

Научная статья

УДК 629.017:629.018+629.3.027.3

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-35-41

Бокарев Александр Игоревич¹, Дианов Вадим Андреевич¹, Карташов Александр Борисович¹,
Арутюнян Георгий Артурович¹, Дубинкин Дмитрий Михайлович^{2,*},
Пашков Дмитрий Алексеевич²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*E-mail: ddm.tm@kuzstu

АНАЛИЗ ПОКАЗАНИЙ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 ТОНН



Информация о статье

Поступила:

31 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

22 ноября 2024 г.

Опубликована:

11 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, система динамического взвешивания, разрез, горная масса, углевоз, породовоз.

Аннотация.

Для повышения надежности техники необходимо изучение процессов ее эксплуатации. Изучение процесса эксплуатации карьерных самосвалов в условиях карьерных дорог позволяет проводить моделирования эксплуатационной надежности компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси. Полученные результаты изучения процессов эксплуатации КС являются исходными данными при моделировании. Для изучения процесса эксплуатации режимов нагружения проведены статистические исследования по показаниям системы динамического взвешивания БелАЗ-7530 за последние полгода (актуальность на февраль 2024 года) на одном из разрезов Кузбасса. Целью работы является анализ показаний системы динамического взвешивания при эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн. По результатам проведенного исследования процесса эксплуатации «углевозов» и «породовозов» на базе модели БелАЗ-7530 в условиях работы на разрезе Кузбасса сделаны следующие выводы: масса перевозимого груза на «углевозе» всегда больше, чем на «породовозе», ввиду разного объема грузовых платформ, плотности и фракции перевозимого груза (средняя масса перевозимого груза для «породовоза» составляет 175,0 [т], а для «углевоза» 200,4 [т]); за полгода встретился режим, где коэффициент загрузки грузовой платформы на «углевозе» составил 1,18 или 260 [т]; статистика асимметричности полностью груженых «углевозов» и «породовозов» за последние полгода эксплуатации показала, что самосвалы с вероятностью 56,4% перегружаются на левый борт от цикла к циклу.

Для цитирования: Бокарев А.И., Дианов В.А., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Дубинкин Д.М., Пашков Д.А. Анализ показаний системы динамического взвешивания при эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5 (175). С. 35-41. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-35-41, EDN: EHFZJE

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

Одним из основных способов повышения надежности техники является изучение ее эксплуатации [1-3]. Так, изучение процесса эксплуатации карьерных самосвалов (КС) в условиях карьерных дорог позволит проводить моделирование эксплуатационной надежности компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси [4-6]. Полученные результаты изучения процессов эксплуатации КС станут исходными данными при моделировании.

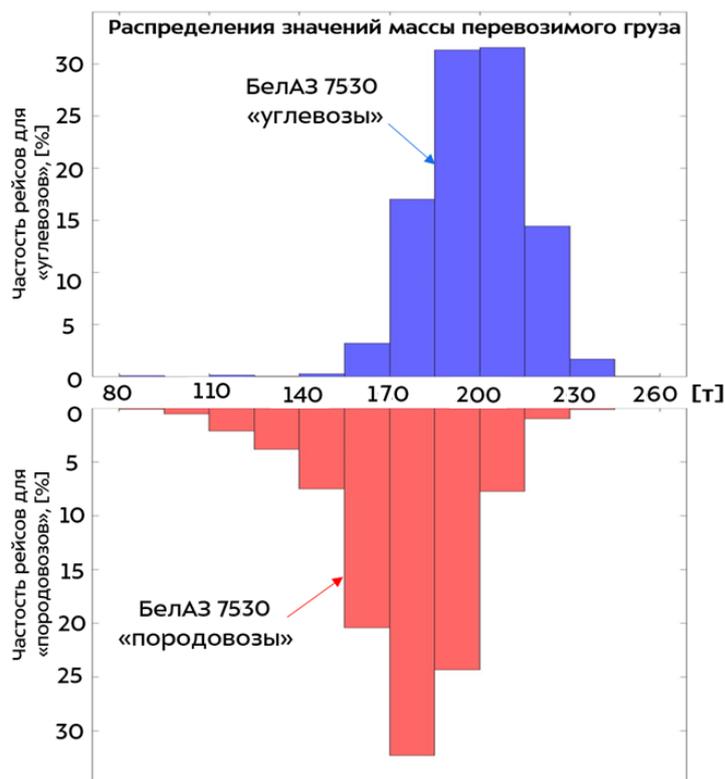


Рис. 1. Статистика распределения массы перевозимого груза для БелАЗ-7530

Fig. 1. Statistics of the distribution of the mass of the transported cargo for BelAZ-7530

Авторы статьи являются одними из разработчиков отечественных КС большой грузоподъемности [7-9]. В данном контексте процесс изучения эксплуатации карьерных самосвалов-аналогов является классикой модели процесса эволюции нового продукта [10-12].

Исходя из назначения КС, перевозить горную массу по карьере либо на отвал, либо на склад, масса перевозимого груза играют основную роль как на производительность КС, так и на его надежность [13-15].

Для изучения процесса эксплуатации от режимов нагружения до анализа условий проведены статистические исследования по данным показаний системы динамического взвешивания БелАЗ-7530 за последние полгода (актуальность на февраль 2024 года) на одном из разрезов Кузбасса.

Целью работы является анализ показаний системы динамического взвешивания при эксплуата-

ции карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн.

Показания системы динамического взвешивания карьерных самосвалов

На Рис. 1 представлена статистика по частоте распределения массы перевозимого груза для «углевозов» и «породовозов» отдельно. Масса перевозимого груза – масса породы или угля в грузовой платформе, вычисленная на основе данных динамического взвешивания.

Из анализа результатов массы перевозимого

груза можно сделать следующие выводы:

- средняя масса перевозимого груза для «породовоза» составляет 175,0 [т], а для «углевоза» – 200,4 [т];
- «углевоз» за один рейс в среднем перевозит в 1,15 раза груза больше, чем «породовоз».
- номинальная грузоподъемность самосвала БелАЗ-7530 составляет 220 [т] и паспорт загрузки предусматривает допустимый коэффициент загрузки грузовой платформы за рейс 0,90-0,92 [16-19], однако по факту коэффициент может достигать значения 1,18 или 260 [т].

Следует отдельно обратить внимание на то, что очень часто КС грузятся ассиметрично, хотя паспорт загрузки должен исключать данный негативный аспект – статистические данные по ассиметричной загрузке представлены на Рис. 2.

Особенности движения груженых КС «углевозов» и «породовозов» совокупно по общей статистике за полгода показывают вероятность ассиметричной загрузки на левый борт целых 56,4%, что является очень критичным показателем с точки зрения неравномерной нагруженности силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата самосвалов,

это может выражаться в развитии трещин и непредсказуемых отказов, если КС БелАЗ-7530 изначально не проектировали под данные условия эксплуатации.

Полученные результаты анализа показаний системы динамического взвешивания КС модели БелАЗ-7530 формируют необходимые предпосылки в области наработки нормативной методической базы для выстраивания эффективного процесса проектирования карьерных самосвалов, поскольку дают ценную информацию для возможности тщательной проработки методики моделирования эксплуатационной надежности КС [20-22].

Выводы

По результатам проведенного исследования процесса эксплуатации КС «углевозов» и «породовозов» на базе модели БелАЗ-7530 в условиях работы на разрезе Кузбасса можно сделать следующие суммарные выводы:

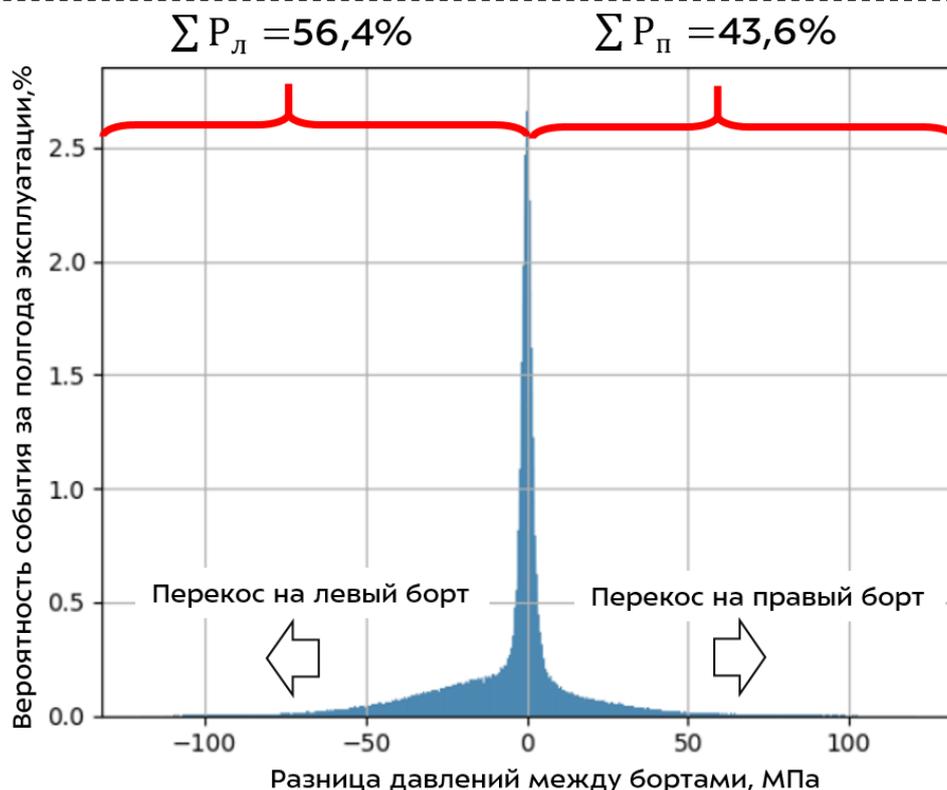


Рис. 2. Статистика асимметрии перевозимого груза для БелАЗ-7530 (по «углевозам» и «породовозам» совокупно за полгода)

Fig. 2. Statistics on the asymmetry of the transported cargo for BelAZ-7530 (for "carbon carriers" and "rock carriers" in total for six months)

- масса перевозимого груза на «углевозе» всегда больше, чем на «породовозе», ввиду разного объема грузовых платформ, плотности и фракции перевозимого груза (средняя масса перевозимого груза для «породовоза» составляет 175,0 [т], а для «углевоза» 200,4 [т]);

- номинальная грузоподъемность КС БелАЗ-7530 составляет 220 [т], а паспорт загрузки предусматривает разброс допустимого коэффициента загрузки грузовой платформы по данным маркшейдерского отдела в диапазоне 0,90...0,92, однако по факту из анализа телеметрии за полгода встретился режим, где коэффициент загрузки грузовой платформы на «углевозе» составил 1,18 или 260 [т];

- статистика асимметрии полностью груженых «углевозов» и «породовозов» за последние полгода эксплуатации показала, что КС с вероятностью 56,4% перегружаются на левый борт от цикла к циклу.

Развитие текущих результатов авторами статьи направлено на уточнение полученных данных режимометрирования путем планирования проведения испытаний КС модели БелАЗ-7530 в условиях разрезов Кузбасса отдельно «углевоза» и отдельно «породовоза» в режимах повседневной эксплуатации, что позволит значительно улучшить текущие результаты с точки зрения раскрытия особенностей и оцифровки режимов погрузки-разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паначев И. А., Кузнецов И. В. Анализ ресурса несущих элементов задних мостов карьерных

самосвалов в процессе их эксплуатации при различных значениях руководящего уклона трассы // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2019. № 3(40). С. 13–20. DOI: 10.24866/2227-6858/2019-3-2.

2. 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.

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. Доронин С. В., Донцова Т. В. Оценка и регулирование свойств рам карьерных самосвалов с трещиноподобными дефектами // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2012. № 6 (5). С. 703–714.

5. 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.

6. Москвичев В. В., Доронин С. В. Новые подходы к проектным решениям в горном машиностроении // Горный информационно-аналитический

бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 12. С. 61–70.

7. Дубинкин Д. М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2(160). С. 39–50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.

8. Дубинкин Д. М., Пашков Д.А. Импортне-зависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. № 4(1166). С. 42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.

9. 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.

10. 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.

11. 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-skorostnykh-rezhimov-dvizheniya-karernyx-avtosamosvalov> (дата обращения: 21.03.2024). DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064.

12. Dubinkin D., Kartashov A., Muraviev A., Buzunov N., Khlobystov I. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, October 19-21, 2021. Vol. 315. Kemerovo : EDP Sciences, 2021. P. 03021.

13. 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, 03-06 March 2021. Vol. 1889. Krasnoyarsk : IOP Publishing Ltd, 2021. P. 42028. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/4/042028.

14. Воронов А. Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / диссертация на соискание ученой степени кандидата

технических наук / Специальности: 05.05.06 – «Горные машины» и 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», Кемерово, 2015.

15. Найден С. Н. Разработка метода и средств диагностирования состояния коммутации тяговых двигателей карьерных самосвалов в условиях эксплуатации / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / специальность 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты, Омск, 2021.

16. Испеньков С. А., Ракицкий А. А. Моделирование динамической нагруженности рам карьерных самосвалов // ВЕСТНИК ОГУ. 2011. № 10(129).

17. Астахова А. А. Повышение долговечности рам карьерных автосамосвалов на основе исследования их напряженно-деформированного состояния / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / специальность 05.05.06 – Горные машины, Кемерово, 2007.

18. Доронин С. В., Донцова Т. В. Статистические модели микропрофиля дорог технологического транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. №3. С. 202–208, Иркутск, 2011.

19. Паначев И. А., Кузнецов И.В. К методике сохранения ресурса металлоконструкций заднего моста подвески большегрузных автосамосвалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. С. 82–90.

20. 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.

21. 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.

22. Дубинкин Д. М., Бокарев А. И. Разработка методики определения нагрузок на силовую структуру карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 5(169). С. 31–44. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.

© 2024 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:

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

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

Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени 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 имени 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

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-35-41

Alexander I. Bokarev¹, Vadim A. Dianov¹, Aleksandr B. Kartashov¹, Georgy A. Arutyunyan¹, Dmitry M. Dubinkin^{2,*}, Dmitry A. Pashkov²

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

² *T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University*

*E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

DYNAMIC WEIGHING SYSTEM DURING READINGS ANALYSIS THE OPERATION OF MINING DUMP TRUCKS WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS



Article info

Received:

31 October 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

22 November 2024

Published:

11 December 2024

Keywords: quarry dump truck, dynamic weighing system, in-

Abstract.

To improve the reliability of equipment, it is necessary to study the processes of its operation. The study of the operation of mining dump trucks in the conditions of quarry roads makes it possible to simulate the operational reliability of the components of the power structure of the bearing system and the chassis suspension guide. The obtained results of studying the processes of CS operation are the initial data for modeling. To study the operation of loading modes, statistical studies were conducted on the indications of the BelAZ 7530 dynamic weighing system over the past six months (relevance for February 2024) at one of the Kuzbass sections. The purpose of the work is to analyze the readings of the dynamic weighing system during the operation of mining dump trucks with a load capacity of 220 tons. According to the results of the study of the operation process of "carbon carriers" and "rock carriers" based on the BelAZ 7530 model in the conditions of operation at the Kuzbass section, the following were made: the mass of cargo transported on a "carbon carrier" is always greater than on a "rock carrier" due to the different volume of cargo platforms, density and fraction of cargo transported (the average weight of cargo transported for "the cargo carrier" is 175.0 [t], and for the "carbon carrier" 200.4 [t]); for

cision, rock mass, carbon carrier, rock carrier.

six months there was a regime where the loading factor of the cargo platform on the "carbon carrier" was 1.18 or 260 [t]; statistics on the asymmetry of fully loaded "carbon carriers" and "steam locomotives" over the last six months of operation have shown that dump trucks with a probability of 56.4% are overloaded to port from cycle to cycle.

For citation: Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Dynamic weighing system during readings analysis the operation of mining dump trucks with a load capacity of 220 tons. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 5(175):35-41 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-35-41, EDN: EHFZJE

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. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. Analysis of the resource of the bearing elements of the rear axles of quarry dump trucks during their operation at various values of the guiding slope of the highway. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2019; 3(40):13–20. DOI: 10.24866/2227-6858/2019-3-2.
2. 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.
3. Baryshnikov Yu.N. Calculation of loads on the carrier system of vehicles. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2013; 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1141.html>.
4. Doronin S.V., Dontsova T.V. Assessment and regulation of the properties of the frames of quarry dump trucks with crack-like defects. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies* 2012; 6(5):703–714.
5. 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.
6. Moskvichev V.V., Doronin S.V. New approaches to design solutions in mining engineering. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2008; 12:61–70.
7. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2022; 2(160):39–50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
8. 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.
9. 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. *Coal*. 2023; 11(1173):65–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.
10. 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.
11. Buyalich G.D., Furman A.S. Investigation of high-speed modes of movement of quarry dump trucks. *International Scientific Research Journal*. 2015; 10(41). URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnyx-rezhimov-dvizheniya-karenyx-avtosamosvalov> (date of application: 03/21/2024). DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064
12. Dubinkin D., Kartashov A., Muraviev A., Buzunov N., Khlobystov I. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models. *E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium*. Kemerovo, October 19-21, 2021. Vol. 315. Kemerovo: EDP Sciences; 2021. P. 03021.
13. 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, 03-06 March 2021. Vol. 1889. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd; 2021. P. 42028. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/4/042028.
14. Voronov A.Yu. Optimization of performance indicators of excavator-automobile complexes of sections / dissertation for the degree of candidate of tech-

nical Sciences / Specialties: 05.05.06 – "Mining machines" and 05.13.18 – "Mathematical modeling, numerical methods and software packages", Kemerovo, 2015.

15. Found S.N. Development of a method and means of diagnosing the state of switching of traction motors of mining dump trucks under operating conditions / dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences / specialty 05.09.01 – Electromechanics and electrical devices, Omsk, 2021.

16. Ispenkov S.A., Rakitsky A.A. Modeling of dynamic loading of frames of mining dump trucks. Bulletin of OSU. 2011; 10(129).

17. Astakhova A.A. Increasing the durability of dump truck frames based on the study of their stress-strain state / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / specialty 05.05.06 – Mining machines, Kemerovo, 2007.

18. Doronin S.V., Dontsova T.V. Statistical models of the microprofile of technological transport roads. *Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2011; 3:202–208.

19. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. To the methodology of preserving the resource of metal structures of the rear suspension bridge of heavy-duty dump trucks. *Physico-technical problems of mining.* 2015; 2:82–90.

20. 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 when loading and unloading dispersed cargo. *Mining industry.* 2021;(6):117–126. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.

21. 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.

22. Dubinkin D.M., Bokarev A.I. Development of a methodology for determining loads on the power structure of quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics.* 2023; 5(169):31–44. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.

© 2024 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:

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, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 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.

Authors have read and approved the final manuscript.

