

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ENGINEERING TECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 629.017:629.018+629.3.027.3

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-23-31

**СТАТИСТИКА ОТКАЗОВ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ КАРЬЕРНЫХ
САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 ТОНН****Бокарев Александр Игоревич¹, Дианов Вадим Андреевич¹,
Карташов Александр Борисович¹, Арутюнян Георгий Артурович¹,
Дубинкин Дмитрий Михайлович², Пашков Дмитрий Алексеевич²**¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: ddm.tm@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

26 июня 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:карьерный самосвал,
статистика отказов, разрез,
повседневная эксплуатация,
углевоз, породовоз**Аннотация.**

В процессе проектирования карьерных самосвалов очень важно обеспечить необходимые свойства эксплуатационной надежности в заданных единицах ресурса, в первую очередь для компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси. Поскольку авторы статьи заняты разработкой вновь проектируемой карьерной техники, то в данном контексте процесс изучения эксплуатации карьерных самосвалов-аналогов является обязательной классикой любой модели процесса эволюции нового продукта. Процесс эксплуатации карьерных самосвалов тесно связан с вопросом поиска взаимосвязи их циклических отказов. В данной работе авторы описывают статистику отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов БелАЗ 7530 на угольных разрезах Кузбасса, где планируется эксплуатация вновь разрабатываемой карьерной техники. Статистика отказов с указанием ориентировочного пробега до отказа в условиях эксплуатации на угольных разрезах Кузбасса составлена по результатам технического осмотра самосвалов и обратной связи работников станций технического обслуживания для выбранных объектов исследования «углевозов» (конфигурация БелАЗ 7530) и «породовозов» (конфигурация БелАЗ 7530). Авторами отмечено, что наиболее слабыми местами модели БелАЗ 7530 с учетом пробега до возникновения первого отказа являются рама (первый отказ в худшем случае через 200 000 км); ступица (первый отказ в худшем случае через 200 000 км); мост (первый отказ в худшем случае через 225 000 км). По причине большего расстояния транспортирования горной массы в километрах от места погрузки до разгрузки «углевозом» в отличие от «породовоза» ходимость углевоза до отказа намного выше.

Для цитирования: Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б., Арутюнян Г. А., Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Статистика отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 23-31. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-23-31, EDN: BVKEVP

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической

программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Введение

В процессе проектирования карьерных самосвалов особенно остро ставится вопрос наличия в качестве исходных данных репрезентативных режимов нагружения для моделирования эксплуатационной надежности компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси [1-3]. С одной стороны, отказы данных компонентов и систем недопустимы в заданные единицы ресурса, однако, с другой стороны, наравне с надежностью требуется минимизировать массу для повышения показателей эффективности самосвала, что является компромиссным требованием [4-6]. Таким образом, компоненты самосвала, воспринимающие нагрузки, должны быть одновременно надежными и относительно легковесными. Поскольку авторы статьи заняты разработкой вновь проектируемой карьерной техники [7-9], то в данном контексте процесс изучения эксплуатации карьерных самосвалов-аналогов является обязательной классикой модели процесса эволюции нового продукта. Таким образом, в данном контексте необходима информация о специфике условий эксплуатации для удовлетворения в перспективе потребительским свойствам в отношении заданного ресурса в компромиссе с эффективностью выполнения транспортной работы [10-12].

Процесс эксплуатации карьерных самосвалов тесно связан с вопросом поиска взаимосвязи их циклических отказов [13-15]. Применение моделей карьерных самосвалов известного во

всем мире производителя карьерной техники ОАО «БелАЗ» широко распространено на угольных разрезах Кузбасса в основном по причинам сравнительно низкой стоимости. Циклические выходы из строя компонентов несущих систем моделей БелАЗ происходят чаще в сравнении с другими производителями карьерной техники – например, Caterpillar, Liebherr, NHL и другие. Однако ремонтпригодность моделей БелАЗ находится на сравнительно более высоком уровне. С другой стороны, модели самосвалов Caterpillar, Liebherr, NHL и другие самосвалы эксплуатируются на угольных разрезах Кузбасса не так давно и в более ограниченном количестве, а вот модели БелАЗ эксплуатируются уже давно с точки зрения наработки необходимого ресурса и даже его переработки, чтобы информативно сформировать необходимую статистику слабых мест отдельных моделей – в первую очередь с точки зрения наработки на ресурс компонентов несущих систем и направляющего аппарата подвески шасси.

Целью работы является анализ статистики отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн.

Статистика отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов

Модель БелАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т является одной из относительно надежных в сравнении с моделями БелАЗ грузоподъемностью выше 130 т [16, 17], однако данный показатель является условным. Условность заключается в том, что на других моделях самосвалов отсутствует



Рис. 1. Трещина на сварном шве в районе крепления тягового генератора
Fig. 1. A crack in the weld in the area of the traction generator attachment

Таблица 1. Таблица отказов БелАЗ 7530 «углевоз» и БелАЗ 7530 «породовоз»
 Table 1. Table of failures of BelAZ 7530 "carbohydrate" and BelAZ 7530 "rock carrier"

№	Узел	Описание отказа	Пробег до отказа, км	
			БелАЗ 7530 «породовоз»	БелАЗ 7530 «углевоз»
1	Рама	Трещина на сварном шве в районе крепления тягового генератора (задняя часть рамы). Заднее крепление палубы к лонжеронам рамы.	500000	200000-300000
2	Рама	Крепление задней (третья) поперечины к лонжерону (металл прямо кусками вырезают и заваривают новый)	600000	250000-350000
3	Рама	Место крепления цилиндра платформы (сварные швы и скругления трескаются)	700000	300000-400000
4	Рама	Поперечина под ДВС и генератором	500000	200000-300000
5	Рама	Трещины в районе крепления баков к раме (рама в месте за баками)	500000	250000-350000
6	Рама	Трещины в районе крепления первой поперечины к раме (поперечина балки крепления переднего моста)	500000	250000-350000
7	Рама	Центральный шарнир заднего моста	400000	200000-250000
8	Мост	Фланец крепления редуктора мотор колеса	450000	225000-275000
9	Мост	Выврана проушина и вварена новая	единожды	единожды
10	Ступица	Постоянно в районе скруглений (с лицевой стороны колеса) образуются трещины, вплоть до полного развития по всему диаметру (можно просто снять колесо вместе со ступицей)	350000	200000-250000

прогнозируемость и тенденции развития трещин – на самосвалах БелАЗ грузоподъемностью 220 т («породовозы») происходят резкие отказы (рамы лопаются без видимого развития трещин, поперечины разламываются пополам, причем иногда отказы могут быть не в сварном

соединении, а по корпусу несущего элемента). Совершенно очевидно, что у всех самосвалов БелАЗ, эксплуатируемых на угольных разрезах Кузбасса, имеются проблемы прочности и долговечности несущих систем [18-20], однако на моделях БелАЗ 7530 данные проблемы менее



Рис. 2. Трещины в районе крепления первой поперечины к раме

Fig. 2. Cracks in the area of attachment of the first crossbar to the frame



Рис. 3. Трещина в районе крепления центрального шарнира заднего моста

Fig. 3. A crack in the mounting area of the central hinge of the rear axle



Рис. 4. Трещина на фланце крепления редуктора мотор колеса

Fig. 4. Crack on the flange of the gearbox mounting wheel motor

выражены, поскольку развитие трещин можно обнаружить на этапе их зарождения методом периодического визуального осмотра. Это

позволяет предотвращать незапланированные отказы, потенциально влекущие долгий ремонт и производственные простои, в то время как на самосвалах большей грузоподъемности следует отметить проблему поиска причинно-следственных связей отказов: можно наблюдать одновременно несколько отказов. Причинно-следственную связь установить практически невозможно, поскольку наиболее вероятно самые нагруженные части несущей системы работают в зоне, близкой к малоцикловой долговечности, или же имеются нежелательные резонансы неподрессоренных частей и поддрессоренных. При наличии таких проблем прогнозируемость отказов очень низка.

По результатам технического осмотра самосвалов и обратной связи работников станций технического обслуживания для выбранных объектов исследования – «углевозов» (конфигурация БелАЗ 7530) и «породовозов» (конфигурация БелАЗ 7530) – составлена сравнительная таблица отказов с указанием ориентировочного пробега до отказа в условиях эксплуатации на угольных разрезах Кузбасса – см. Таблицу 1. На Рис. 1-4 представлены фото со следами отказов, приведенными в Таблице 1.

Иллюстрация основных отказов рамы представлена на Рис. 5. Номера позиций на Рис. 5 соответствует номерам отказов в Таблице 1

Таким образом, по статистике отказов можно сделать следующие выводы по наиболее слабым местам модели БелАЗ 7530 с учетом пробега до возникновения первого отказа:

- рама (первый отказ в худшем случае через 200 000 км);
- ступица (первый отказ в худшем случае через 200 000 км);
- мост (первый отказ в худшем случае через 225 000 км);
- ходимость «углевоза» до отказа намного выше (связано в первую очередь с большим для «углевоза» расстоянием в километрах от места погрузки до разгрузки, поэтому количество циклов погрузки-разгрузки по отношению к километрам пробега для «углевоза» меньше в среднем в 2 раза).

Выводы

По результатам проведенного исследования процесса эксплуатации «углевозов» и «породовозов» на базе модели БелАЗ 7530 в условиях работы на разрезе Кузбасса можно выделить, что отказы «углевозов» происходят гораздо реже «породовозов».

Следующим этапом авторами статьи рассматривается углубленное изучение процесса эксплуатации модели «углевозов» (конфигурация БелАЗ 7530) и «породовозов» (конфигурация БелАЗ 7530) в условиях горных дорог на одном из разрезов Кузбасса.

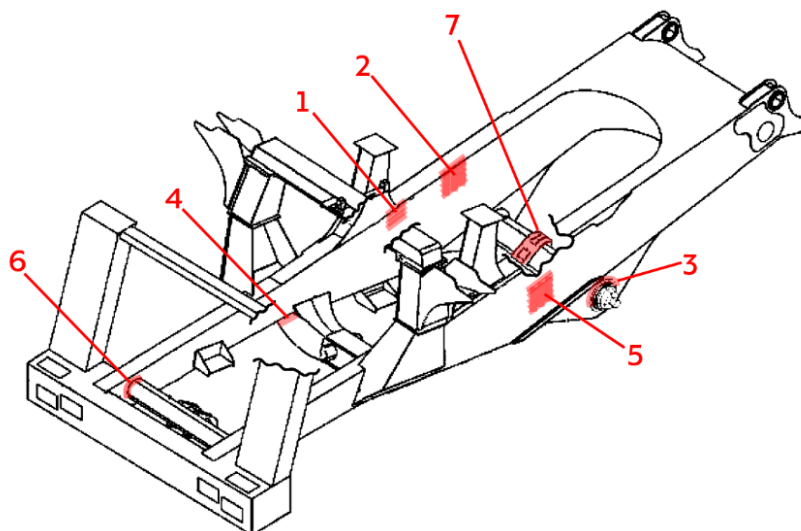


Рис. 5. Иллюстрация отказов рамы БелАЗ 7530
Fig. 5. Illustration of failures of the BelAZ 7530 frame

Список литературы

1. Арефьев С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Специальность: 25.00.22 «Геотехнология» (подземная, открытая и строительная)». Екатеринбург, 2015.

2. Буялич Г. Д., Фурман А. С. Исследование скоростных режимов движения карьерных самосвалов // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10 (41). URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnyx-rezhimov-dvizheniya-karernyx-avtosamosvalov> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064.

3. Барышников Ю. Н. Расчет нагрузок на несущую систему транспортных средств // Инженерный журнал: наука и инновации, 2013. Вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1141.html>

4. Фурман А. С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фурман Андрей Сергеевич, 2018. 137 с.

5. Дубинкин Д. М., Чичекин И. В., Левенков Я. Ю., Арутюнян Г. А. Разработка имитационной модели динамики карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на несущую систему и грузовую платформу при загрузке и разгрузке дисперсного груза // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 117–126. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47501657>

6. Горюнов С. В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горюнов Сергей Викторович, 2021. 124 с.

7. Хорешок А. А., Данилов С. Н., Дубинкин Д. М., Марков С. О., Тюленев М. А. Некоторые особенности отработки наклонных угольных пластов обратными гидролопатами в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 220 тонн // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 22. С. 91–99. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.

8. Pashkov D., Turgenev I., Semenov A. Fire extinguishing systems for dump trucks // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia. 2023. Vol. 402. Novosibirsk, Russia : EDP Sciences, 2023. P. 10024. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210024.

9. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В. Определение параметров модели угля для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Уголь. 2023. № S12(1175). С. 4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.

10. Пашков Д. А., Тарасюк И. А. Обоснование передней подвески беспилотного карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 17–1. С. 170–178. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-170-178.

11. Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Импортонезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. № 4(1166). С.

42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.

12. Kudrevatykh A. V., Furman A. S., Ascheulov A. S., Ashcheulova A. S., Karnadud O. S. Application of mathematical data processing to determine the actual technical state of the motor-wheel belaz gear box // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), St.Petersburg. 2021. Vol. 1889. Krasnoyarsk : IOP Publishing Ltd, 2021. P. 42028. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/4/042028.

13. Андреева Л. И., Красникова Т. И., Ушаков Ю. Ю. Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 5. С. 92–106.

14. Zhetesova G. S., Dandybaev E. S., Zhunuspekov D. S., Zhekibaeva K. K. Improvement of the organization of maintenance and repair of dump-cars // Material and Mechanical Engineering Technology. 2020. Т. 1. № 1. С. 33–38.

15. Toskunin I., Tyagunin A., Lagunov A., Kutinov Y., Chistova Z. Study of the features of the operation of a dump truck BELAZ 75131 at the enterprise of JSC "AGD DIAMONDS" in the conditions of the far north // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. С. 042042.

16. Воронов Ю. Е., Воронов А. Ю., Дубинкин Д. М., Максимова О. С. Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Уголь. 2023. № 11(1173). С. 65–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.

17. Дубинкин Д. М., Зеляева Е.А., Аксенов В.В. Технические решения несущих систем (рам) карьерных самосвалов как объект интеллектуальной собственности // Уголь. 2024. № 5(1180). С. 47–53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.

18. Khazin M. L., Furzikov V. V., Tarasov P. I. Increasing mining dump trucks operation efficiency with the use of gas piston engines // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 2. С. 77–85.

19. Зырянов И. В., Корняков М. В., Непомнящих К. А., Труфанов А. И., Храмовских В. А., Шевченко А. Н. Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов // Горная промышленность. 2024. № 3. С. 56–63. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-56-63.

20. Кузин Е. Г., Пудов Е. Ю., Дубинкин Д. М. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 2(154). С. 55–61. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

© 2024 Авторы. 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:

Бокарев Александр Игоревич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: bokarev@bmstu.ru

Дианов Вадим Андреевич – конструктор, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: vadianov@bmstu.ru

Карташов Александр Борисович – кандидат технических наук, директор центра, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: kartashov@bmstu.ru

Арутюнян Георгий Артурович – кандидат технических наук, заместитель директора, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: georgy.arut@bmstu.ru

Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Пашков Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Бокарев Александр Игоревич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Дианов Вадим Андреевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Карташов Александр Борисович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Арутюнян Георгий Артурович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Дубинкин Дмитрий Михайлович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Пашков Дмитрий Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

STATISTICS OF FAILURES OF HIGH-LOADED MINING DUMP TRUCK UNITS WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS

Alexander I. Bokarev¹, Vadim A. Dianov¹,
Aleksandr B. Kartashov¹, Georgy A. Arutyunyan¹,
Dmitry M. Dubinkin², Dmitry A. Pashkov²

¹Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN R&D

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: ddm.tm@kuzstu.ru

Abstract.

In the process of designing mining dump trucks, it is very important to ensure the necessary operational reliability properties in specified resource units, primarily for the components of the power structure of the bearing system and the chassis suspension guide. Since the authors of the article are engaged in the development of newly designed mining equipment, in this context, the process of studying the operation of mining dump trucks of analogues is an obligatory classic of any model of the process of evolution of a new product. The operation process of mining dump trucks is closely related to the issue of finding the relationship of their cyclic failures. In this paper, the authors describe the failure statistics of high-loaded BelAZ 7530 dump truck units at Kuzbass coal mines, where newly developed quarry equipment is planned to be operated. Failure statistics indicating the estimated mileage to failure under operating conditions at Kuzbass coal mines were compiled based on the results of a technical inspection of dump trucks and feedback from service station workers for selected research facilities of "carbon carriers" (BelAZ 7530 configuration) and "rock carriers" (BelAZ 7530 configuration). The authors noted that the weakest points of the BelAZ 7530 model, taking into account the mileage before the first failure, are the frame (the first failure in the worst case after 200,000 km); the hub (the first failure in the worst case after 200,000 km); bridge (first failure in the worst case after 225,000 km). Due to the longer distance of transporting rock mass in kilometers from the place of loading to unloading by a "carbon carrier", unlike a "rock carrier", the walking capacity of a carbon carrier to failure is much higher.



Article info

Received:

26 June 2024

Accepted for publication:

25 July 2024

Accepted:

29 August 2024

Published:

26 September 2024

Keywords: *dump truck, failure statistics, incision, daily operation, carbon, rock truck.*

For citation: Bokarev A. I., Dianov V. A., Kartashov A. B., Arutyunyan G. A., Dubinkin D. M., Pashkov D. A. Statistics of failures of high-loaded mining dump truck units with a load capacity of 220 tons. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):23-31. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-23-31, EDN: BVKEVP

Acknowledgments

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle «Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial

safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life» (the «Clean Coal – Green Kuzbass» Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project «Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a payload of 220 tons» in terms of research, development and experimental-design work.

REFERENCES

1. Arefyev S.A. Assessment and justification of rational road conditions for the operation of heavy-duty dump trucks / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Specialty: 25.00.22 - "Geotechnology" (underground, open and construction)". Yekaterinburg, 2015.
2. Buyalich G.D., Furman A.S. Investigation of high-speed modes of movement of quarry dump trucks / G.D. Buyalich. *International Scientific Research Journal*. 2015; 10 (41). URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnyx-rezhimov-dvizheniya-karernyx-avtosamosvalov> (date of application: 03/21/2024). DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064.
3. Baryshnikov Yu.N. Calculation of loads on the load-bearing system of vehicles. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2013; 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1141.html>
4. Furman A.S. Evaluation of the efficiency of operation of excavator-automobile complexes on technological routes of Kuzbass sections: specialty 05.05.06 "Mining machines" : dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Furman Andrey Sergeevich. 2018. 137 p.
5. Dubinkin D.M., Chichekin I.V., Levenkov Ya.Yu., Harutyunyan G.A. Development of a simulation model of the dynamics of a dump truck for determining the loads acting on the load-bearing system and the cargo platform during loading and unloading of dispersed cargo. *Mining industry*. 2021;(6):117–126. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47501657>
6. Goryunov S.V. Development of a methodology for predicting the durability of large-sized tires of dump trucks: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Goryunov SERGEY VIKTOROVICH, 2021. - 124 p.
7. Khoreshok A.A., Danilov S.N., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Some features of mining inclined coal seams with reverse hydraulic shovels in combination with dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023; 22:91–99. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
8. Pashkov D., Turgenev I., Semenov A. Fire extinguishing systems for dump trucks. *E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2023*. Novosibirsk, Russia. 2023; 402:10024. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210024.
9. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of coal model parameters for simulation of loading and unloading of a dump truck cargo platform. *Ugol*. 2023; S12(1175):4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.
10. Pashkov D.A., Tarasyuk I.A. Justification of the front suspension of an unmanned mining dump truck with a lifting capacity of 220 tons. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022; 17–1:170–178. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-170-178.
11. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import dependence of production of unmanned mining dump trucks. *Coal*. 2023; 4(1166):42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
12. Kudrevatykh A.V., Furman A.S., Ascheulov A.S., Ashcheulova A.S., Karnadud O.S. Application of mathematical data processing to determine the actual technical state of the motor-wheel belaz gear box. *Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021)*. St. Petersburg, 2021. Vol. 1889. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd; 2021. P. 42028. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/4/042028.
13. Andreeva L.I., Krasnikova T.I., Ushakov Yu.Yu. Methodology for the formation of an effective system for ensuring the operability of mining equipment. *Izvestia of higher educational institutions. Mining magazine*. 2019; 5; 92–106.
14. Zhetesova G.S., Dandybaev E.S., Zhunuspekov D.S., Zhekibaeva K.K. Improvement of the organization of maintenance and repair of dump-cars. *Material and Mechanical Engineering Technology*. 2020; 1(1):33–38.
15. Toskunin I., Tyagunin A., Lagunov A., Kutinov Y., Chistova Z. Study of the features of the operation of a dump truck BELAZ 75131 at the enterprise of JSC "AGD DIAMONDS" in the conditions of the far north. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience"*. 2020. P. 042042.
16. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Comparative assessment of the quality of functioning of existing and robotic excavator-automobile complexes of sections. *Ugol*. 2023; 11(1173):65–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.
17. Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A., Aksenov V.V. Technical solutions of bearing systems (frames) of dump trucks as an object of intellectual property. *Coal*. 2024; 5(1180):47–53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.
18. Khazin M.L., Furzikov V.V., Tarasov P.I. Increasing mining dump trucks operation efficiency with the use of gas piston engines. *Izvestia of higher educational institutions. Mining magazine*. 2020; 2:77–85.

19. Zyryanov I.V., Korniyakov M.V., Nepomnyashchikh K.A., Trufanov A.I., Khramovskikh V.A., Shevchenko A.N. Network automation platform for predicting failures of mining dump trucks. *Mining industry*. 2024; 3:56–63. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-56-63.

20. Kuzin E.G., Pudov E.Yu., Dubinkin D.M. Analysis of failures of mining dump truck units under operating conditions. *Mining equipment and electromechanics*. 2021; 2(154):55–61. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

© 2024 The Authors. 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 authors:

Alexander I. Bokarev – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: bokarev@bmstu.ru.

Vadim A. Dianov – Designer, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: vadianov@bmstu.ru.

Aleksandr B. Kartashov – Candidate of Technical Sciences, Director of the Centre, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: kartashov@bmstu.ru.

Georgy A. Arutyunyan – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Centre; e-mail: georgy.arut@bmstu.ru.

Dmitry M. Dubinkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Dmitry A. Pashkov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Alexander I. Bokarev – setting the research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Vadim A. Dianov – research problem statement, research conceptualisation, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Aleksandr B. Kartashov – research problem statement, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Georgy A. Arutyunyan – research problem statement, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Dmitry M. Dubinkin – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Dmitry A. Pashkov – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

All authors have read and approved the final manuscript.

