

Научная статья

УДК 629.356 + 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-83-90

Зайцев Леонид Александрович¹, Бокарев Александр Игоревич¹, Дианов Вадим Андреевич¹,
Нескин Иван Владимирович¹, Садовец Владимир Юрьевич^{2*},
Закрасовский Дмитрий Иванович²

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»

² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: svyu.pmh@kuzstu.ru

СБОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ-7530 (ЧАСТЬ 1)



Информация о статье

Поступила:

30 июня 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 июля 2025 г.

Принята к печати:

01 августа 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, нагрузка систем автосамосвала, несущая система, долговечность, ходовая часть, эффективность эксплуатации, эксперимент, системы сбора данных, обработка сигналов

Аннотация.

Статья посвящена сбору экспериментальных данных в процессе эксплуатации карьерных автосамосвалов для дальнейшего определения нагруженности основных узлов жесткорамных автосамосвалов. В статье отмечена актуальность сбора экспериментальных данных об эксплуатации карьерных автосамосвалов. Представлен анализ статистических данных затрат при эксплуатации карьерных самосвалов. Обоснован объект исследования. Приведены климатические и горнотехнические условия эксплуатации карьерных самосвалов при испытаниях. На основе анализа статистики отказов при эксплуатации жесткорамных карьерных автосамосвалов выявлено, что значительное влияние на ресурс ходовой части несущей системы оказывают режимы эксплуатации карьерного автосамосвала. Как следствие, определена взаимосвязь параметров движения карьерного автосамосвала и долговечности его высоконагруженных узлов. Выявлена значительная нехватка данных в области экспериментальных данных о режимах движения автосамосвала. Для получения достоверных данных об эксплуатационных режимах автосамосвала авторами работы выполнен сбор экспериментальных данных при выполнении транспортных работ по погрузке, транспортировке, разгрузке полезных ископаемых и вскрышной породы после буровзрывных работ. Представлена структура методических указаний к рациональному процессу сбора эксплуатационных нагрузок, а также конкретика по выбору измерительного оборудования и программы испытаний. Полученные результаты формируют серьезный задел в области экспериментальных исследований карьерной техники. Использование статистически обоснованных нагрузочных режимов на этапе проектирования систем карьерного автосамосвала предлагается как основное направление для снижения склонности высоконагруженных узлов автосамосвала к локальному трещинообразованию. Описаны основные принципы сбора данных об эксплуатационных режимах

Для цитирования: Зайцев Л.А., Бокарев А.И., Дианов В.А., Нескин И.В., Садовец В.Ю., Закрасовский Д.И. Сбор экспериментальных данных об эксплуатации карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ-7530 (часть 1) // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 4 (180). С. 83-90. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-83-90, EDN: TKHKNA

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

Введение

Автомобильный транспорт является основным способом транспортировки полезных ископаемых на угледобывающих предприятиях [1-3]. Эффективность данного способа транспортировки непосредственно связана с затратами при эксплуатации и определяется временем простоя автосамосвалов, вызванного техническим обслуживанием – как плановым, так и внеплановым, связанным с отказами и преждевременным износом узлов и агрегатов техники. Анализ статистических данных показывает, что простой карьерных автосамосвалов при техническом обслуживании и ремонте составляет до 20-30% от всего рабочего времени, а трудозатраты на эту работу достигают 50-60% от общих трудозатрат [4]. До половины от общего объема затрат приходится на амортизационные отчисления и техническое обслуживание самосвалов, что демонстрирует диаграмма на Рис. **Ошибка! Источник с ссылки не найден.**, отражающая затраты при эксплуатации карьерных автосамосвалов Komatsu HD1200 и БЕЛАЗ-75211 [5].

Анализ диаграмм позволяет утверждать, что значительная часть затрат при эксплуатации карьерного автосамосвала связана с техническим обслуживанием, а наиболее трудоемкие операции технического обслуживания, в свою очередь, связаны с ремонтом несущих систем и ходовой части ввиду несовершенства конструкции и технологий изготовления. Так, ряд современных исследований

свидетельствует о проблеме локального трещинообразования в металлоконструкциях жесткорамных карьерных автосамосвалов [6-8]. Сложные горно-геологические и горно-технологические условия эксплуатации автосамосвалов приводят к накоплению усталостных повреждений и преждевременному выходу несущей системы и ходовой части автосамосвала из строя [9-11].

Существующие исследования подтверждают, что одной из основных причин снижения эффективности эксплуатации карьерного автосамосвала является повышенное число отказов в несущей системе и ходовой части, требующее дополнительного исследования. Таким образом, проблема низкой надежности элементов несущей системы и ходовой части карьерных автосамосвалов, эксплуатирующихся на карьере, является актуальной и требует решения на базе расчетно-экспериментальных исследований.

Настоящая работа посвящена реализации части исследования проблемы низкой надежности карьерных самосвалов путем сбора экспериментальных данных об эксплуатации карьерных самосвалов в разрезе. Исследование позволит в дальнейшем реализовать метод расчетного определения нагруженности узлов карьерного автосамосвала с целью анализа путей повышения ресурса ходовой части и несущей системы карьерного автосамосвала.

Объект исследования

Объектом исследования в рамках работы вы-

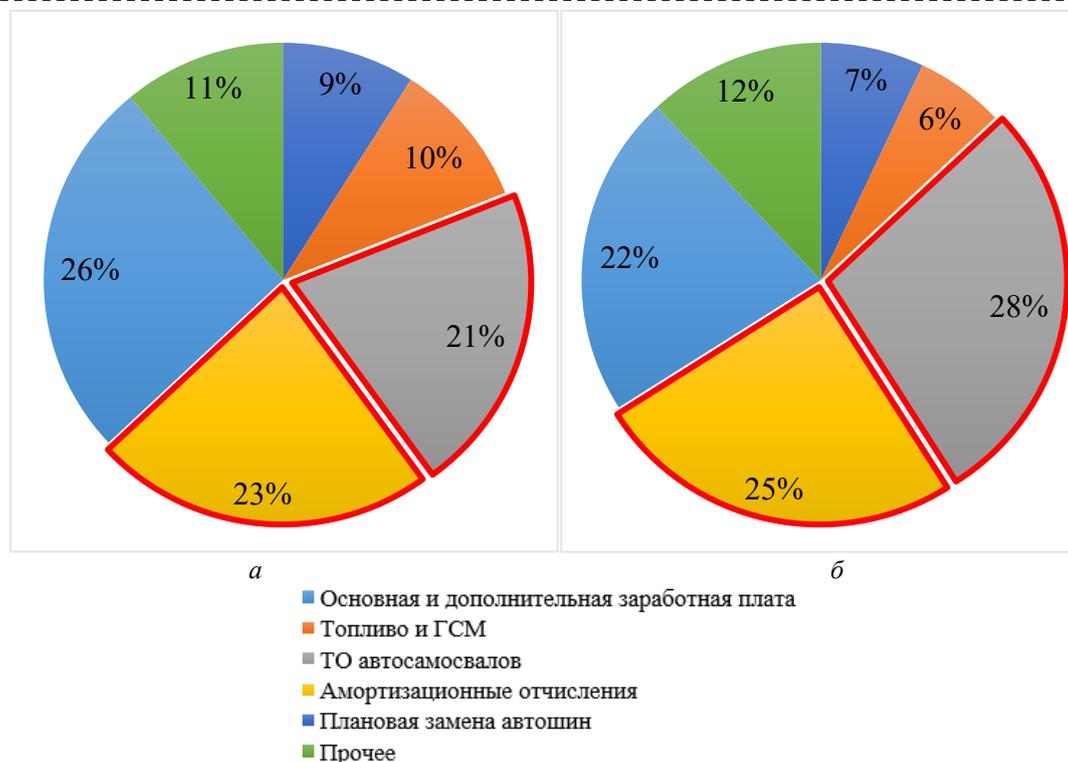


Рис. 1. Затраты при эксплуатации карьерных автосамосвалов:

а – Komatsu HD 1200; б – БЕЛАЗ-75211

Fig. 1. Operating costs of mining dump trucks: a – Komatsu HD 1200; b – BELAZ-75211

бран карьерный автосамосвал БЕЛАЗ-7530 грузоподъемностью 220 т.

Выбор модели автосамосвала для проведения исследований основан на ряде факторов:

— карьерные автосамосвалы БЕЛАЗ занимают лидирующие позиции на рынке карьерных автосамосвалов в горнодобывающей отрасли России [12-14];

— для линейки карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ характерна одинаковая локализация очагов трещинообразования, приводящая к преждевременным отказам элементов несущей системы и подвески автосамосвала;

— для самосвалов БЕЛАЗ-7530 грузоподъемностью 220 т в меньшей степени выражена проблема непрогнозируемого и стремительного развития трещин в несущей системе, трещинообразование происходит длительно и без резкого перехода в отказ;

— автосамосвалы БЕЛАЗ-7530 в месте проведения испытаний эксплуатируются в 2 различных модификациях, что позволяет качественно и количественно сравнить режимы нагружения в повседневной эксплуатации в зависимости от модификации.

Исследуемые на разрезе модификации автосамосвалов БЕЛАЗ-7530 и сравнительный анализ режимов работы представлены на Рис. 2.

В качестве места проведения испытаний выбран один из разрезов Кузбасса, который благодаря развитой территории, суровым климатическим условиям и разнообразию горных дорог протяженностью свыше 170 км позволяет оценить широкий спектр эксплуатационных режимов автосамосвалов. Углы подъема и спуска карьерных дорог достигают 8°, а температура в зимний период может опускаться ниже -45°С, что становится настоящим

испытательным полигоном для карьерной техники даже в условиях штатной эксплуатации.

Анализ статистических данных об отказах высоконагруженных узлов

В предыдущих работах [15, 16] авторами проведен анализ статистики отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов БЕЛАЗ и проведена оценка типовых циклов эксплуатации карьерного автосамосвала.

Статистические данные существующих публикаций [15, 16] свидетельствуют о проблемах прочности и долговечности несущих систем карьерных автосамосвалов. Элементы ходовой части и несущая система выходят из строя раньше расчетного срока эксплуатации 1 млн км ввиду локального трещинообразования. Средний пробег до отказа (в тыс. км) основных узлов исследуемых автосамосвалов указан на столбчатой диаграмме на Рис. 3.

На основе существующих статистических данных возможно сделать ряд выводов:

— отказы в несущей системе и ходовой части карьерного автосамосвала наступают при пробегах 200 тыс. км, что значительно меньше расчетного срока эксплуатации 1 млн км;

— отказы в несущей системе «породовозов» БЕЛАЗ-75138 наступают раньше, чем на «углевозах» БЕЛАЗ-75131, и случаются в худшем случае уже на 200 тысячах км пробега, что является следствием значительно отличающихся циклов эксплуатации двух типов автосамосвалов.

Таким образом, значительное влияние на ресурс ходовой части несущей системы оказывают режимы эксплуатации карьерного автосамосвала. Проанализированные исследования указывают на взаимосвязь параметров движения карьерного автосамосвала и долговечности его высоконагруженных узлов, однако имеет место значительная нехватка данных в области экспериментальных данных о режимах движения автосамосвала.



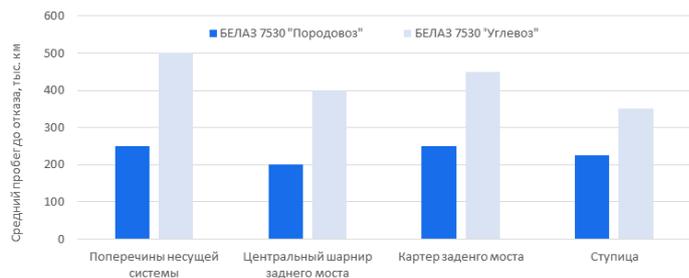


Рис. 3. Средний пробег до отказа (в км) несущей системы и компонентов системы поддрессоривания исследуемых моделей БЕЛАЗ-7530

Fig. 3. Average mileage to failure (in km) of the load-bearing system and components of the suspension system of the investigated BELAZ-7530 models

Для получения достоверных данных об эксплуатационных режимах автосамосвала авторами работы выполнен сбор экспериментальных данных при выполнении транспортных работ по погрузке, транспортировке, разгрузке полезных ископаемых и вскрышной породы после буровзрывных работ.

Методика проведения испытаний

Сбор экспериментальных данных об эксплуатации автосамосвала представляет в первую очередь задачу по сбору временной истории действующих на автосамосвал нагрузок.

Краткая характеристика возможных методов сбора данных о колесных нагрузках применительно для карьерной техники представлена на Рис. 4.

Как следует из приведенного сравнения на Рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, единственным возможным и эффективным методом сбора данных о нагруженности может являться метод с применением датчиков ускорений. Другие способы исследования нагруженности на данный момент не являются доступными для карьерной техники.

Структурная схема методики сбора экспериментальных данных о нагруженности представлена на Рис 5 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Основными этапами методики сбора экспериментальных данных являются:

- подготовка самосвалов к испытаниям (оснащение объектов исследования измерительным оборудованием и системой сбора данных, проверка правильной работоспособности и функционирования измерительной системы);
- проведение испытаний по режимометрированию типовых эксплуатационных режимов автосамосвала (программа испытаний учитывает отработку отдельных режимов вне горных дорог разреза и типовую эксплуатацию карьерных самосвалов: погрузка -> транспортировка полезных ископаемых или вскрышной породы -> разгрузка -> движение к месту погрузки);
- демонтаж измерительного оборудования;
- обработка и последующий анализ полученных

Методы сбора данных о колесных нагрузках

Динамометрические колеса:

- требуются динамометрические колеса нестандартного типоразмера и характеристиками (специальная дорогостоящая разработка для карьерной техники);
- обеспечивают возможность получения прямых данных на грузке на колесе;
- требуется разработка специального адаптера для монтажа колеса.

Применение датчиков ускорений:

- применение типового акселерометра (все компоненты стандартные);
- простой и быстрый монтаж, присутствует риск повреждения проводов;
- требуется разработка специальных методик для правильной интерпретации показателей ускорения с нагрузкой.

Применение анализатора на базе тензорезисторов (например, анализатор RU-846 от Dynatron Corporation Ltd):

- измерение деформаций на вращающейся части колеса;
- универсальное решение, не зависящее от типоразмера колеса;
- необходимость предварительного определения передаточной функции системы;
- оборудование не внесено в реестр систем измерения РФ.

Применение тензорезисторов на несущей системе:

- измерение деформаций в нагруженных зонах конструкции;
- очень длительный процесс монтажа тензодатчиков и их калибровки;
- калибровка требует специального оборудования для нагружения несущей системы;
- большое количество проводов и вероятность их повреждения при эксплуатации самосвалов высока.

Рис. 4. Методы оценки нагруженности колесной техники

Fig. 4. Methods for assessing the load of wheeled vehicles

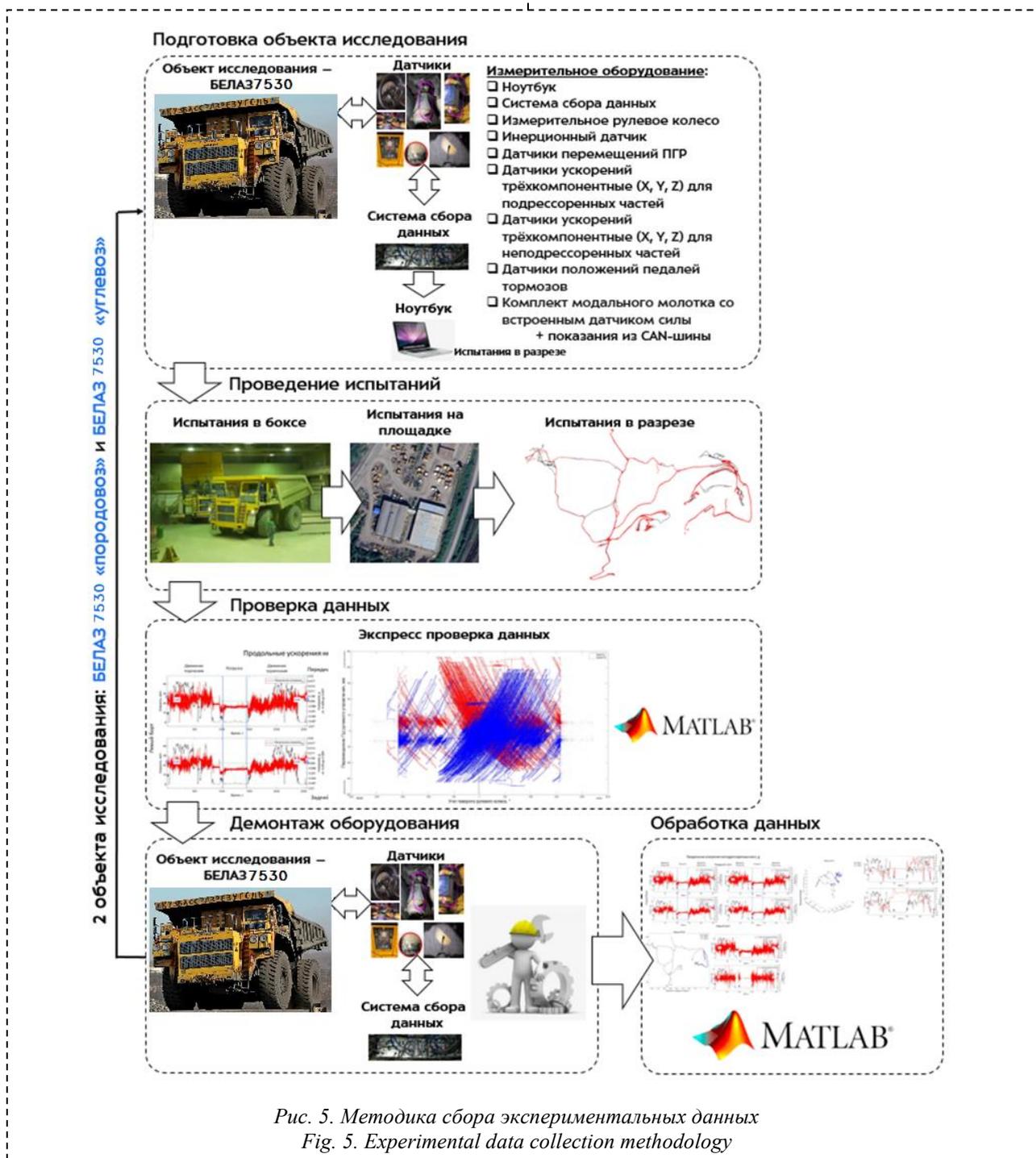


Рис. 5. Методика сбора экспериментальных данных
Fig. 5. Experimental data collection methodology

данных.

Структурная схема методики на Рис. 5 учитывает последовательный процесс проведения испытаний БЕЛАЗ-7530 типа «породовоз» (предназначен для транспортировки вскрышной породы после буровзрывных пород) и БЕЛАЗ-7530 типа «углевоз» (предназначен для транспортировки полезных ископаемых – угля).

Выводы

Выполненные работы являются предварительной проработкой для сбора экспериментальных данных об эксплуатации карьерных самосвалов БЕЛАЗ-7530, обеспечивающих возможности реализации метода расчетного определения нагруженности узлов карьерного автосамосвала с целью анали-

за путей повышения ресурса ходовой части и несущей системы карьерного автосамосвала.

В представленной работе отражена описательная часть и структура методических указаний к рациональному процессу сбора эксплуатационных нагрузок, а также конкретика по выбору измерительного оборудования и программы испытаний, что формирует серьезный задел в области экспериментальных исследований карьерной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгушин А. М. Аварийные простои карьерных самосвалов по причине отказов редукторов мотор-колеса // Вестник науки. 2024. Т. 4. № 3 (72). С. 361–366.
2. Воронов А. Ю., Хорешок А. А., Воронов Ю. Е., Дубинкин Д. М., Воронов А. Ю. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов.

Горная промышленность. 2022. № 5. С. 92–98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.

3. Воронов Ю. Е., Воронов А. Ю., Дубинкин Д. М. [и др.] Сравнительная оценка качества действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Уголь. 2023. № 11. С. 65–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.

4. Кулешов А. А. Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта: справочник. Ч. 2. СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1995. 203 с.

5. Казарез А. Н., Кулешов А. А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией. М.: Недра, 1988. 264 с.

6. Паначев И. А., Кузнецов И. В. О трещинообразовании в металлоконструкциях большегрузных автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса // Вестник ИШ ДВФУ. 2018. № 3 (36).

7. Мягих И. Д., Назаров М. В., Абабков Н. В., Зеляева Е. А. Обзор распределения дефектов рам карьерных самосвалов // В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022. Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции. Редакция: А. А. Хорешок (отв. редактор), А. И. Фомин [и др.]. Кемерово, 2022.

8. Хорешок А. А., Дубинкин Д. М., Зеляева Е. А. Обзор конструкций несущих систем (рам) карьерных самосвалов грузоподъемностью до 110 т // Техника и технология горного дела. 2022. № 1 (16).

9. Зырянов И. В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации: дис. ... д-ра тех. наук. СПб., 2006. 378 с.

10. Дубинкин Д. М., Зеляева Е. А., Аксенов В. В. Технические решения несущих систем (рам) карьерных самосвалов как объект интеллектуальной собственности

// Уголь. 2024. № 5. С. 47–53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.

11. Рахаев С. М., Газизуллин Р. Л., Карташов А. Б., Дубинкин Д. М., Зеляева Е. А. Выбор нагрузочных режимов на начальных этапах проектирования несущих систем (рам) карьерных самосвалов // Техника и технология горного дела. 2023. № 4(23). С. 41–55. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-41-55.

12. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В., Исмаилова Ш. Я. Тенденции развития грузовых платформ карьерных самосвалов. Горная промышленность. 2023. № 3. С. 72–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.

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

14. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В. Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т) // Уголь. 2023. № S12. С. 11–19. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-11-19.

15. Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б., Артюнян Г. А., Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Статистика отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2(160).

16. Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б., Артюнян Г. А., Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Типовые циклы эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5(160).

© 2025 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:

Зайцев Леонид Александрович – конструктор, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: zaitsev@bmstu.ru

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

Нескин Иван Владимирович – техник-конструктор, г. Москва, Российская Федерация, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»; e-mail: neskin@bmstu.ru

Садовец Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Закрасовский Дмитрий Иванович – младший научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Заявленный вклад авторов:

Зайцев Леонид Александрович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

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.

Нескин Иван Владимирович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Садовец Владимир Юрьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Leonid A. Zaitsev¹, Alexander I. Bokarev¹, Vadim A. Dianov¹, Ivan V. Neskin¹, Vladimir Yu. Sadovets^{2*}, Dmitry I. Zakrasovsky²

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

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: svyu.pmh@kuzstu.ru

EXPERIMENTAL DATA COLLECTION ABOUT DUMP TRUCK BELAZ-7530 OPERATION IN AN OPEN PIT MINE (PART 1)



Article info

Received:

30 June 2025

Accepted for publication:

30 July 2025

Accepted:

01 August 2025

Published:

28 August 2025

Keywords: mining dump truck, loading of dump truck systems, load-bearing system, durability, chassis, operational efficiency, experiment, data logging systems, signal processing.

Abstract.

The article is devoted to the collection of experimental data during the operation of quarry dump trucks to further determine the load of the main components of rigid-frame dump trucks. The article highlights the relevance of collecting experimental data on the operation of mining dump trucks. The analysis of statistical data on the costs of operating mining dump trucks is presented. The object of the study is justified. The climatic and mining technical conditions of operation of mining dump trucks during testing are given. Based on the analysis of failure statistics during operation of rigid-frame mining dump trucks, it was revealed that the operating modes of a mining dump truck have a significant impact on the life of the chassis of the bearing system. As a result, the relationship between the movement parameters of a mining dump truck and the durability of its highly loaded components has been determined. There is a significant lack of data in the field of experimental data on dump truck driving modes. In order to obtain reliable data on the operating conditions of a dump truck, the authors collected experimental data during transportation operations for loading, transporting, and unloading minerals and overburden after drilling and blasting operations. The structure of methodological guidelines for the rational process of collecting operational loads is presented, as well as specifics on the choice of measuring equipment and test program. The results obtained from a serious foundation in the field of experimental research of mining equipment. The use of statistically justified load conditions at the design stage of dump truck mining systems is proposed as the main direction to reduce the tendency of highly loaded dump truck components to local cracking. The basic principles of collecting data on operating conditions are described

For citation: Zaitsev L.A., Bokarev A.I., Dianov V.A., Neskin I.V., Sadovets V.Yu., Zakrasovsky D.I. Experimental data collection about dump truck BELAZ-7530 operation in an open pit mine (part 1). Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 4(180):83-90 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-83-90, EDN: TKHKNA

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. Dolgushin A.M. Emergency downtime of mining dump trucks due to failures of gearboxes of the motor wheel. *Bulletin of Science*. 2024; 4(3(72)):361–366.
2. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M., Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections. *Mining indus-*

try. 2022;(5):92–98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.

3. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M. [et al.] Comparative assessment of the quality of existing and robotic excavator-automobile cutting complexes. *Coal*. 2023; 11:65–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.

4. Kuleshov A.A. Design and operation of quarry vehicles: handbook. Part 2. St. Petersburg: St. Petersburg Mining Institute; 1995. 203 p.

5. Kazarez A.N., Kuleshov A.A. Operation of mining dump trucks with electromechanical transmission. Moscow: Nedra; 1988. 264 p.

6. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. On cracking in metal structures of heavy-duty dump trucks during operation in the Kuzbass mines. *Bulletin of the FEFU ISH*. 2018; 3(36).

7. Soft I.D., Nazarov M.V., Ababkov N.V., Zelyaeva E.A. Review of the distribution of defects in the frames of mining dump trucks. *In the collection: Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2022. Collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference*. Editorial board: A.A. Khoreshok (editor-in-chief), A.I. Fomin [et al.] Kemerovo, 2022.

8. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A. A review of the designs of bearing systems (frames) of mining dump trucks with a lifting capacity of up to 110 tons. *Mining engineering and technology*. 2022; 1(16).

9. Zyryanov I.V. Improving the efficiency of quarry vehicle systems in extreme operating conditions: dis. ... Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg, 2006. 378 p.

10. Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A., Aksenov V.V. Technical solutions for bearing systems (frames) of mining dump trucks as an object of intellectual property. *Ugol*. 2024;(5):47–53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.

11. Rakhaev S.M., Gazizullin R.L., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A. The choice of load modes at the initial stages of designing load-bearing systems (frames) of mining dump trucks. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2023; 4(23):41–55. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-41-55.

12. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. Trends in the development of cargo platforms of dump trucks. *Mining industry*. 2023;(3):72–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.

13. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of coal model parameters for simulation of loading and unloading of a cargo platform of a quarry dump. *Coal*. 2023; S12:4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023- S12-4-10.

14. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. The influence of the coal loading process into the cargo platform on the utilization factor of the BelAZ-7530 dump truck (220 tons). *Coal*. 2023; S12:11–19. DOI: 10.18796/0041-5790-2022- S12-11-19.

15. Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Statistics of failures of highly loaded components of dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 2(160).

16. Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Typical cycles of operation of dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 5(160).

© 2025 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:

Leonid A. Zaitsev – Designer, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Center; e-mail: zaitsev@bmstu.ru

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

Ivan V. Neskin – Design technician, Moscow, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN REC; e-mail: neskin@bmstu.ru

Vladimir Yu. Sadovets – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Dmitry I. Zakrasovsky – Junior Researcher, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Contribution of the authors:

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

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

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

Ivan V. Neskin – research problem statement, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Vladimir Yu. Sadovets – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Dmitry I. Zakrasovsky – 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.

