического горного оборудования (Таблица 1) [16–20].

Изучение опыта наиболее успешных преобразований на отечественных предприятиях, обеспечивших значительное повышение уровня надежности по всей иерархической структуре комплекса технологического горного оборудования, позволило выявить, что данные преобразования опирались на принцип «от общего к частному». В данном случае в первую очередь оценивались и улучшались взаимосвязи между комплектами оборудования различных технологических этапов предприятия. Этот факт послужил основанием для осмыслиения, уяснения и обобщения методического подхода, заключающегося в том, что результативное повышение уровня надежности комплекса технологического горного оборудования обеспечивается целенаправленным преобразованием структуры комплекса в последовательности от более общих ее элементов к более частным.

Результаты исследования

Таблица 1. Элементы структуры комплекса технологического горного оборудования и основные направления обеспечения их надежности

Table 1. Operational reliability of elements of a complex of technological mining equipment

№ п/п	Элемент комплекса	Определение термина	Kr ¹	Основные направления решений по повышению эксплуатационной надежности	Регулярность применения решений
1	Комплект оборудования технологического этапа	Совокупность видов оборудования, используемых для выполнения определенных процессов в рамках одного технологического этапа	0,55	1. Обеспечение взаимосоответствия и взаимодополнения видов оборудования конкретного технологического этапа как комплекса. 2. Обеспечение сбалансированности взаимодействия основного и вспомогательного оборудования. 3. Моделирование и обеспечение сбалансированности комплектов оборудования между технологическими этапами. 4. Обеспечение комплементарности подсистем организации работы и ремонтного обслуживания оборудования в технологическом комплексе. 5. Оптимизация графиков планово-предупредительных ремонтов между оборудованием разных технологических этапов	В исключительных случаях
2	Оборудование	Совокупность агрегатов, сборочных единиц и других устройств, используемых при производстве продукции или выполнении технологических функций	0,65	1. Оптимизация условий и режима работы. 2. Обеспечение опережающего типа контроля технического состояния. 3. Унификация применяемых видов оборудования для оптимизации оборотного фонда запасных частей (метод базового агрегата)	
3	Агрегат	Нечто составное, совокупность элементов, образующих систему или её часть	0,80	1. Совершенствование модульности и автоматизация управления. 2. Повышение качества и изменение частоты технического обслуживания и ремонта. 3. Совершенствование средств диагностики технического состояния. 4. Организация агрегатно-узлового метода ремонта	Редко
4	Узел	Сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия или изделия в целом и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями	0,90	1. Модернизация конструкции. 2. Повышение качества проведения смазочных работ, качества ГСМ и др. 3. Повышение качества мониторинга технического состояния	Часто
5	Деталь	Изделие, являющееся частью оборудования и изготовленное без применения сборочных операций	0,97	1. Повышение качества материала для изготовления детали. 2. Развитие технологии изготовления детали. 3. Повышение качества контроля процесса изготовления детали. 4. Повышение качества установки детали на оборудование. 5. Обеспечение равномерного износа сопряженных деталей	Регулярно

¹ коэффициент готовности $K_r = \frac{T}{T+T_B}$, где T – средняя наработка между отказами; T_B – среднее время восстановления (ГОСТ 27.102-2021 С. 30)

Опробование данного принципа в деятельности руководителей и специалистов АО «Бурибаевский ГОК» позволило выявить 33 связи между оборудованием технологических этапов, существенно определяющие уровень эксплуатационной надежности всего комплекса технологического горного оборудования предприятия (Рис. 1). Более половины выявленных связей между оборудованием технологических этапов оказывают отрицательное влияние на эксплуатационную надежность комплекса. Отрицательное влияние заключается в том, что в результате работы оборудования одного технологического этапа создаются такие условия, которые обуславливают работу с пиковыми нагрузками оборудования других технологических этапов.

В качестве примера таких связей на Рис. 2 представлена последовательность отрицательного влияния результатов работы оборудования технологического этапа, осуществляющего буровзрывные работы, на результаты работы оборудования других

технологических этапов в АО «Бурибаевский ГОК».

В случае обеспечения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по принципу «от частного к общему» такого рода связи, как правило, не выявляются и, следовательно, не контролируются.

Рассмотрение результатов влияния выделенных взаимосвязей позволило определить, что при планировании мероприятий по повышению эксплуатационной надежности комплекса следует учитывать следующие их свойства:

- взаимосвязи характеризуются как прямым, так и обратным влиянием в последовательности технологических этапов производственного процесса;

- результаты работы оборудования одного технологического этапа могут оказывать влияние на эксплуатационную надежность комплектов оборудования нескольких технологических этапов;

- влияние каждой выявленной связи на эксплуатационную надежность комплектов оборудования

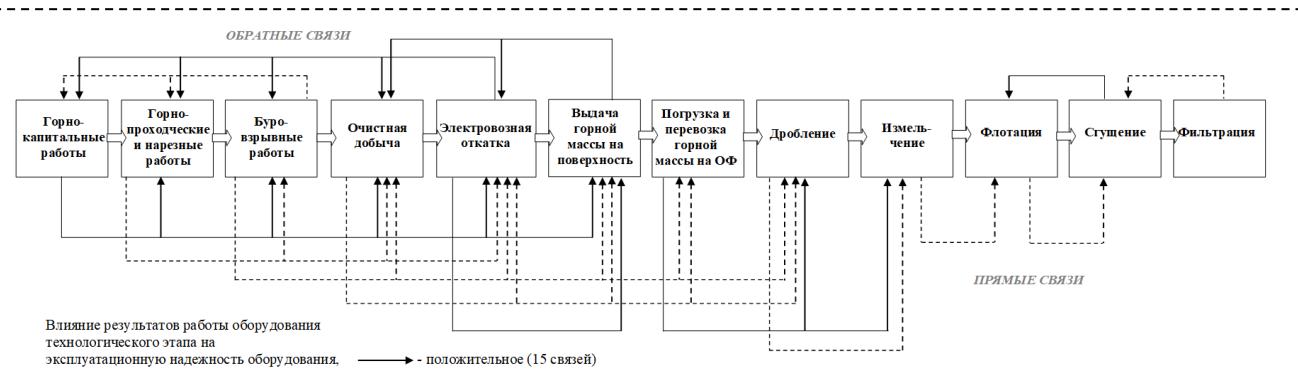


Рис. 1. Схема связей одних технологических этапов с надежностью оборудования других технологических этапов в АО «Бурибаевский ГОК»

Fig. 1. Diagram of connections between some technological stages and equipment reliability other technological stages at Buribayevsky GOK JSC

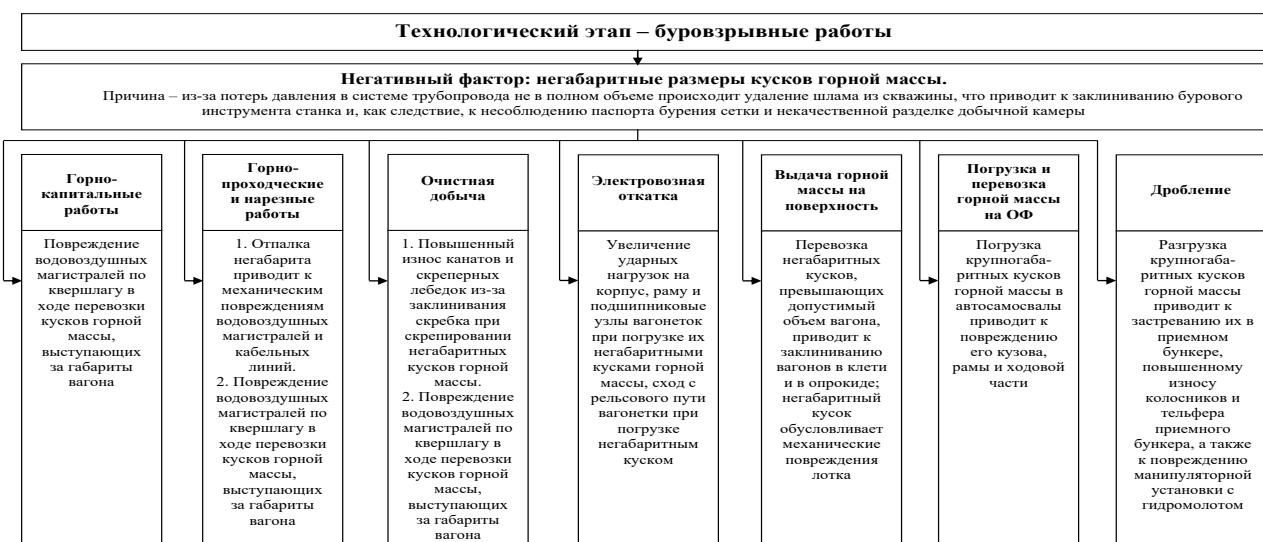


Рис. 2. Повреждения оборудования технологических этапов из-за неисправного состояния буровых станков в АО «Бурибаевский ГОК»

Fig. 2. Damage to equipment at technological stages due to oversized pieces of rock mass due to poor-quality cutting of the mining chamber at JSC Buribayevsky GOK

может быть положительным или отрицательным. Положительное влияние отражается в формировании оборудованием одного технологического этапа таких условий, которые не обуславливают работу с пиковыми нагрузками оборудования других технологических этапов; при негативном влиянии создаются условия, обуславливающие работу «зависимого» оборудования с пиковыми нагрузками.

Расчетным путем определено, что в условиях АО «Бурибаевский ГОК» минимизация выявленного отрицательного влияния результатов работы оборудования на эксплуатационную надежность оборудования других технологических этапов позволит без привлечения дополнительных ресурсов снизить риск сбоя производственного процесса до трех раз. Практика показывает, что данный результат недостижим при реализации распространенного подхода повышения надежности комплекса по принципу «от частного к общему».

Выводы

Обосновано, что для организации результативной деятельности по повышению эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования необходимо освоение методического подхода, отличающегося от распространенного на отечественных предприятиях тем, что повышение надежности элементов структуры комплекса осуществляется в последовательности не от «от частного к общему», а – «от общего к частному». В данном методическом подходе первоочередным объектом воздействия для повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования выступает не отдельная деталь или вид оборудования, а качество взаимосвязей между комплектами оборудования технологических этапов, представляющих собой более общий элемент структуры комплекса.

С целью освоения рассмотренного методического подхода требуется проведение дальнейшего исследования для выявления качественных и количественных характеристик функций управления процессом повышения эксплуатационной надежности комплекса технологического горного оборудования по критерию риска сбоя производственного процесса, позволяющих результивно достигать необходимую надежность комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Available at: <https://doaj.org/article/5a08b9f3e7644c009747f8fd9082f95b>.
- Альшанская А. А., Доронин С. В., Тюменцев В. А. Экспертное оценивание факторов повышения 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.
- 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.
- Журавлев А. Г., Черепанов В. А. Резервы повышения производительности подсистемы «карьерный транспорт – дробильный передел» с учетом коэффициентов использования дробильного оборудования // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 11. С. 195–207. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2902 EDN: ITQOIB.

13. 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.
14. 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.
15. Сухарьков И. Н. Формирование конкуренто-способного технического сервиса обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования. 05. 02. 22: автореферат докторской диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сухарьков Игорь Николаевич. Москва, 2018. 21 с. EDN: DYLPBZ.
16. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Набиуллин Р. Ш., Хорошавин С. А. Особенности режимов работы приводов главных механизмов карьерного экскаватора // Математическое моделирование механических явлений: Материалы Международной научно-технической конференции. Памяти профессора С. А. Ляпцева, Екатеринбург, 21-22 мая 2021 года. Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2021. С. 31–34. EDN: DVNBWX.
17. 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.
18. Li J., Xie J., Yang Z., Li J. Fault Diagnosis Method for a Mine Hoist in the Internet of Things Environment // Sensors. 2018. № 18. Pp. 19–20. Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/6/1920>.
19. 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. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423016304107>.
20. 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.

© 2026 Автор. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «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: 10.26730/1816-4528-2026-1-5-12

Ruslan A. Morozov¹, Vladimir A. Beklemeshev², Vadim A. Khazhiev^{3, 4*}, Valentin S. Baikin³

¹ JSC «Buribaevsky GOK»

² LLC «SUEK-Khakassia»

³ LLC «NIIOGР»

⁴ NMSTU

* for correspondence: vadimkhazhiev@gmail.com

METHODOLOGICAL APPROACH TO IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF A MINING EQUIPMENT SYSTEM

Abstract.



Article info

Received:

25 December 2025

Accepted for publication:

14 January 2026

Accepted:

29 January 2026

Published:

02 March 2026

Keywords: mining equipment, complex, technological stage, structure, operational reliability, risk of failure, principle from general to particular, methodological approach.

The operational efficiency of a mining enterprise is significantly determined by the operational reliability of its entire mining equipment. Insufficient operational reliability leads to production failures and, consequently, financial losses for the enterprise. A study of the root causes of production failures at several mining enterprises over more than twenty years has shown that the reliability of equipment at one stage of the process is significantly negatively impacted by the performance of equipment at other stages. Currently, this impact is not adequately considered by mining company managers and specialists when developing and implementing solutions aimed at improving the operational reliability of the entire mining equipment complex, limiting the potential for improving enterprise performance. This article substantiates the feasibility of developing and implementing a methodological approach for managers and specialists to improve the operational reliability of mining equipment based on the principle of "from the general to the specific." The approach under consideration differs from traditional ones in that the primary focus for improving the operational reliability of a mining equipment complex is not a single component or type of equipment, but the quality of the interconnections between equipment sets at various stages. Mastering this methodological approach allows the use of existing enterprise resources to prevent circumstances where a failure at one stage, even if not critical within that stage, triggers a cascade of failures at other stages, resulting in significant financial losses for the enterprise.

For citation: Morozov R.A., Beklemeshev V.A., Khazhiev V.A., Baikin V.S. Methodological approach to improving the operational reliability of a mining equipment system. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2026; 1(183):5-12 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-5-12, EDN: LQXAPH

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 "Title"; 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 Universi-*ty. 2022; 3:75–87. DOI: 10. 26730/1999-4125-2022-3-75-87 EDN: XAJSRO.
4. Doronin S.V., Alshanskaya A.A. Justification of the priority of repair 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.
5. 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.
6. Andreeva L.I. Selection of a repair and maintenance strategy for mining equipment. *News of higher educational institutions. Mining journal*. 2021; 4:83–

91. DOI: 10. 21440/0536-1028-2021-4-83-91. EDN: ZYMIKC.
7. 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.
8. Zhukov A.V. Scientific foundations of reliability and efficiency management of mining machinery and equipment complexes: specialty 08. 00. 28: abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Zhukov Anatoly Vasilyevich. Novosibirsk, 1990. 41 p. EDN: ZJLLTJ.
9. Liu Yuanyua. Current status and development trend of research on intelligent maintenance of coal mine electromechanical equipment. *Journal of Mine Automation* 2021; 47(7):79–84.
10. Alshanskaya A.A., Doronin S.V., Tyumentsev V.A. Expert assessment of factors for increasing the reliability of mechanical equipment of quarry excavators. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023; 19:155–160. DOI: 10. 26160/2658-3305-2023-19-155-160. EDN: GOJSRH.
11. 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.
12. Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A. Reserves for increasing the productivity of the "quarry transport - crushing process" subsystem taking into account the utilization rates of crushing equipment. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering*. 2020; 331(11)195–207. DOI: 10. 18799/24131830/2020/11/2902. EDN: ITQOIB.
13. Ivanenko A.F., Mukhin P.E. Features of calculating technical risk at coal processing plants. *Scientific Bulletin of the Research Institute of Gas and Mineral Resources Respirator*. 2022; 4(59):109–116. EDN: SEAEVG.
14. Chernykh V.G., Otkrov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. 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.
15. Sukharkov I.N. Formation of a competitive technical service for ensuring 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.
16. Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Features of operating modes of drives of the main mechanisms of a quarry excavator. *Mathematical modeling of mechanical phenomena: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. In memory of Professor S.A. Lyaptsev*. Ekaterinburg, May 21–22, 2021. Ekaterinburg: Ural State Mining University; 2021. Pp. 31–34. EDN: DVNBWX.
17. Zadorozhnaya E.A., Maslyukov S.P. Review of the structure of sudden failures of friction units of BelAZ dump trucks at the Chernogorsky open pit mine. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering*. 2022; 22(2):64–73. DOI: 10. 14529/engin220206. EDN: KLQWDO.
18. 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. Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/6/1920>.
19. 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; 54:131–145. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423016304107>.
20. Chernykh V.G., Otkrov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Determination of parameters of reliability-oriented maintenance of dump trucks of a coal mine. *Mining equipment and electromechanics*. 2025; 2(178):50–58. DOI: 10. 26730/1816-4528-2025-2-50-58. EDN: UJDKFC.

© 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, Burabayevsky GOK JSC (453821, Republic of Bashkortostan, Khaibullinsky district, Burabay 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.

