

## Научная статья

УДК 629.018+629.3.024

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-43-53

Лагунова Юлия Андреевна<sup>1,2</sup>, Жилинков Александр Александрович<sup>1,2</sup>,  
Макарова Валерия Викторовна<sup>1,2</sup>, Калянов Александр Евгеньевич<sup>1</sup>,  
Буялич Геннадий Даниилович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

<sup>3</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: yu.lagunova@mail.ru

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ В НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

### Аннотация.

Актуальность работы заключается в том, что при эксплуатации большегрузных карьерных самосвалов остро стоит проблема усталостных разрушений в элементах рам, рамных (несущих) конструкциях. Технологические процессы восстановления или текущего ремонта рам весьма сложны, требуют высокой квалификации ремонтных рабочих и наличия специального оборудования. В отдельных случаях восстановление рам сопровождается значительными простоями, высокими материальными и трудовыми затратами. Возникла необходимость оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) всей конструкции и отдельных элементов рамы. Целью исследования является разработка измерительной системы для экспериментального исследования процессов деформации рамы (несущей системы) большегрузных карьерных автосамосвалов и дальнейшего совершенствования ее конструкции, а также оптимизации режимов движения. Разработана принципиальная схема тензометрической измерительной системы, для нее подобраны измерительная аппаратура и устройства. Определены места установки датчиков (тензорезисторов) – участки в зонах соединения поперечины и лонжеронов. Проведены монтаж и верификация всей тензометрической измерительной системы, произведены необходимые настройки, проверена работоспособность. Выполнены предварительные экспериментальные исследования при работе горной транспортной машины непосредственно в карьере. Получен значительный объем данных по величинам деформаций (нагрузок) в цифровом и графическом отображении. Проведена верификация измерительной системы и всех ее элементов, произведены требуемые настройки. Испытания и предварительные экспериментальные тензометрические исследования подтвердили, что полученные результаты адекватны процессам деформации рамной конструкции исследуемых транспортных машин и коррелируются с изменением условий эксплуатации, а также режимами движения. Создана основа для проведения следующего этапа тензометрических исследований.



### Информация о статье

Поступила:

01 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

24 ноября 2024 г.

Опубликована:

12 декабря 2024 г.

### Ключевые слова:

тензометрия, карьерный самосвал, рамная конструкция, процессы деформации, измерительная система

**Для цитирования:** Лагунова Ю.А., Жилинков А.А., Макарова В.В., Калянов А.Е., Буялич Г.Д. Измерительная система для исследования процессов деформации в несущих элементах карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 43-53. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-43-53, EDN: QEWFP

### Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству и работникам автотранспортного предприятия и рудоуправления ПАО «Ураласбест» за оказанную помощь в предоставлении подвижного состава, допуска на производство, организации и проведении технических работ и экспериментальных исследований.

## Введение

Работа транспортных, погрузочных и других машин в условиях крупных рудных и нерудных карьеров осуществляется в сложных производственных, транспортных, дорожных и природно-климатических условиях [1-3]. Эксплуатация горных машин и различной техники сопровождается действием ряда негативных факторов, которые интенсивно ухудшают техническое состояние и вызывают отказы, в том числе и преждевременные. Основными причинами отказов различных элементов горных машин являются:

- пластические деформации и разрушения под действием повышенных статических и динамических нагрузок, превышающих пределы прочности и текучести материалов (ударное взаимодействие с горной массой во время погрузки-разгрузки, грузовое и порожнее движение, маневрирование машин и др.);

- усталостные разрушения, они происходят также под действием повышенных статических и динамических нагрузок, превышающих предел выносливости материалов;

- изнашивание различных видов – абразивное, усталостное, коррозионно-механическое, окислительное и др. (твердость горной массы, запыленность, агрессивность и др.);

- коррозия и старение при взаимодействии с внешней средой, в том числе агрессивной, а также действие различных погодных факторов (температура, ее разность в течение суток, солнечная радиация, влажность), иногда в сочетании с прочими процессами.

Под воздействием вышеперечисленных факторов значительно снижается надежность и производительность транспортных, погрузочных и других машин, а также транспортно-грузовых комплексов (ТГК). При этом существенно повышаются затраты на ремонт и эксплуатацию машин и ТГК, увеличивается общая себестоимость ведения горных работ и добычи полезного ископаемого [4, 5].

Наиболее ответственной и сложной частью конструкции транспортных горных машин – большегрузных карьерных автосамосвалов (БКАС) – является несущая система (рама). Она является основой для монтажа всех агрегатов, механизмов, систем и устройств. Конструкция и форма рам БКАС существенно отличается от автомобильных рам дорожных автотранспортных средств. Восстановление или текущий ремонт рамы, как правило, требует высокой квалификации ремонтных рабочих и специального оборудования при проведении сварочных работ. В сложных случаях восстановление рам сопровождается значительными простоями БКАС, высокими материальными и трудовыми затратами [6-8].

При анализе показателей технической эксплуатации БКАС (БелАЗ-7513, с полной массой 240 т и грузоподъемностью 130 т) в условиях работы на хризотил-асбестовом месторождении установлено, что одним из слабых мест является несущая система. Несущая система имеет сложную рамную конструкцию лонжеронного типа с несколькими попе-

речинами. Повреждениям подвержены различные элементы рамы (лонжероны, поперечины, усилители и др.). Повреждения в виде трещин характерны практически для всех несущих систем аналогичных транспортных машин. В условиях работы машин на хризотил-асбестовых карьерах указанные процессы появления дефектов имеют несколько другой характер и наступают раньше [9-11].

Поэтому целью настоящей статьи является разработка измерительной системы для экспериментального исследования процессов деформации рамы (несущей системы) большегрузных карьерных автосамосвалов и дальнейшего совершенствования ее конструкции, а также оптимизации режимов движения.

## Методы

БКАС представляет собой сложную механическую систему, которая выполняет транспортную работу, многократно проходя маршрут перевозок в меняющихся с течением времени условиях. Известно, что величина статических и динамических нагрузок (деформаций и напряжений) в рамных (несущих) конструкциях БКАС зависит от условий эксплуатации и режима движения. Таким образом, напряженно-деформированное состояние (НДС) рамных конструкций БКАС определяется нагрузочным режимом, который, в свою очередь, зависит от различных условий эксплуатации. Взаимосвязь указанных факторов показана на схеме (Рис. 1) [12, 13].

Выполнить теоретические расчеты с целью оценки НДС рамной (несущей) конструкции БКАС в зависимости от условий эксплуатации весьма сложно. Кроме того, для математического и компьютерного моделирования надежной и прочной рамной конструкции необходимо определить уровень реальных нагрузок в ее элементах. Данную задачу можно эффективно решить путем проведения экспериментальных исследований непосредственно на БКАС [14, 15].

Измерение параметров нагрузочного режима рамной (несущей) системы БКАС в условиях непрерывного транспортного процесса (загрузка и выгрузка горной массы, груженое и холостое движение) является сложной технической задачей. Данные технические мероприятия должны проводиться во время работы в переменных дорожных и горнотранспортных условиях, на различных режимах движения. Измерительные приборы размещаются на БКАС (на элементах рамы и в кабине). Измерительная система должна иметь способность снимать показания на различных стадиях транспортного процесса, преобразовывать сигналы и визуализировать их в условиях воздействия множества внешних факторов [16, 17].

Поэтому для проведения исследований НДС рамной (несущей) конструкции БКАС наиболее доступным, рациональным и эффективным в указанных условиях является тензометрический метод. Данный метод основан на электротензометрии, при котором измерение деформаций осуществляется с помощью проволочных или фольговых тензометрических датчиков (тензорезисторов) [18].

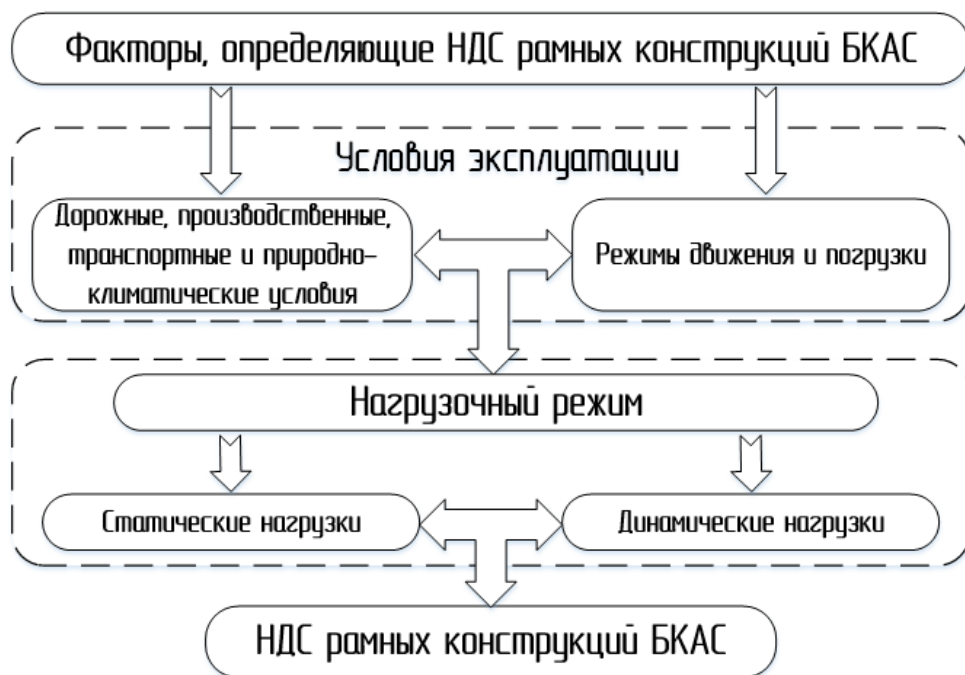


Рис. 1. Взаимосвязь показателей системы «Условия эксплуатации-нагрузочный режим-НДС» рамных конструкций БКАС

Fig. 1. The relationship between the indicators of the system "Operating conditions-load regime-VAT" of frame structures of heavy-duty dump trucks

Таблица 1. Технические характеристики тензометрической измерительной системы (ТИС)

Table 1. Technical characteristics of the strain gauge measuring system (SGMS)

Наименование параметров	Значение
Тензометрическая станция (ТС)	
– тип	ZET 017-T8
– количество аналоговых входов по напряжению	8
– количество разрядов АЦП	24
– максимальная частота дискретизации, кГц	400
– программируемые коэффициенты усиления	1, 10, 100
– цифровой вход/выход, бит	8/8
– скорость обмена по шине HighSpeed USB 2.0, Мбит/с	480
– скорость обмена по шине Ethernet, Мбит/с	100
– тип логики цифрового входа/выхода	TTL
Датчик-тензорезистор:	
– тип и обозначение	Фольговый, FRAB-5-11
– база, мм	5
– коэффициент температурной самокомпенсации	11
Преобразователь напряжения	24/220V IN-600W-24

Для проведения тензометрических исследований и установки измерительной аппаратуры выбран упомянутый выше БКАС БелАЗ-7513. Конструкция рамы данного самосвала выполнена сварной из высокопрочной низколегированной стали марки 10ХСНД. Материал рамной конструкции имеет следующие механические свойства:

- предел прочности  $\sigma_B = 540$  МПа;
- предел текучести  $\sigma_T = 400$  МПа;
- ударная вязкость при минус  $70^\circ\text{C}$  не менее

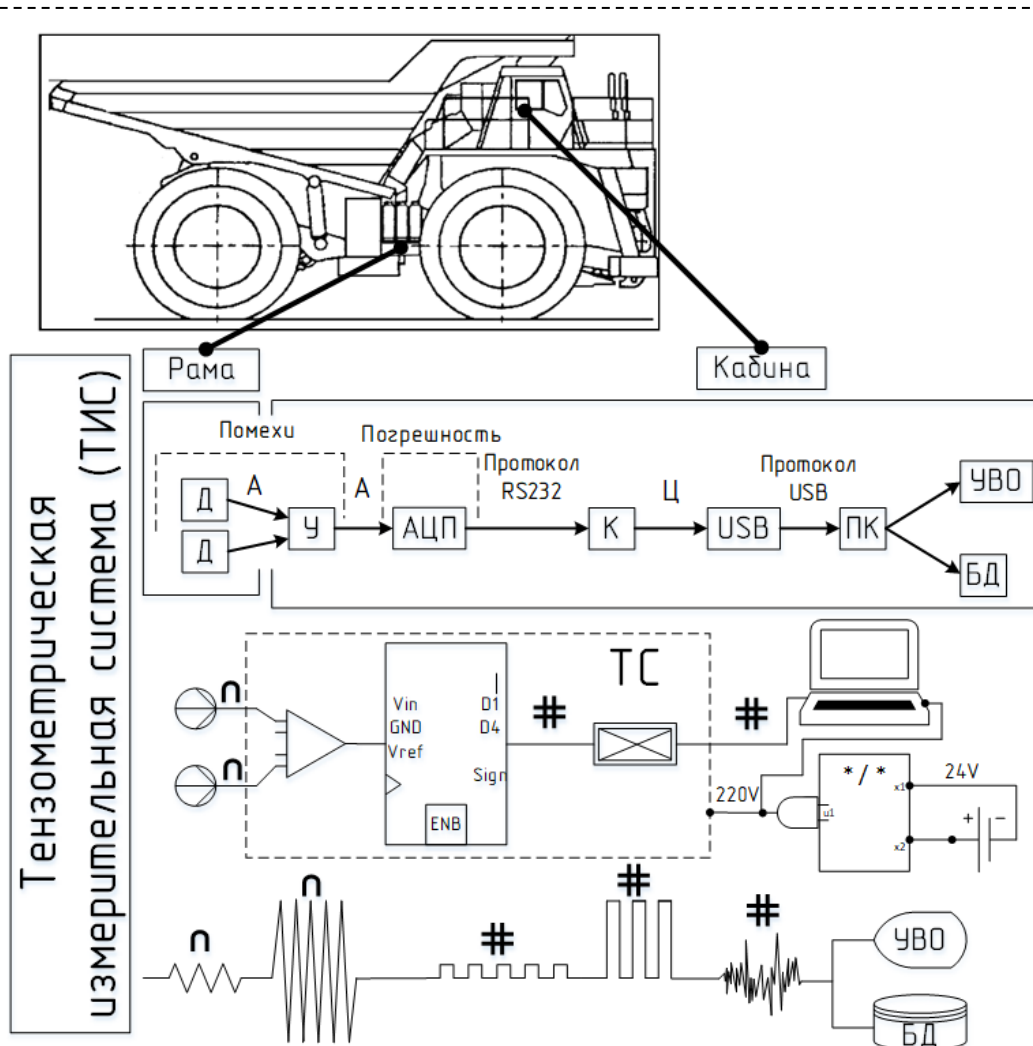
$a_n = 30$  Н·м/см<sup>2</sup>.

Рама состоит из продольных лонжеронов переменного закрытого профиля (коробчатое сечение разной высоты), а также поперечин, стоек, кронштейнов и др. элементов. На участках с макси-

мальными нагрузками встраиваются литые элементы

Места установки датчиков-тензорезисторов определены по уже имеющемуся опыту эксплуатации, ремонта и восстановления элементов рам БКАС. Они соответствуют наиболее нагруженным участкам рамной конструкции и установлены заводом-изготовителем. К зонам концентрации напряжений относятся участки рамы в местах соединения (сварки) различных составных элементов (лонжерон-поперечина, лонжерон-кронштейн, лонжерон-стойка, поперечина-стойка, поперечина-кронштейн и др.).

Для проведения экспериментальных тензометрических исследований разработана специальная



*Условные обозначения:*  
 Д - датчик; У - усилитель; АЦП - аналогово-цифровой преобразователь; К - контроллер; ПК - компьютер (ноутбук); УВО - устройство вывода информации; БД - база данных; ТС - тензометрическая станция;  
 А, Ц - аналоговый и цифровой сигналы соответственно

Рис. 2. Принципиальная схема тензометрической измерительной системы (ТИС)  
 Fig. 2. Schematic diagram of a strain gauge measuring system (SGMS)

измерительная система (ТИС), принципиальная схема которой приведена на рис. 2, а ее основные технические параметры в Таблице 1.

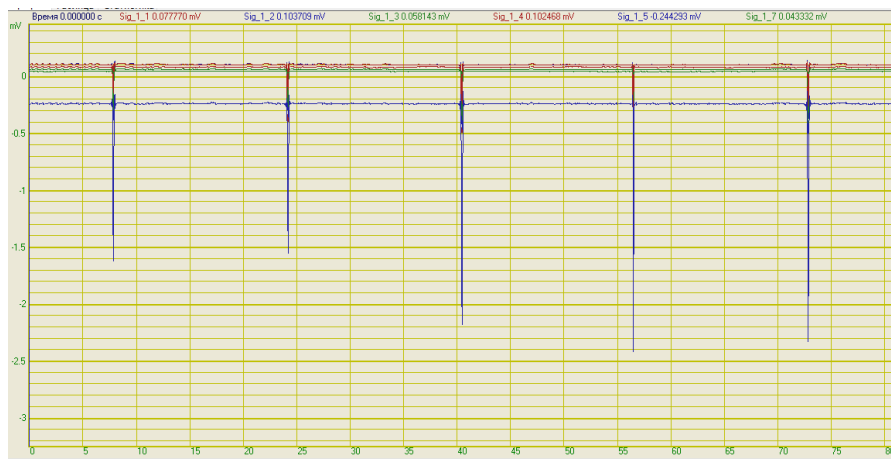
Вся измерительная аппаратура устанавливается на БКАС непосредственно, а приборы подключены последовательно. Тензометрические датчики (тензорезисторы) (Д) прикрепляются на тех участках рамы, которые являются «проблемными». Тензометрическая станция (ТС), включающая усилитель (У), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и контроллер (К), размещается в кабине оператора БКАС. Там же находится ноутбук (ПК) и преобразователь напряжения. Питание тензостанция и, при необходимости, ноутбук получают от бортовой сети БКАС через преобразователь напряжения. Тензорезисторы измеряют величину деформации в виде аналогового сигнала, затем его мощность повышается с помощью усилителя (У). АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровое представление. Цифровые сигналы считываются контроллером (К) и с помощью персонального компьютера (ПК) за-

писываются в базу данных (БД), а также выводятся на экран (УВО).

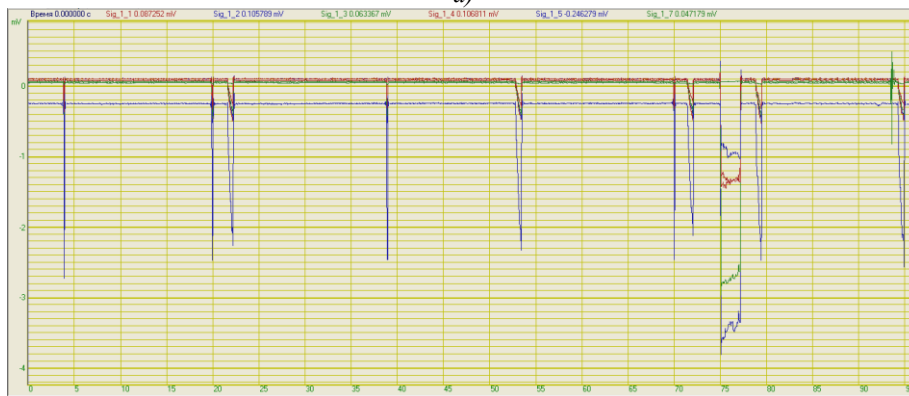
**Результаты исследования**

Исследования проводились на асбестовом карьере Баженовского месторождения ПАО «Ураласбест» в летний период при температуре окружающего воздуха 20-25°C. Измерения проведены на БКАС, который работает в составе экскаваторно-автомобильного комплекса вместе с экскаватором ЭКГ-10. Маршрут транспортирования горной массы стандартный – маятниковый при длине плеча 4,2 км. Полная (номинальная) загрузка БКАС осуществляется за 5-7 циклов экскавации. На пути следования БКАС имеются неровности дороги, продольные уклоны до 6%, радиусы горизонтальных кривых – до 30 м, радиусы вертикальных кривых – до 250 м, радиус пеглевых заездов под погрузку – до 20 м, величина поперечного уклона на отдельных участках – до 3,5% [19, 20].

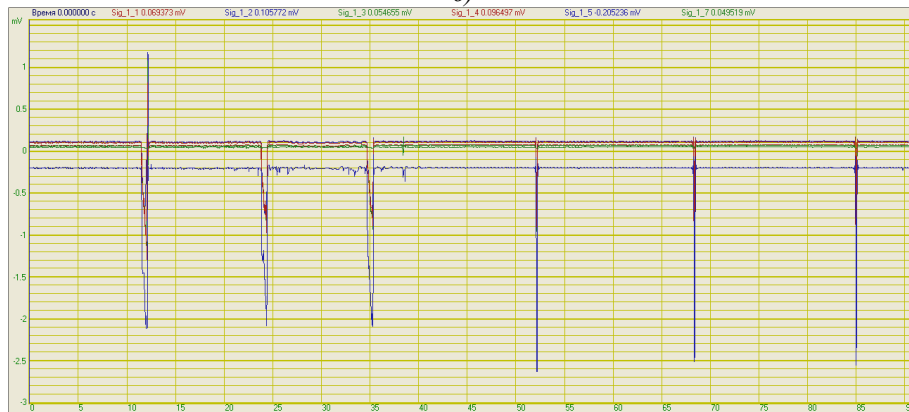
В ходе проведения тензометрических исследований на раму БКАС в зонах соединения 2-й поперечины с лонжеронами были установлены фольговые тензорезисторы, подключена измерительная,



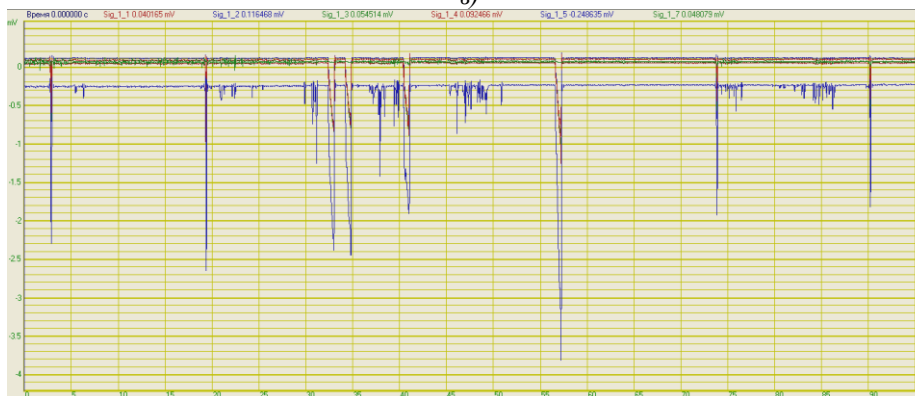
а)



б)



в)

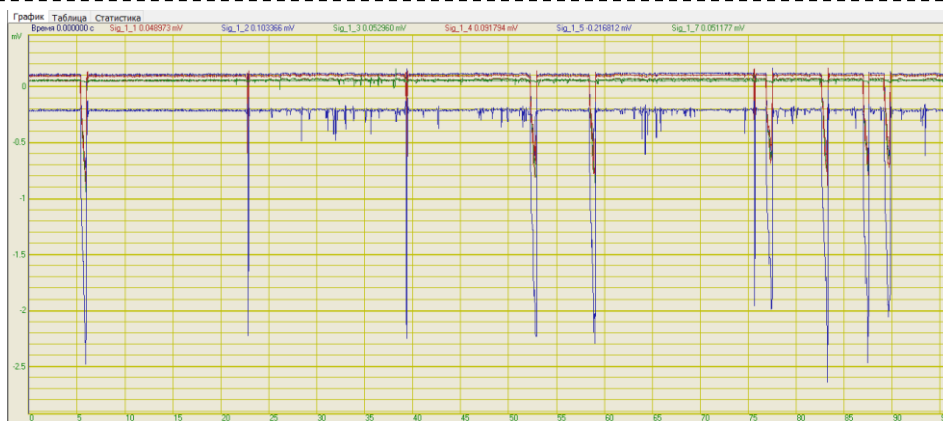


г)

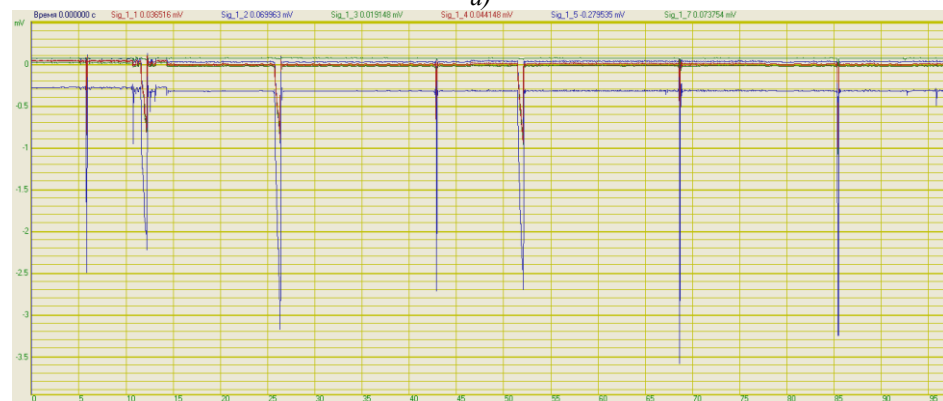
а - погрузка (5 циклов); б - погрузка (7 циклов); в и г - разгрузка

Рис. 3. Диаграммы показаний ТИС при выполнении погрузочно-разгрузочных операций (самосвал находится в статическом состоянии)

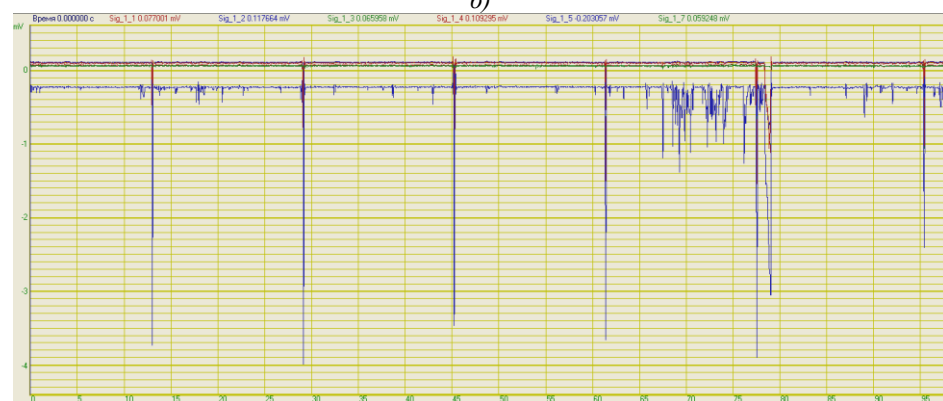
Fig. 3. Diagrams of SGMS readings during loading and unloading operations (the dump truck is in a static state)



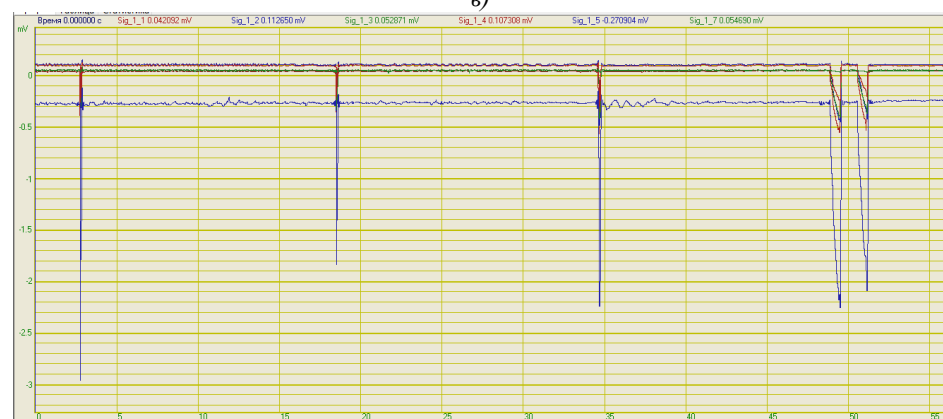
а)



б)



в)



г)

а – неровная дорога; б – поперечный уклон; в – прохождение кривой; г – процесс торможения  
 Рис. 4. Диаграммы показаний ТИС при выполнении транспортной работы (самосвал находится в движении)  
 Fig. 4. Diagrams of the SGMS readings when performing transport work (the dump truck is in motion)

передающая, записывающая и питающая аппаратура, выполнены требуемые настройки. Непосредственно сами замеры проводились на протяжении одной рабочей смены. С использованием разработанной ТИС получен значительный массив данных по величинам деформаций и нагрузок (напряжений) на рассматриваемом участке рамной (несущей) конструкции БКАС. Полученные в ходе исследования данные были помещены в память ПК и записаны в БД. Данные могут быть представлены как в цифровом, так и в графическом отображении.

На Рис. 3 показаны диаграммы значений нагрузок (деформаций) на рассматриваемом участке рамной (несущей) конструкции БКАС при выполнении погрузочно-разгрузочных операций (транспортная машина находилась в неподвижном состоянии). На Рис. 4 при ведены диаграммы показаний ТИС во время выполнения БКАС транспортной работы. При этом транспортная машина находится в движении, проходя участки трассы с различными дорожными условиями (горизонтальные кривые, уклоны в продольном и поперечном направлении, неровности, волны, выбоины, трещины, продавливания и др.) на различных режимах (скорость, разгон, торможение, задний ход, маневрирование). Обработка результатов измерений ТИС показала следующее.

При выполнении погрузочных операций, когда транспортная машина находится в неподвижном состоянии, всплески величин деформаций соответствуют моментам высыпания горной массы из ковша экскаватора в кузов (Рис. 3, а). Форма диаграмм и диапазон значений меняется, а максимальные значения увеличиваются, если оператор экскаватора выполняет дополнительные манипуляции (удар ковша по кузову, трамбовка либо распределение груза и др.) (Рис. 3, б). При выполнении разгрузки диаграммы показаний отображают объективный результат (Рис. 3, в, г). Значения деформаций (нагрузок) и их диаграммы отображаются иначе, когда грузовые операции выполняются на площадке с поперечным уклоном.

При движении БКАС система также улавливает изменения диапазона, величины деформаций и нагрузок в исследуемых элементах рамной конструкции. Всплески величин деформаций (нагрузок) наблюдаются при прохождении сложных мест трассы карьерной автодороги: участок с неровностями дороги (Рис. 4, а), участок с поперечным уклоном или косогор (Рис. 4, б), участок с горизонтальной кривой (Рис. 4, в). Также увеличение значений происходит при изменении режима движения, к примеру, торможение (Рис. 4, г).

Таким образом, разработанная система (ТИС), установленная на работающем БКАС, прошла испытания в реальных условиях асбестового карьера и показала свою работоспособность. ТИС объективно реагирует на изменение дорожных, транспортных и производственных условий, перемену режимов движения. Она надежно снимает показания, передает и фиксирует данные по величине деформаций (нагрузок).

## Выводы

1. Сложность теоретических расчетов оценки НДС, математического и компьютерного моделирования рамной конструкции БКАС указали на необходимость проведения экспериментальных исследований.

2. Для проведения экспериментальных исследований в реальных условиях работы БКАС на карьере принят тензометрический метод.

3. С целью реализации принятого метода разработана специальная тензометрическая измерительная система (ТИС), проведена ее верификация, проверена работоспособность и произведены требуемые настройки.

4. Испытания ТИС и предварительные экспериментальные исследования подтвердили, что полученные результаты адекватны процессам деформации рамной конструкции БКАС и соответствуют изменению условий эксплуатации и режимов движения.

5. Создана надежная основа для проведения следующего этапа тензометрических исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Umirzokov A., Mallaboev U., Saidullozoda S., Khabibullozoda Kh. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (DVRE) system in the conditions of mountain quarries // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 817. Art. 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012036.

2. André Romano Alho, Takanori Sakai, Ming Hong Chua, Kyungsoo Jeong, Peiyu Jing, Moshe Ben-Akiva. Exploring Algorithms for Revealing Freight Vehicle Tours, Tour-Types, and Tour-Chain-Types from GPS Vehicle Traces and Stop Activity Data // Journal of Big Data Analytics in Transportation. 2019. № 1. Pp. 175–190. DOI:10.1007/s42421-019-00011-x.

3. Лель Ю. И., Глебов И. А., Мусихина О. В., Ганиев Р. С., Хардик Н. В. Энергетический метод оценки и систематизации условий эксплуатации карьерного автотранспорта // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 8. С. 14–25.

4. Курганов В. М., Грязнов М. В., Колобанов С. В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов на карьере // Записки горного института. 2020. Т. 241. С. 10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.

5. Райан К. Определение оптимального срока службы карьерных самосвалов. // Мировая горная промышленность. М. : НПК «Горное дело», 2013. — С. 350–355.

6. Задорожная Е. А., Маслоков С. П. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов «БЕЛАЗ» на разрезе «Черногорский» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2022. Т. 22, № 2. С. 64–73. DOI: 10.14529/engin220206.

7. 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. EDN JGPEYZ.

8. Bochkaryov Y., Ishkov A. The operational reliability of quarry dump trucks BELAZ-7540 in the placer deposits // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. Pp. 325–332.

9. Анистратов К. Ю. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных самосвалов в течение срока их эксплуатации // Уголь. 2008. № 7. С. 58–63.

10. Бочкарев Ю. С., Зырянов И. В. Повышение эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 5–2. С. 80–90. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_80.

11. Allahkarami Z., Sayadi A. R., Ghodrati B. Identifying the mixed effects of unobserved and observed risk factors on the reliability of mining hauling system // International Journal of System Assurance Engineering and Management. Springer. 2021. Vol. 12(2). Pp. 281–289. DOI: 10.1007/s13198–021–01073–3.

12. Доронин С. В., Альшанская А. А., Герасимова Т. А. Многоуровневые цифровые модели нагруженности силовых конструкций рабочего оборудования карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2 (160). С. 58–65. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-58-65.

13. 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. EDN: ARXNPJ.

14. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving

excavators and dump trucks // Automation in Construction. 2018. Vol. 87. Pp. 297–308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.

15. Вишняков Г. Ю., Ботян Е. Ю. Оценка современных систем мониторинга карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2 (160). С. 51–57. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-51-57.

16. Журавлев А. Г., Исаков М. В. Экспериментальные исследования работы карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 3-1. С. 530–542. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.

17. Иванов А. М., Кристальный С. Р., Попов Н. В., Спинов А. Р. Испытания колесных транспортных средств: учебное пособие. М.: МАДИ, 2018. 124 с. URL: <http://https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel18E456.pdf> (дата обращения: 01.10.2024).

18. Kosiara A., Skurjat A., Chołodowski J. Assessment of Implementation of Neural Networks in On-Board Dynamic Payload Weighing Systems // Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. 2022. Vol. 362. Pp. 193–203. DOI: 10.1007/978–3–030–77306–9\_17.

19. Воронов А. Ю., Хорешок А. А., Воронов Ю. Е., Буянкин А. В., Воронов А. Ю. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2. С. 19–26. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-19-26.

20. Жилинков А. А., Калянов А. Е., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А. Обоснование параметров экскаваторно-автомобильных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12–1. С. 44–55. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_121\_0\_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:

**Лагунова Юлия Андреевна**, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000–0002–3828–434X>, e-mail: [yu.lagunova@mail.ru](mailto:yu.lagunova@mail.ru).

**Жилинков Александр Александрович**, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000–0002–3252–8577>, e-mail: [zhilinkov@m.ursmu.ru](mailto:zhilinkov@m.ursmu.ru)

**Макарова Валерия Викторовна**, старший преподаватель, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4148-5556>, e-mail: [v.v.makarova@urfu.ru](mailto:v.v.makarova@urfu.ru)

**Калянов Александр Евгеньевич**, доцент, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009–0008–6905–0416>, e-mail: [aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru](mailto:aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru)

**Буялич Геннадий Данилович**, доктор тех. наук, профессор, (Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: [gdb@kuzstu.ru](mailto:gdb@kuzstu.ru)



Заявленный вклад авторов:

Лагунова Юлия Андреевна – генерация идеи исследования, выполнение работы по систематизации материала, научный менеджмент.

Жилинков Александр Александрович – постановка задачи исследования, подготовка эксперимента, анализ результатов, написание текста статьи.

Макарова Валерия Викторовна – подготовка и проведение экспериментальных исследований, получение данных для анализа.

Калянов Александр Евгеньевич – подготовка и проведение экспериментальных исследований.

Буялич Геннадий Даниилович – сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-43-53

Yuliya A. Lagunova <sup>1,2</sup>, Aleksander A. Zhilinkov <sup>1,2</sup>, Valeriya V. Makarova <sup>1,2</sup>,  
Aleksander E. Kalyanov <sup>1</sup>, Gennady D. Buyalich <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State Mining University

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

<sup>3</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: yu.lagunova@mail.ru

## MEASURING SYSTEM FOR THE STUDY OF DEFORMATION PROCESSES IN THE BEARING ELEMENTS OF DUMP TRUCKS

### Abstract.

The relevance of the work lies in the fact that when operating heavy-duty mining dump trucks, the problem of fatigue damage in frame elements, frame (load-bearing) structures is acute. The technological processes of restoration or ongoing repair of frames are very complex, require highly qualified repair workers and the availability of special equipment. In some cases, the restoration of frames is accompanied by significant downtime, high material and labor costs. There was a need to assess the stress-strain state (VAT) of the entire structure and individual frame elements. The aim of the study is to develop a measuring system for the experimental study of the deformation processes of the frame (load-bearing system) of heavy-duty dump trucks and further improvement of its design, as well as optimization of driving modes. A schematic diagram of a strain gauge measuring system has been developed, measuring equipment and devices have been selected for it. The places of installation of sensors (strain gauges) have been determined - areas in the zones of connection of the crossbar and spars. The installation and verification of the entire strain gauge measuring system were carried out, the necessary settings were made and the operability was verified. Preliminary experimental studies were carried out during the operation of a mining transport machine directly in the quarry. A significant amount of data on the values of deformations (loads) in digital and graphical representation has been obtained. Verification of the measuring system and all its elements has been carried out, and the required settings have been made. Tests and preliminary experimental tensometric studies have confirmed that the results obtained are adequate to the processes of deformation of the frame structure of the studied transport vehicles and correspond to changes in operating conditions, as well as traffic modes. The basis has been created for the next stage of strain gauge research.



### Article info

Received:

01 November 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

24 November 2024

Published:

12 December 2024

**Keywords:** strain gauge, dump truck, frame structure, deformation processes, measuring system

**For citation:** Lagunova Yu.A., Zhilinkov A.A., Makarova V.V., Kalyanov A.E., Buyalich G.D. Measuring system for the study of deformation processes in the bearing elements of dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2024; 6(176):43-53 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-43-53, EDN: QEWFP

## REFERENCES

1. Umirzokov A., Mallaboev U., Saidullozoda S., Khabibullozoda Kh. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (DVRE) system in the conditions of mountain quarries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 817:012036. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012036.
2. André Romano Alho, Takatori Sakai, Ming Hong Chua, Kyungsoo Jeong, Peiyu Jing, Moshe Ben-Akiva. Exploring Algorithms for Revealing Freight Vehicle Tours, Tour-Types, and Tour-Chain-Types from GPS Vehicle Traces and Stop Activity Data. *Journal of Big Data Analytics in Transportation*. 2019; 1:175–190. DOI: 10.1007/s42421-019-00011-x).
3. Lel' Yu.I., Glebov I.A., Musihina O.V., Ganiev R.S., Hardik N.V. Energeticheskij metod ocenki i sistematizacii uslovij ekspluatacii kar'ernogo avtotransporta. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*. 2020; 8:14–25.
4. Kurganov V. M., Gryaznov M. V., Kolobanov S. V. Estimating the functioning reliability of excavating vehicle complexes at the open-pit mine. *Journal of Mining Institute*. 2020; 241:10–21. [in Russ.]. DOI:10.31897/PMI.2020.1.10.
5. Rajan K. Opredelenie optimal'nogo sroka sluzhby kar'ernyh samosvalov. Mirovaya gornaya promyshlennost' [Determining the optimal service life of quarry dump trucks. World mining industry]. Moscow: NPK «Gornoe delo»; 2013. Pp. 350–355 [In Russ.].
6. Zadorozhnaya E.A., Maslyukov S.P. Review of the structure of unscheduled faults of friction assembly of BELAZ dump trucks at the Chernogorsky mill. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*. 2022; 22(2): 64–73. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin220206.
7. Panachev I.A., Kuznetsov I.V. Resource analysis of the bearing elements of the rear axles of dump trucks in the process of their operation at different 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. EDN JGPEYZ.
8. Bochkaryov Y., Ishkov A. The operational reliability of quarry dump trucks BELAZ-7540 in the placer deposits. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Sofia, 2020. Pp. 325–332.
9. Anistratov K. Yu. Study of the patterns of changes in the performance of mining dump trucks during their service life. *Coal*. 2008. № 7. Pp. 58–63. [In Russ.].
10. Bochkaryov Yu. S., Zyryanov I. V. Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022; (5–2):80–90. [In Russ.]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_80.
11. Allahkarami Z., Sayadi A. R., Ghodrati B. Identifying the mixed effects of unobserved and observed risk factors on the reliability of mining hauling system. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. Springer. 2021; 12(2):281–289. DOI: 10.1007/s13198-021-01073-3.
12. Doronin S.V., Alshanskaya A.A., Gerasimova T.A. Multilevel digital models of the loads on the load bearing structures of the working equipment of the quarry excavator. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022; 2(160):58–65 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-58-65.
13. Dubinkin D.M., Bokarev A.I. Development of a procedure for determining the loads on the power structure of quarry dump trucks. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2023; 5(169):31–44 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44, EDN: ARXNIJ.
14. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks. *Automation in Construction*. 2018; 87:297–308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.
15. Vishnyakov G.Yu., Botyan E.Yu. Evaluation of modern monitoring systems of dump trucks. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022; 2(160):51–57 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-51-57.
16. Zhuravlev A.G., Isakov M.V. Experimental testing of open pit dump trucks in operating conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3–1):530–542. [In Russ.]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.
17. Ivanov A.M., Kristalny S. R., Popov N. V., Spinov A. R. Tests of wheeled vehicles: a textbook. M.: MAI; 2018. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel18E456.pdf> (date of application: 01.10.2024).
18. Kosiara A., Skurjat A., Chołodowski J. Assessment of Implementation of Neural Networks in On-Board Dynamic Payload Weighing Systems. *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics*. 2022; 362:193–203. DOI: 10.1007/978-3-030-77306-9\_17.
19. Voronov A.Ju., Khoreshok A.A., Voronov Ju.E., Bujankin A.V., Voronov A.Ju. Assessment of the operation quality of shovel-truck systems at open-pit coal mines in Kuzbass. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020; 2:19–26. [in Russ.]. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-19-26.
20. Zhilinkov A.A., Kalyanov A.E., Komissarov A.P., Lagunova Yu.A. Justification of parameters of excavator and car complexes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12–1):44–55. [In Russ.]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_121\_0\_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:*

**Yuliya A. Lagunova**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: [yu.lagunova@mail.ru](mailto:yu.lagunova@mail.ru)

**Aleksandr A. Zhilinkov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, e-mail: [zhilinkov@m.ursmu.ru](mailto:zhilinkov@m.ursmu.ru)

**Valeria V. Makarova**, Senior Lecturer, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4148-5556>, e-mail: [v.v.makarova@urfu.ru](mailto:v.v.makarova@urfu.ru)

**Alexander E. Kalyanov**, Candidate of Sciences in technology, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, e-mail: [aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru](mailto:aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru)

**Gennady D. Buyalich**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, (T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: [gdb@kuzstu.ru](mailto:gdb@kuzstu.ru)

*Contribution of the authors:*

Yuliya A. Lagunova — generation of the research idea, performance of work on the systematization of the material, scientific management.

Aleksandr A. Zhilinkov — formulation of the research task, preparation of the experiment, analysis of the results, writing the text of the article.

Valeria V. Makarova – preparation and conduct of experimental studies, obtaining data for analysis.

Alexander E. Kalyanov — preparation and conduct of experimental studies.

Gennady D. Buyalich – data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements

*Authors have read and approved the final manuscript.*

