



УДК 629.017:629.018+629.3.027.3

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ-7531

Бокарев А.И.¹, Дианов В.А.¹, Карташов А.Б.¹, Арутюнян Г.А.¹, Дубинкин Д.М.²,
Пашков Д.А.²

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

²Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

11 октября 2024 г.

Рецензирование:

14 ноября 2024 г.

Принята к печати:

18 ноября 2024 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал,
эксплуатационная надежность,
разрез, карьер, повседневная
эксплуатация, породовоз,
углевоз.

Аннотация.

Проектирование компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси карьерных самосвалов (КС) необходимо проводить при наличии репрезентативных режимов их нагружения. Обеспечение эксплуатационной надежности первично определяется наличием математического описания репрезентативных условий и режимов эксплуатации карьерных самосвалов на технологических трассах разрезов, а вторично применяемыми инструментами, методами и методиками моделирования нагруженности, адаптированными под исходные данные. 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. В данной работе авторы описывают результаты изучения процесса эксплуатации карьерных самосвалов БЕЛАЗ-7531 на разрезах Кузбасса, где планируется эксплуатация вновь разрабатываемой карьерной техники. Приводимая информация обладает высокой практической значимостью для исследователей и ученых, занимающихся проектированием горного автопарка и анализом взаимосвязи эксплуатационной надежности с производительностью. Целью работы является формирование предпосылок в области наработки нормативной методической базы для выстраивания эффективного процесса проектирования карьерных самосвалов.

Для цитирования: Бокарев А.И., Дианов В.А., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Дубинкин Д.М., Пашков Д.А. Анализ процесса эксплуатации карьерных самосвалов БЕЛАЗ-7531 // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 4(27). – С. 66-79. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-4-66-79

Введение

В РФ с 2022 г. ведутся работы по созданию высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов (АКС) грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом. Авторы статьи являются одними из разработчиков АКС. Разработка и создание новых карьерных самосвалов (КС) должны сопровождаться исследованием их процессов эксплуатации. Проведение подобных исследований позволит повысить надежность и производительность КС.

Вопросами изучения особенностей горных условий эксплуатации карьерного транспорта занимались такие ученые и исследователи, как С.А. Арефьев [1], Б.У. Бусел [2], Г.Д. Буялич [3], С.С. Сайдуллозода [4], Ю.Н. Барышников [5], Д.А. Клебанов [6], А.С. Фурман [7], А.Ю. Воронов [8], С.Н. Найденов [9], С.А. Испеньков и А.А. Ракицкий [10], Т.В. Астахова [11], С.В. Доронин [12], С.В. Доронина и Т.В. Донцова [13-14], В.В. Москвичев [15], И.А. Паначев и И.В. Кузнецов [16], А.А. Хорешок [17-18] и многие другие. Рассмотренные труды могут быть полезными для аккумулирования статистических данных эксплуатации КС и для дальнейшего их использования



при разработке и совершенствовании расчетных методик моделирования эксплуатационной надежности. Результаты исследований [1-18] направлены на решения частных задач надежности КС и лишь частично отражают характер их условий эксплуатации.

Проектирование компонентов силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата подвески шасси КС необходимо проводить при наличии репрезентативных режимов их нагружения. Отказы проектируемых компонентов и систем недопустимы в заданные единицы ресурса, однако требуется и минимизировать массу для повышения показателей эффективности КС, создавая тем самым актуальность поиска компромисса. Таким образом, компоненты самосвала, воспринимающие нагрузки, должны быть одновременно надежными и относительно легковесными.

В данном контексте процесс изучения эксплуатации КС аналогов является классикой модели процесса эволюции нового продукта. При изучении эксплуатации аналогов необходимо выявить и взаимосвязи их циклических отказов.

Применение моделей КС известного во всем мире производителя карьерной техники БЕЛАЗ широко распространено на разрезах Кузбасса в основном по причинам сравнительно низкой стоимости. Цикличные 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 сравнительно на более высоком уровне. С другой стороны модели КС Caterpillar, Liebherr, NHL и другие эксплуатируются на разрезах Кузбасса в меньшей степени, чем БЕЛАЗ. По этой причине авторы статьи акцентируют свое внимание именно на изучении процесса эксплуатации моделей производителя БЕЛАЗ. Для АКС наиболее распространенным аналогом является БЕЛАЗ-7531 [10-12].

В совокупном смысле вопросы эксплуатации карьерного транспорта в условиях горных дорог разрезов Кузбасса и в целом России остаются все еще недостаточно изученными для однозначного и универсального использования в методиках моделирования нагруженности. Данная информация косвенно подтверждается наиболее современными трудами [19-22] в области формирования исходных данных для моделирования нагруженности, где рассматриваются вопросы определения нагрузок на несущую систему и направляющий аппарат карьерного самосвала на базе все еще недостаточно обоснованных принятых режимов и условий эксплуатации карьерного транспорта.

На горнодобывающих предприятиях активно внедряется диспетчеризация [18-20], которая позволяет в режиме реального времени вести наблюдение за процессами эксплуатации карьерных самосвалов. При сборе показаний телеметрии возможно провести статистические исследования процессов эксплуатации в определенный период времени [21, 22].

Таким образом, тема обзорного анализа повседневных эксплуатационных режимов карьерных самосвалов в условиях разреза является актуальной и добавляет определенный вклад в направление моделирования эксплуатационной надежности карьерной горной техники.

Описание типовых циклов эксплуатации карьерных самосвалов

КС можно классифицировать на транспортирующие полезные ископаемые и, транспортирующие вскрышную породу (вскрыша). Кузбасс является одним из самых крупных угольных месторождений мира, где добывается уголь в качестве полезных ископаемых. На примере Кузбасса КС, транспортирующий полезное ископаемое, принято называть «углевоз», а транспортирующий вскрышу – «породовоз». Типовой цикл эксплуатации «углевоза»: транспортировка угля из забоя на обогатительную фабрику или угольный склад. Типовой цикл эксплуатации «породовоза»: транспортировка больших объемов вскрышной породы после проведения буровзрывных работ из забоя в отвал. Усредненное количество работ, связанной с перевозом вскрышной породы, составляет 92%, и всего 8% КС транспортируют уголь. Общая иллюстрация типовых циклов эксплуатации карьерного самосвала представлена на Рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

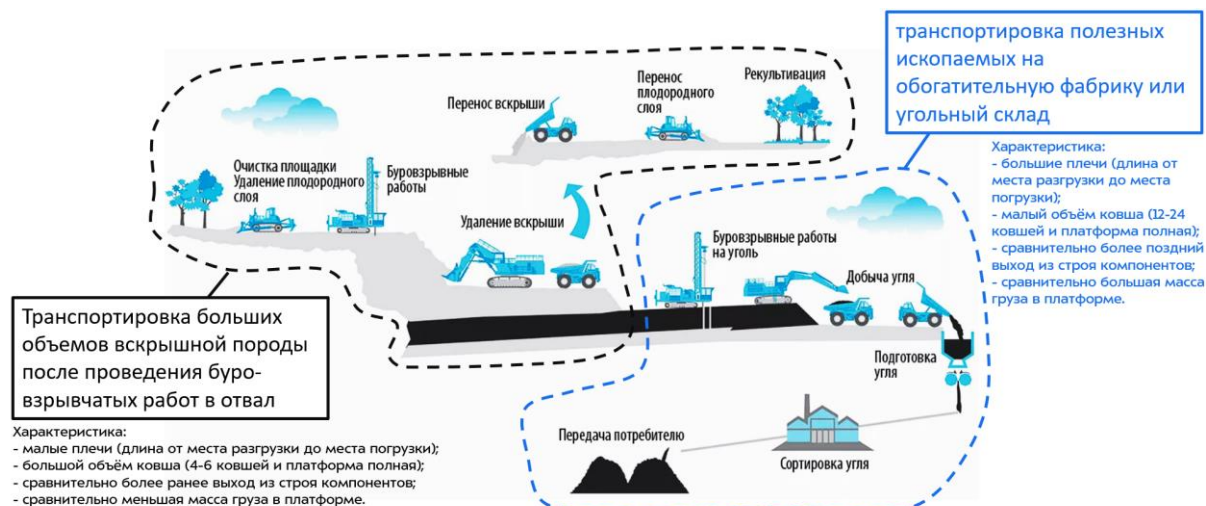


Рис. 1. Иллюстрация типовых циклов эксплуатации карьерного самосвала на разрезе
Fig. 1. Illustration of typical operation cycles of a mining dump truck in the section

Качество и точность процесса погрузки КС определяется типом применяемого экскаватора. Чтобы обеспечить непрерывную цикличность подъезда КС, в процессе погрузки к одному экскаватору стараются прикрепить самосвалы одинаковой модели (связано со скоростью самосвала, временем погрузки и разгрузки). Эксплуатацию вскрышных пород выполняют экскаваторы типа «механическая лопата», а выемка угля выполняется гидравлическими экскаваторами по причине более высокой точности управления положением ковша относительно грузовой платформы. Кроме того, имеет место то, что пласты угля бывают довольно тонкие, поэтому используются маленькие экскаваторы, чтобы извлекать полезные ископаемые без примесей вскрышной породы. Экскаваторы обобщенно могут быть классифицированы по объему ковша следующим образом:

- объем ковша $>7 \text{ м}^3$ для вскрышной породы;
- объем ковша $<7 \text{ м}^3$ для полезного ископаемого.

Очень часто ходимость КС определяется количеством моточасов, которые также можно пересчитать в количество километров пробега с учетом усреднения – 10...11 моточасов соответствует 1 километру пробега. Ходимость КС определяется в первую очередь таким параметром, как плечо перевозки.

Таким образом, в данном разделе статьи представлена общая информация об эксплуатации КС. Перед началом углубленного изучения процесса эксплуатации самосвалов в условиях разреза авторами статьи проведено обоснование необходимости выбора изучения именно модели БЕЛАЗ-7531 и составлена статистика отказов, что приводится в следующем разделе статьи.

Статистика отказов

Модель БЕЛАЗ-7531 грузоподъемностью 240 т является относительно надежной машиной. У всех самосвалов БЕЛАЗ, эксплуатируемых на разрезах Кузбасса, имеются проблемы прочности и долговечности несущих систем. На КС 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 КС и обратной связи работников автоколонны для БЕЛАЗ-7531 составлена таблица отказов с указанием ориентировочного пробега до отказа в условиях эксплуатации на разрезе Кузбасса – см. Таблицу 1.



Таблица 1. Таблица отказов БЕЛАЗ-7531
Table 1. BELAZ-7531 failure table

Узел	Описание отказа	Пробег до отказа, км	Фото
Рама	Трещина на сварном шве в районе крепления тягового генератора (задняя часть рамы). Заднее крепление палубы к лонжеронам рамы	200000-300000	
Рама	Крепление задней (3я) поперечины к лонжерону (металл прямо кусками вырезают и заваривают новый)	250000-350000	
Рама	Место крепления цилиндра платформы (сварные швы и скругления трескаются)	300000-400000	
Рама	Поперечина под ДВС и генератором	200000-300000	
Рама	Трещины в районе крепления баков к раме (рама в месте за баками)	250000-350000	
Рама	Трещины в районе крепления первой поперечины к раме (поперечина балки крепления переднего моста)	250000-350000	
Рама	Центральный шарнир заднего моста	200000-250000	



Узел	Описание отказа	Пробег до отказа, км	Фото
Мост	Фланец крепления редуктора мотор-колеса	225000-275000	
Мост	Вырвана проушина и вварена новая	единожды	
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)	200000-250000	

Таким образом, по статистике отказов можно сделать следующие выводы по наиболее слабым местам модели БЕЛАЗ-7531 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).

Следующим этапом авторы статьи приступили к углубленному изучению процесса эксплуатации КС БЕЛАЗ-7531 в условиях карьерных дорог на одном из разрезов Кузбасса.

Анализ телеметрии за полгода эксплуатации

Для изучения процесса эксплуатации от режимов нагружения до анализа условий проведены статистические исследования по данным телеметрии БЕЛАЗ-7531 за последние полгода, полученным из диспетчерского пункта на одном из разрезов Кузбасса. Телеметрия БЕЛАЗ-7531 подразумевает постоянную регистрацию диспетчерским отделом следующих данных:

- показания системы динамического взвешивания;
- параметры движения самосвалов (координаты «GPS» и скорость).

Полученные данные за полгода детально проанализированы, а промежуточные результаты исследования публикуются и анализируются в данном разделе статьи.

Из анализа полученных данных эксплуатации КС БЕЛАЗ-7531 можно сделать следующие выводы:

- общее количество разных рейсов составляет – 230 шт.;
- определены места погрузки и разгрузки;
- определен максимальный перепад высот – 381 м.



На Рис. 2 представлена статистика за полгода по частоте распределения разных длин плеч. По результатам анализа графика распределения частоты плеч можно сделать следующие выводы:

- среднее плечо перевозки для БЕЛАЗ-7531 составляет – 2,91 км;
- средняя скорость движения БЕЛАЗ-7531 – 13,74 км/ч.

На Рис. 3 представлена статистика по частоте распределения массы перевозимого груза. Масса перевозимого груза – масса породы в грузовой платформе, вычисленная на основе данных динамического взвешивания. Из анализа результатов массы перевозимого груза можно сделать следующие выводы:

- средняя масса перевозимого груза составляет 194 т;
- номинальная грузоподъемность самосвала БЕЛАЗ-7531 составляет 240 т и паспорт загрузки предусматривает допустимый коэффициент загрузки грузовой платформы за рейс 0,90-0,92, однако по факту коэффициент может достигать значения 1,17 или 280 т.

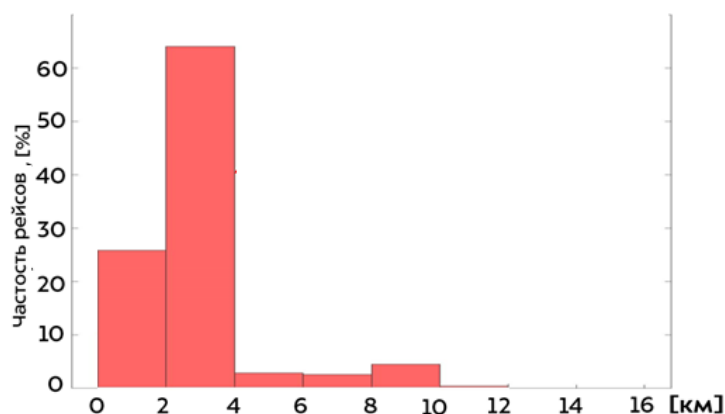


Рис. 2. Статистика распределения плеч для БЕЛАЗ-7531
Fig. 2. Distance distribution statistics for BELAZ-7531

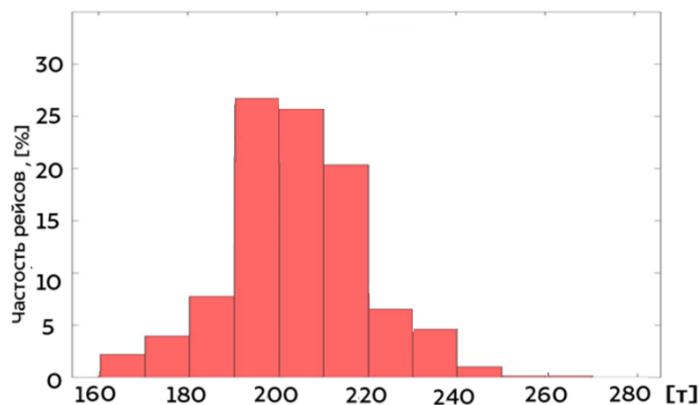


Рис. 3. Статистика распределения массы перевозимого груза для БЕЛАЗ-7531
Fig. 3. Statistics on the distribution of the mass of the transported cargo for BELAZ-7531

Следует отдельно обратить внимание на то, что очень часто самосвалы грузятся асимметрично, хотя паспорт загрузки должен исключать данный негативный аспект – статистические данные по асимметричной загрузке представлены на Рис. 4.

Особенности движения груженных КС за полгода эксплуатации показывают вероятность асимметричной загрузки на левый борт 56,4%, это является очень критичным показателем с точки зрения неравномерной нагруженности силовой структуры несущей системы и направляющего аппарата самосвалов, что может выражаться в развитии трещин и непредсказуемых отказов, если карьерные самосвалы БЕЛАЗ-7531 изначально не проектировали под данные условия эксплуатации.

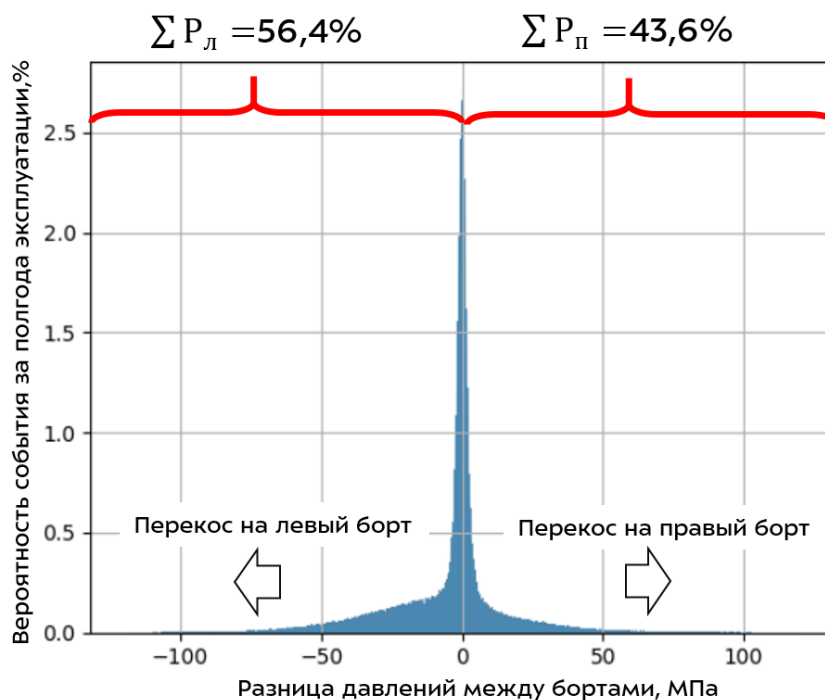


Рис. 4. Статистика асимметрии перевозимого груза для БЕЛАЗ-7531
Fig. 4. Statistics of asymmetry of the transported cargo for BELAZ-7531

Общее количество рейсов, проанализированных за полгода, составило 230, однако не все из представленных рейсов отвечают критериям типовой и повседневной эксплуатации, а также такое большое количество рейсов требует усреднения. Таким образом, по всем рейсам проведена выборка повседневных эксплуатационных режимов. Также проведено усреднение однотипных рейсов по параметрам эксплуатации КС. Критерием исключения того или иного события из общего массива данных является одновременное совпадение следующих трех условий:

- длина плеча перевозки <0,750 км;
- маршрут встречается в количестве менее 10 раз за полгода;
- маршрут содержит места погрузки или разгрузки, в которых по общей статистике за полгода погрузили или разгрузили груз менее 50 раз соответственно.

Выбранные критерии являются наиболее характерными для соответствия повседневным условиям эксплуатации КС в перспективе применения в последующих задачах расчета долговечности. При этом следует отметить, что исключенные режимы не остались без внимания, поскольку некоторые из них планируются быть примененными в перспективе для задач прочности.

Результаты усреднения и выборки наиболее характерных маршрутов из анализа эксплуатации КС БЕЛАЗ-7531 представлены в Таблице 2. В данной таблице под коэффициентом динамичности подразумевается отношение максимального усредненного динамического веса груза к усредненной массе груза «к учету» за этот рейс из показаний системы динамического взвешивания.

Из анализа Таблицы 2 для БЕЛАЗ-7531 определено следующее:

- общее число характерных маршрутов составляет 27;
- минимальная протяженность маршрута – 0,755 км;
- максимальная протяженность маршрута – 9,876 км;
- максимальная скорость движения пустого самосвала составляет – 42 км/ч;
- максимальная скорость движения самосвала в груженном состоянии – 38 км/ч.

Также для КС БЕЛАЗ-7531 рассмотрим данные телеметрии из собранной статистики для одних из наиболее частых рейсов эксплуатации (маршрут №26 из Таблицы 2) в виде графиков:



- зависимость координаты X от координаты Y в горизонтальной плоскости для визуализации маршрутов КС (Рис. 5) от мест погрузки до места разгрузки;
- зависимость изменения высоты над уровнем от времени в пути (Рис. 6) при перемещении КС от мест погрузки к местам разгрузки;
- зависимость изменения скорости КС от времени в пути (Рис. 7) при перемещении КС от мест погрузки к местам разгрузки;
- показания работы системы динамического взвешивания от времени в пути (Рис. 8) при перемещении КС от мест погрузки к местам разгрузки.

Таблица 2. Данные усреднения и выборки наиболее характерных маршрутов БЕЛАЗ-7531
Table 2. Data on averaging and sampling of the most characteristic routes of BELAZ-7531

№	Усредненное плечо, км	Усредненная масса груза «к учету», т	Усредненная максимальная скорость движения, км/ч	Усредненный максимальный: угол подъема «+», градус.; угол спуска «-», градус.	Коэффициент динамичности, т/т
1	0,755	169,0	23,71	+0,00; 0,00	1,4
2	6,293	143,0	35,36	+5,81; -2,93	1,5
3	2,554	191,0	26,72	+0,87; -0,1	1,7
4	3,201	196,0	27,23	+1,97; -2,79	1,1
5	8,481	162,0	32,27	+5,41; -3,62	1,1
6	2,818	160,0	29,35	+0,00; 0,00	1,6
7	2,213	160,0	38,28	+0,00; 0,00	1,5
8	4,013	143,0	29,89	+6,63; -1,31	1,6
9	2,978	179,0	25,65	+6,79; -2,71	1,2
10	5,646	199,0	36,23	+7,83; -5,22	1,3
11	5,932	200,0	34,37	+5,92; -4,62	1,2
12	5,293	201,0	33,43	+6,01; -4,82	1,1
13	1,743	185,0	30,40	+0,00; 0,00	1,1
14	3,526	129,0	27,31	+3,84; -1,48	2,9
15	3,178	178,0	29,03	+4,29; -0,63	1,2
16	8,660	177,0	32,60	+4,02; -5,33	1,0
17	2,596	149,0	25,09	+2,86; -3,78	2,2
18	8,261	120,0	35,58	+5,21; -1,18	2,2
19	1,456	184,0	23,70	+6,36; -0,63	1,2
20	9,876	148,0	33,11	+6,52; -2,85	1,5
21	1,540	198,0	18,53	+8,76; -1,01	1,1
22	1,401	130,0	25,08	+0,00; 0,00	2,7
23	5,932	161,0	31,02	+5,91; -1,1	1,1
24	2,847	131,0	26,06	+4,41; -1,81	2,8
25	3,002	174,0	24,48	+3,89; -0,54	1,3
26	2,649	174,0	25,11	+5,05; -1,49	1,3
27	2,813	203,0	28,20	+3,71; -0,34	1,1

Анализ данных, представленных на Рис. 5-8, показывает следующие усредненные результаты:

- усредненное значение длины плеча за все рейсы – 2,649 км;
- усредненное значение перепада высоты над уровнем моря за все рейсы для маршрута движения КС – 169 м;
- усредненное значение максимальной скорости за все рейсы для маршрута движения КС – 25,1 км/ч;
- усредненное значение массы груза к учету за все рейсы для маршрута движения КС – 174 т.



Таким образом, по мнению авторов статьи, полученные и представленные данные обладают высокой практической значимостью для исследователей и ученых, занимающихся проектированием горного автопарка, а также занятых анализом взаимосвязи эксплуатационной надежности с производительностью.

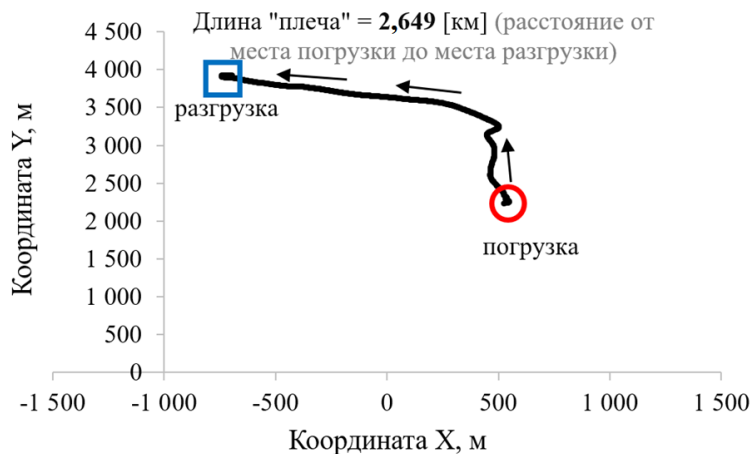


Рис. 5. Маршрут движения для БЕЛАЗ-7531
Fig. 5. The route of movement for BELAZ-7531

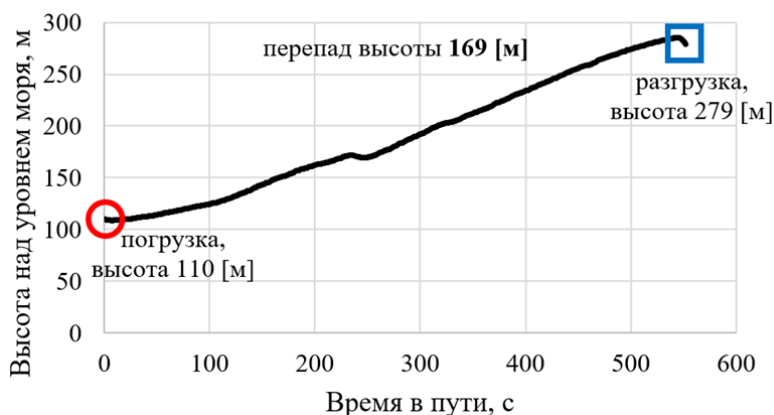


Рис. 6. Изменение высоты над уровнем моря
Fig. 6. Change in altitude above sea level



Рис. 7. Изменение скорости КС БЕЛАЗ-7531
Fig. 7. Changing the speed of the DT BELAZ-7531



Рис. 8. Измерение показаний системы динамического взвешивания КС БЕЛАЗ-7531
Fig. 8. Dynamic weighing system DT BELAZ-7531 readings measurement

Выводы

Полученные результаты режимометрирования КС модели БЕЛАЗ-7531 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 карьерных самосвалов.

По результатам проведенного исследования процесса эксплуатации «КС модели БЕЛАЗ-7531 в условиях работы на разрезе Кузбасса можно выделить следующие суммарные выводы:

- масса перевозимого груза в среднем составляет 194 т;
- номинальная грузоподъемность самосвала БЕЛАЗ-7531 составляет 240 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 1,17 или 280 т;
- статистика асимметричности полностью груженых КС за последние полгода эксплуатации показала, что самосвалы с вероятностью 56,4% перегружаются на левый борт от цикла к циклу;
- из всех 230 рейсов, встречающимся за полгода, проведена выборка повседневных эксплуатационных режимов, а также проведено усреднение однотипных рейсов по параметрам эксплуатации самосвалов.

Направление развития текущих результатов направлено на уточнение полученных данных режимометрирования путем планирования проведения испытаний КС модели БЕЛАЗ-7531 в условиях карьерных дорог разрезов Кузбасса в режимах повседневной эксплуатации, что позволит значительно улучшить текущие результаты с точки зрения раскрытия особенностей и оцифровки режимов погрузки-разгрузки, а также уточнения динамических показателей самосвалов как минимум в виде ускорений и замедлений, анализируемых в том числе в частотной области.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2022-016 от 07.04.2022г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой



добычи полезных ископаемых открытым способом», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Информация об авторах

Бокарев Александр Игоревич, к.т.н., старший научный сотрудник
e-mail: bokarev@bmstu.ru

Дианов Вадим Андреевич, конструктор
e-mail: vadianov@bmstu.ru

Карташов Александр Борисович, к.т.н., директор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»
e-mail: kartashov@bmstu.ru

Арутюнян Георгий Артурович, к.т.н., заместитель директора НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»
e-mail: georgy.arut@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН», Россия, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1

Дубинкин Дмитрий Михайлович, к.т.н., доцент кафедры горных машин и комплексов
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Пашков Дмитрий Алексеевич, к.т.н., старший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии»
e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

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. Бусел, Б. У. Категории карьерных дорог / Организация дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов и транспорт: сборник научных трудов конференции // Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет. - Минск: БНТУ, 2017. - С. 15-25.
3. Буялич Г.Д. Исследование скоростных режимов движения карьерных самосвалов / Г.Д. Буялич, А.С. Фурман // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - №10 (41). - URL: <https://research-journal.org/archive/10-41-2015-november/issledovanie-skorostnykh-rezhimov-dvizheniya-karernykh-avtosamosvalov> (дата обращения: 21.03.2024). - doi: 10.18454/IRJ.2015.41.064
4. Сайдуллозода С.С. Оценка энергетических затрат автомобилей-самосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях республики Таджикистан / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / специальность 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины, Челябинск, 2022.
5. 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>.
6. Клебанов Д.А. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная), Москва, 2015.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
 10. Испеньков, С. А. Моделирование динамической нагруженности рам карьерных самосвалов / С. А. Испеньков, А. А. Ракицкий // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10(129). – С. 174-180. – EDN PDRCCZ..
 11. 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.
 12. Доронин С.В. Статистические модели микропрофиля дорог технологического транспорта / С.В. Доронин, Т.В. Донцова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 3(31). – С. 202-208. – EDN ONNRWP.
 13. Доронин С.В. Оценка и регулирование свойств рам карьерных самосвалов с трещиноподобными дефектами / С.В. Доронин, Т.В. Донцова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – Т. 5, № 6. – С. 703-714. – EDN PULJEF.
 14. Доронин С.В. Проектные оценки долговечности и живучести рам карьерных самосвалов / С.В. Доронин, Т.В. Донцова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – Т. 5, № 7. – С. 760-765. – EDN PUMSSV.
 15. Москвичев В.В. Новые подходы к проектным решениям в горном машиностроении / В.В. Москвичев, С.В. Доронин / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №12. С.61-70, Москва, 2008.
 16. Panachev, I.A. Management procedure for life cycle of rear axle metalworks of heavy haulers / I.A. Panachev, I.V. Kuznetsov // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51, No. 2. – P. 267-273. EDN WRCKQR.
 17. Некоторые особенности отработки наклонных угольных пластов обратными гидролопатами в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 220 тонн / А. А. Хорешок, С. Н. Данилов, Д. М. Дубинкин [и др.] // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 22. – С. 91-99. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99. – EDN XMIYXV.
 18. Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные самосвалы / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, Я. О. Литвин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 4. – С. 26-34. – DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34. – EDN NTPNQQ.
 19. Дубинкин, Д. М. Разработка методики определения нагрузок на силовую структуру карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, А. И. Бокарев // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 5(169). – С. 31-44. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.
 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):117–126. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
 21. Чичекин, И.В. Разработка математической динамической модели карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на раму в заданных режимах эксплуатации / И.В. Чичекин, Я.Ю. Левенков, Г.А. Арутюнян, Ф.А. Нырков, О.И. Чудаков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – №2. – С. 127-137. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_127
 22. Разработка имитационной модели динамики беспилотного карьерного автосамосвала для определения нагрузок действующих на несущую систему при движении в заданных условиях / И. В. Чичекин, А. Б. Карташов, Р. Л. Газизуллин [и др.] // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте (ИИТМА-2020): сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием, Кемерово, 07–10 декабря 2020 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 291-301.



OPERATION PROCESS ANALYSIS OF BELAZ-7531 MINING DUMP TRUCKS

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



Article info

Received:

11 October 2024

Revised:

14 November 2024

Accepted:

18 November 2024

Keywords: dump truck,
operational reliability, open-pit
mine, quarry, daily operation,
rock truck, coal truck.

Abstract.

Designing the components of the force structure of the load-bearing system and the suspension guide device of the chassis of mine dump trucks should be carried out in the presence of representative modes of their loading. Provision of operational reliability is primarily determined by the availability of mathematical description of representative conditions and modes of operation of dump trucks on the technological routes of open-pit mines, and secondarily by the tools, methods and techniques of loading modeling adapted to the initial data. Since the authors of the paper are engaged in the development of newly designed quarry equipment, in this context, the process of studying the operation of quarry dump trucks of analogs is an obligatory classic of any model of the process of evolution of a new product. In this paper the authors describe the results of studying the process of operation of dump trucks BELAZ-7531 at the Kuzbass open-pit mines, where the newly designed quarry equipment is planned to be operated. The given information has high practical significance for researchers and scientists engaged in designing of mining fleet and analyzing the relationship between operational reliability and productivity. The purpose of the work is to form the prerequisites in the field of development of normative methodological base for building an effective process of design of mine dump trucks.

For citation Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Operation process analysis of BELAZ-7531 mining dump trucks. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2024;4(27):66-79. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-4-66-79

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 07.04.2022 № 075-11-2022-016 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons with a domestic traction drive for operation in an open-source digital mining system", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

References

1. Arefiev S.A. Evaluation and substantiation of rational road conditions of operation of large-capacity dump trucks / PhD thesis. – Yekaterinburg, 2015. [In Russ.].
2. Busel B.U. Categories of pit roads / Organization of road traffic and transportation of passengers and cargoes and transport: Conference Procedia of Belarusian National Technical University. 2017. – P. 15-25. [In Russ.].
3. Buyalich G.D., Furman A.S. Research of the speed modes of the quarry dump trucks. *International Research Journal*. 2015;10(41):22-25. [In Russ.].
4. Saidullozoda S.S. Estimation of energy costs of dump trucks based on the model of their functioning in mountainous conditions of the Republic of Tajikistan / PhD thesis. – Chelyabinsk, 2022. [In Russ.].
5. Baryshnikov Yu.N. Calculation of loadings on the bearing system of vehicles. *Engineering Journal: Science and Innovations*, 2013(12). URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1141.html>. [In Russ.].
6. Klebanov D.A. Development of technical and technological solutions for the creation and application of robotic systems of cargo transportation in open-pit mining / PhD thesis. – Moscow, 2015. [In Russ.].
7. Furman A.S. Evaluation of the effectiveness of the operation of excavator-automobile complexes on technological routes of Kuzbass surface mines / PhD thesis. – Kemerovo, 2018. [In Russ.].



8. Voronov A.Y. Optimization of indicators of operational productivity of excavator-automobile complexes of surface mines / PhD thesis. – Kemerovo, 2015. [In Russ.].
9. Nayden S.N. Development of the method and means of diagnosing the state of commutation of traction motors of quarry dump trucks in operating conditions / PhD thesis. – Omsk, 2021. [In Russ.].
10. Ispenkov S.A., Rakitsky A.A. Modeling of dynamic loading of the frames of dump trucks. *Vestnik of Orenburg State University*. 2011;10(129):174-180. [In Russ.].
11. Astakhova A.A. Increase of durability of frames of dump trucks on the basis of research of their stress-strain state / PhD thesis. – Kemerovo, 2007. [In Russ.].
12. Doronin S.V., Dontsova T.V. Statistical models of the technological transport road micro-profile. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2011;3(31):202-208. [In Russ.].
13. Doronin S.V., Dontsova T.V. Estimation and regulation of the frame properties of the quarry dump trucks with crack-like defects. *Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology*. 2012;5(6):703-714. [In Russ.].
14. Doronin S.V., Dontsova T.V. Design estimations of durability and survivability of quarry dump truck frames. *Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology*. 2012;5(7):760-765. [In Russ.].
15. Moskvichev V.V., Doronin S.V. New approaches to design solutions in mining engineering. *Mining information and analytical bulletin*. 2008;12:61-70. [In Russ.].
16. Panachev I.A., Kuznetsov I.S. Management procedure for life cycle of rear axle metalworks of heavy haulers. *Journal of Mining Science*. 2015;51(2):267-273. – DOI 10.1134/S1062739115020088.
17. Some peculiarities of mining inclined coal seams by reverse hydraulic shovels in a complex with dump trucks with a carrying capacity of 220 tons / A. A. Khoreshok, S. N. Danilov, D. M. Dubinkin [et al.] // *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023;22:91-99. EDN XMIYXV. [In Russ.].
18. Khoreshok A.A. [et al.]. Changes in hydraulic backhoe capacity under different schemes of overburden loading into the dump trucks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2024;4:26-34 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34
19. Dubinkin D.M., Bokarev A.I. Development of the methodology for determining the loads on the force structure of the quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2023;5(169):31-44 [In Russ.].
20. Dubinkin D.M., Chichekin I.V. [et al.]. Development of simulation model of the dynamics of the dump truck for determining the loads acting on the load-bearing system and cargo platform during loading and unloading of dispersed cargo. *Gornaja Promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 2021;(6):117-126. [In Russ.].
21. Chichekin I.V. [et al.]. Development of mathematical dynamic model of an open-pit dump truck for determination of loads acting on frame in specified operating modes. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*. 2022;2:127-137. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_127 [In Russ.].
22. Development of simulation model of dynamics of unmanned dump truck to determine the loads acting on the load-bearing system when moving in specified conditions / I. V. Chichekin [et al.]. IITMA-2020: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference // KuzSTU, 2020. – P. 291-301. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Alexander I. Bokarev, Ph.D, Senior Researcher

e-mail: bokarev@bmstu.ru

Vadim A. Dianov, designer

e-mail: vadianov@bmstu.ru

Alexander B. Kartashov, Ph.D, Director

e-mail: kartashov@bmstu.ru

Georgy A. Arutyunyan, Ph.D, Deputy Director

e-mail: georgy.arut@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, KAMAZ-BAUMAN Research Center, Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1

Dmitry M. Dubinkin, Ph.D, Associate Professor of Department of Mining Machines and Complexes

e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Dmitry A. Pashkov, Ph.D, senior researcher of the Research Center "Digital Technologies"

e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia