

Научная статья

УДК 629.33 + 62-529

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49

Дубинкин Дмитрий Михайлович, кандидат техн. наук, доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ ПОГРУЗКЕ И РАЗГРУЗКЕ ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ (КУЗОВА) КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА**Информация о статье**

Поступила:

13 мая 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 июня 2022 г.

Принята к печати:

22 июня 2022 г.

Ключевые слова:

автономный карьерный самосвал, автономные тяжелые платформы, беспилотные транспортные средства, горные машины, добыча полезных ископаемых, цифровое создание карьерных самосвалов.

Аннотация.

В условиях отсутствия высокотехнологичного производства и постоянно-го прироста импорта карьерных автосамосвалов возникает необходимость в разработке научных основ создания автономных карьерных самосвалов для открытых горных работ. В статье приводится методика определения нагрузок, позволяющая на стадии моделирования определять нагрузки, действующие при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала, а также оценивать компоновочное и конструктивное решение грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала. Рассмотрены два расчетных случая моделирования в среде динамики дискретных тел при одних и тех же условиях грузовой платформы (кузова) БЕЛАЗ 7513 и разработанной грузовой платформы (кузова) в рамках Постановления Правительства № 218. Смоделирован процесс погрузки и разгрузки грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала с учетом эксплуатации в реальных условиях. На конкретных примерах показаны результаты методики создания карьерных самосвалов. Приведены научные и практические результаты работы.

Для цитирования: Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 31-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-034 от 22.11.2019г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Введение

Карьерные самосвалы (КС) применяются при разработке твердых полезных ископаемых на разрезах и карьерах с годовым грузооборотом до

15÷20 млн т при расстоянии транспортирования до 4÷5 км. КС имеют оригинальную конструкцию всех элементов и относительно невысокую серийность, обладают высокой ценой, ограниченностью зон



Рис. 1. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы карьерного самосвала
Fig. 1. Method of determining the loads operating during loading and unloading of the cargo platform of a quarry dump truck

эксплуатации как в грузе, так и в порожнем и не всегда являются оптимальными для карьерных работ, особенно при эксплуатации в малых и средних карьерах. Поэтому вопрос эффективности использования КС всегда остро стоит перед горнодобывающими предприятиями.

Одним из путей решения вопроса эффективности использования КС является оценка автосамосвала по коэффициенту снаряженной массы (1):

$$K_T = \frac{m_0}{m_T} \quad (1)$$

где m_0 – собственная масса КС в снаряженном состоянии (без груза), т; m_T – масса груза, перевозимого КС, т.

Актуальность

Снижение собственной массы КС без уменьшения его прочности и надежности является важной задачей в горном машиностроении, т.к. это увеличивает полезную перевозку горной массы и, как следствие, производительность транспортных работ.

Грузовая платформа – кузов (ГП) КС служит для перемещения горной массы при транспортировке. Тип ГП КС определяется его назначением и конструкцией [1]. При создании новых конструкций ГП [2-17] учитывают физические свойства материала ГП, физические свойства горной массы, пылеобразование при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и др. Рациональной ГП считают ту, которая учитывает все вышеперечисленные

параметры с минимальными затратами на материалы и трудоемкость при изготовлении. Поэтому снижение собственной массы КС без уменьшения его прочности и надежности путем создания ГП облегченного исполнения является актуальной задачей.

Исходя из вышесказанного, поставлена цель работы: разработать методику определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке ГП КС.

Основная часть

Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке ГП КС в среде динамики дискретных тел, представленной на рис. 1., является одним из этапов разработки научных основ создания КС [3] для открытых горных работ.

Рассмотрим два расчетных случая моделирования в среде динамики дискретных тел (в программе Rocky DEM) при одних и тех же условиях ГП БЕ-ЛАЗ 7513 и разработанной ГП в рамках Постановления Правительства № 218 (далее ГП АКС).

С целью приближения к реальным условиям эксплуатации ГП КС условия и характеристики моделирования выбраны и определены по информации, предоставленной угледобывающими предприятиями Кузбасса.

Выбор и обоснование горной массы [6-9]. В качестве горной массы выбран уголь. Сыпучий груз (уголь) смоделирован в виде сфер (рис. 2). Определены следующие физические свойства и характеристики горной массы:

– гранулометрический состав моделируемых частиц сыпучего груза (табл. 1);

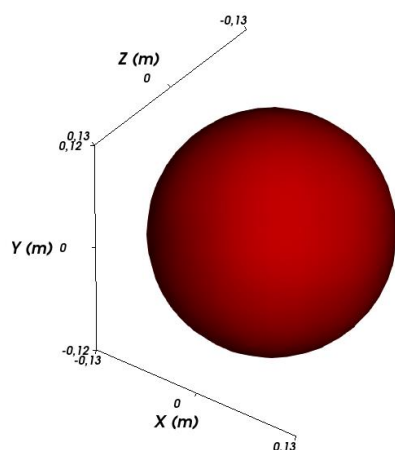


Рис. 2. Внешний вид генерируемой частицы с усредненными геометрическими значениями
Fig. 2. Appearance of the generated particle with averaged geometric values

Таблица 1. Гранулометрический состав моделируемых частиц сыпучего груза
Table 1. Granulometric composition of simulated bulk cargo particles

Точка замера	Выход, %		
	Размер фракции		
	–100	–200	250
ГП КС до транспортирования	60,7	78,8	21,2

Таблица 2. Характеристики, отражающие показатели взаимодействия частиц и поверхностей
Table 2. Characteristics reflecting indicators of interaction of particles and surfaces

Показатель	Уголь / Сталь	Уголь / Уголь
Трение покоя $f_{\text{покоя}}$	0,4	0,56
Трение движения $f_{\text{движ}}$	0,3	0,56
Коэффициент восстановления при ударе E	0,3	0,30



Рис. 3. Общий вид экскаватора Liebherr R9100
Fig. 3. General view of the Liebherr R9100 excavator

– коэффициенты и показатели, влияющие на взаимодействие частиц при моделировании (табл. 2);

– насыпная плотность угля 900 кг/м³.

Выбор и обоснование погрузочного оборудования. В качестве погрузочного оборудования выбран экскаватор Liebherr R9100 (рис. 3). Параметры работы экскаватора Liebherr R9100 представлены на

рис. 4.

В расчете моделируется движение ковша экскаватора, который погружает сыпучий груз в ГП КС согласно паспорту загрузки автосамосвала экскаватором. Загрузка угля в ГП осуществляется согласно схеме и порядку размещения ковшей в ГП КС (рис. 5). Расчетное количество ковшей, загружаемых в ГП, согласно грузоподъемности применяется рав-

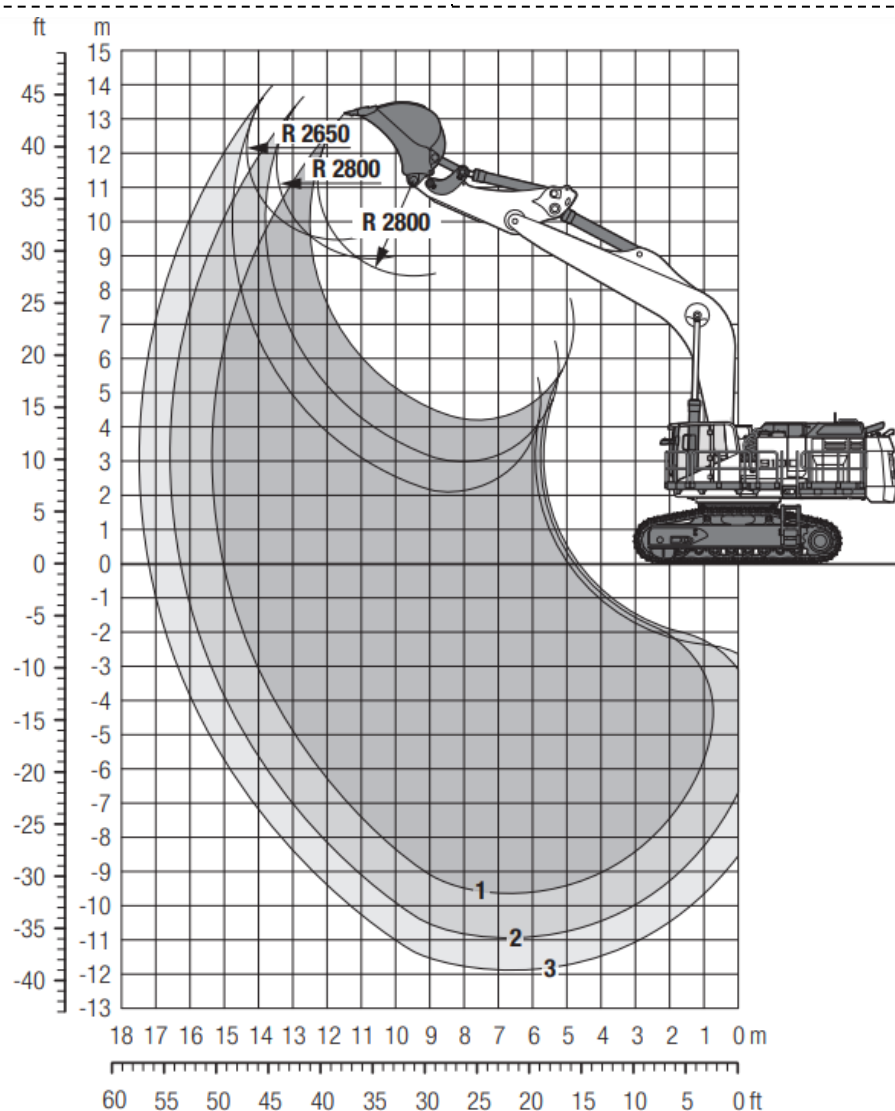


Рис. 4. Параметры работы экскаватора Liebherr R9100
Fig. 4. Operating parameters of the Liebherr R9100 excavator

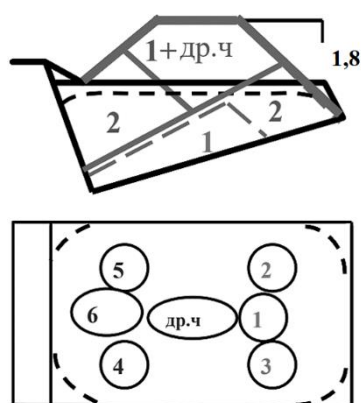


Рис. 5. Схема и порядок размещения ковшей в грузовую платформу карьерного самосвала
Fig. 5. Scheme and procedure for placing buckets in the cargo platform of a dump truck

ным 21 шт.

В расчетах не моделируется процесс черпания ковшом, т.к. это отдельная задача, которая в данной работе не рассматривается, поэтому смоделирован процесс последовательного высыпания сыпучего груза в ковш. Сыпучий груз высыпается в ковш из смоделированных отверстий диаметром 1,8 м в те-

чение 4 секунд со скоростью заполнения 1400 кг/с.

Описание модели ковша экскаватора Liebherr R9100: тип лопаты – обратная; объем ковша – 7 м³. В расчетной модели используется недеформируемая внутренняя поверхность ковша, которая взаимодействует с сыпучим грузом (рис. 6, рис. 7). Движение ковша происходит относительно оси

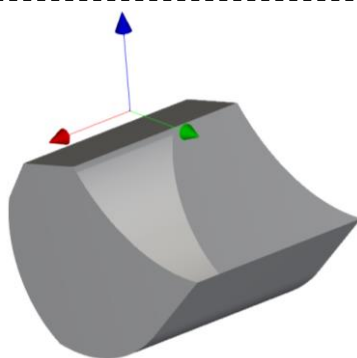


Рис. 6. Математическая модель (поверхность взаимодействия) ковша
Fig. 6. Mathematical model (interaction surface) of the bucket

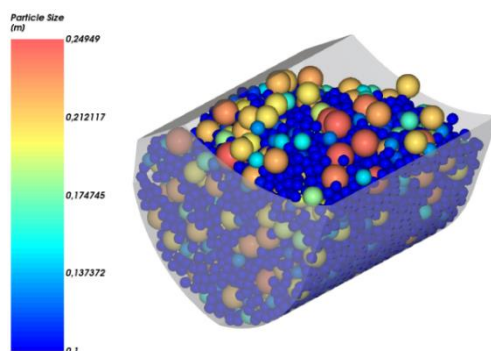


Рис. 7. Модель ковша с сыпучим грузом
Fig. 7. Model of a bucket with a bulk cargo



Рис. 8. Внешний вид грузовой платформы (кузова) БЕЛАЗ 7513
Fig. 8. Appearance of the BELAZ 7513 cargo platform (body)

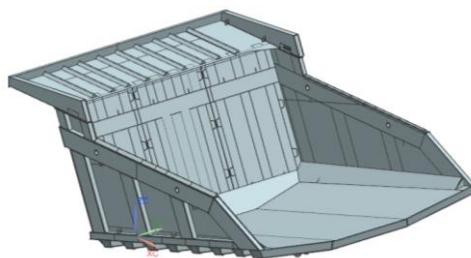


Рис. 9. Внешний вид твердотельной модели грузовой платформы (кузова) АКС
Fig. 9. Appearance of the solid-state model cargo platform (body) of the AKS

опрокидывания ковша. Движение ковша экскаватора ограничено и происходит в области работы экскаватора (рис. 4). Масса сыпучего груза в ковше равна 5600 кг и рассчитана согласно гранулометрическому составу угля (табл. 1).

Разработка ГП КС.

ГП БЕЛАЗ 7513 (габаритные размеры: $x - 10,295$ м; $y - 6,900$ м; $z - 2,900$ м) и разработанной ГП АКС (габаритные размеры: $x - 10,225$ м; $y - 6,892$ м; $z - 3,954$ м) показаны на рис. 8 и рис. 9.

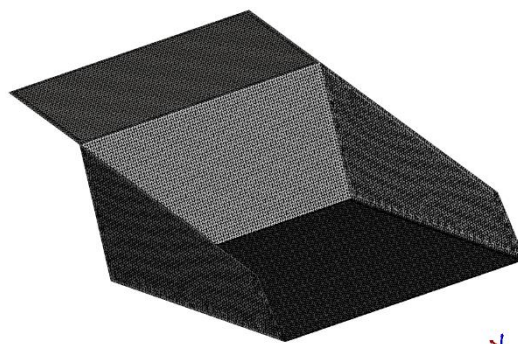
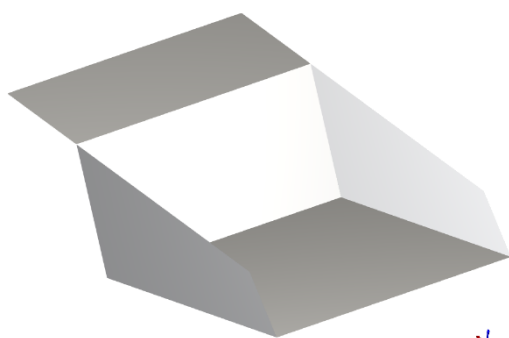


Рис. 10. Математическая модель грузовой платформы (кузова) БЕЛАЗ 7513
Fig. 10. Mathematical model of the BELAZ 7513 cargo platform (body)

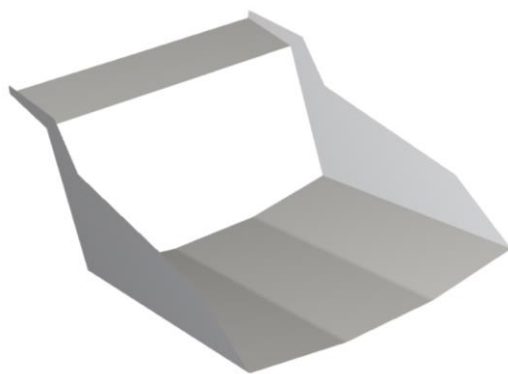


Рис. 11. Математическая модель грузовой платформы (кузова) АКС
Fig. 11. Mathematical model of the cargo platform (body) of the AKS

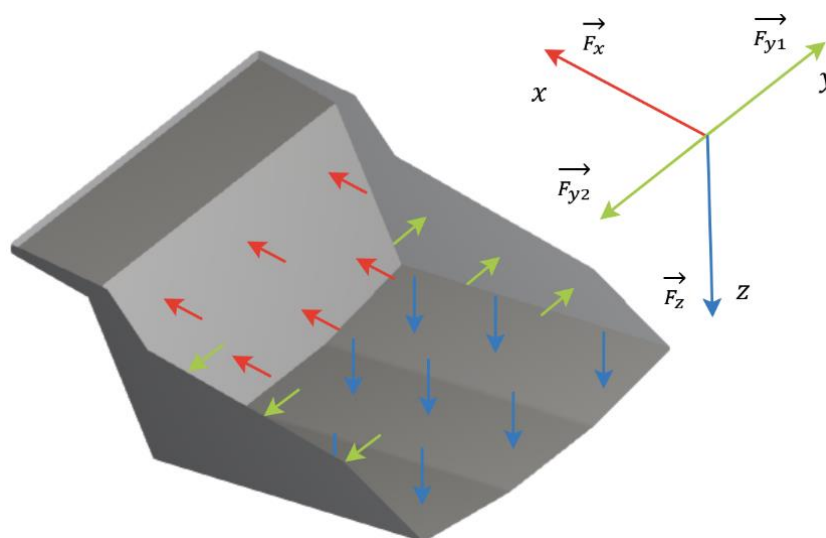


Рис. 12. Схема действия силы на грузовую платформу (кузов)
Fig. 12. Scheme of force action on the cargo platform (body)

Разработанные математические модели ГП КС для оценки нагрузок, действующих на ГП в процессе эксплуатации, представлены на рис. 10 и рис. 11. Математические модели ГП для анализа взаимодействия с сыпучим грузом при моделировании процесса погрузки и разгрузки были упрощены до поверхностей, и были построены полигональные тела.

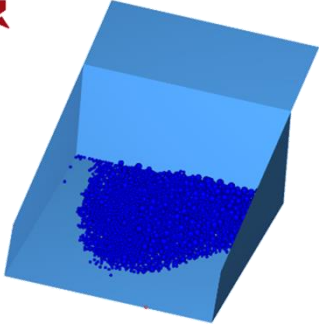
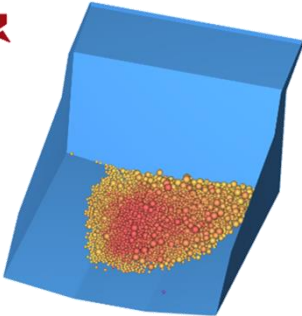
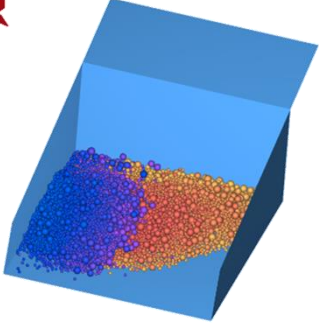
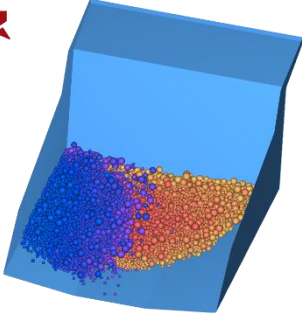
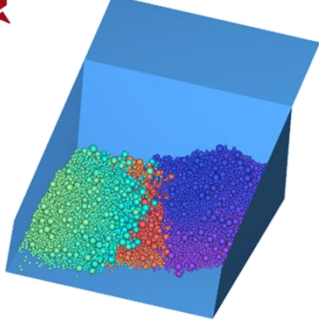
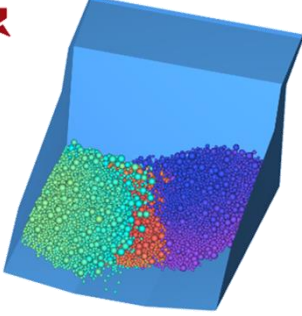
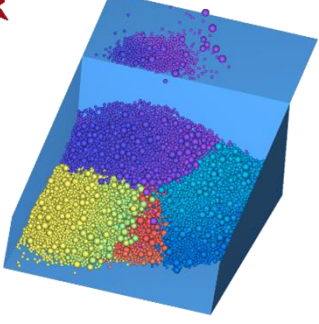
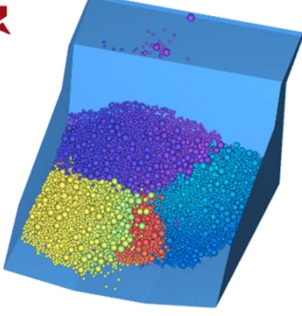
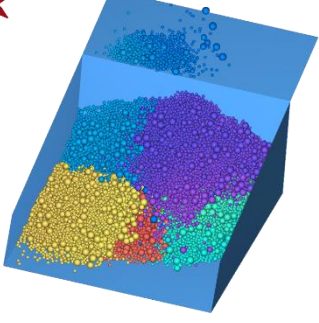
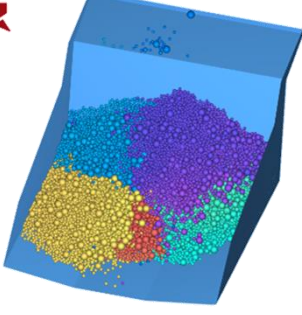
Моделирование в среде динамики дискретных тел.

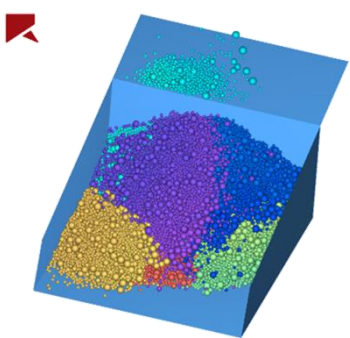
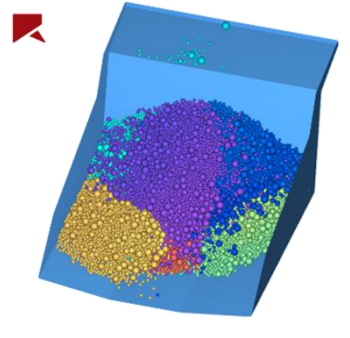
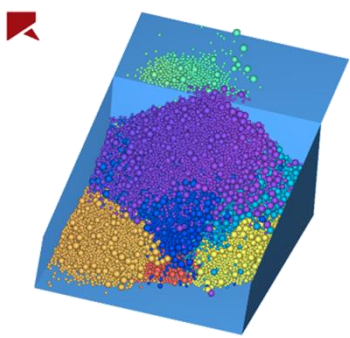
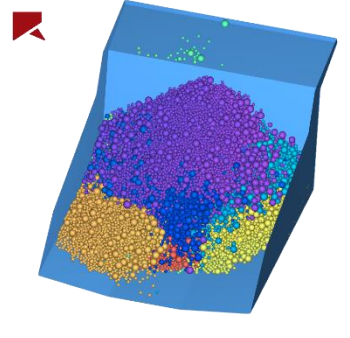
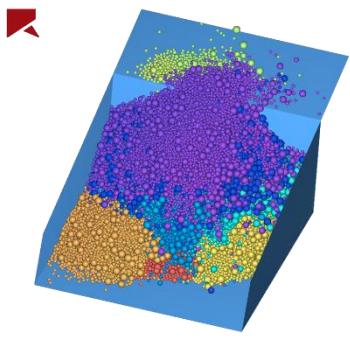
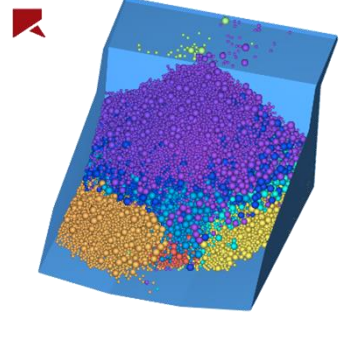
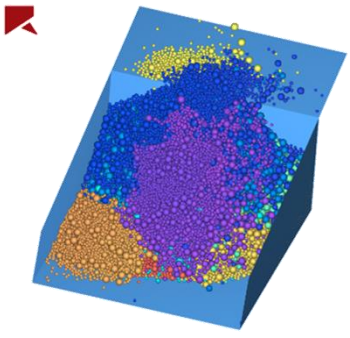
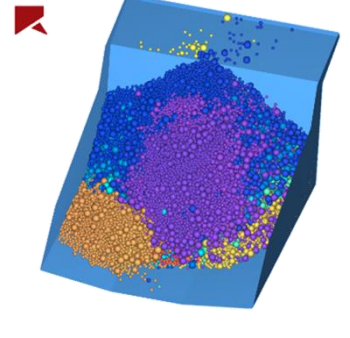
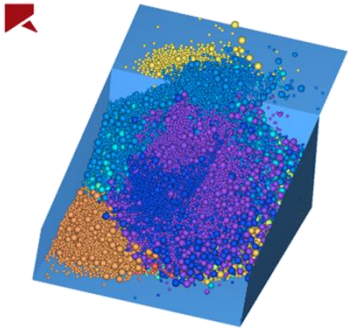
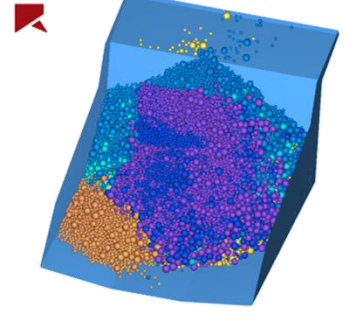
Силы сыпучего груза действуют и направлены на поверхности (рис. 12): по оси z – на дно ГП КС,

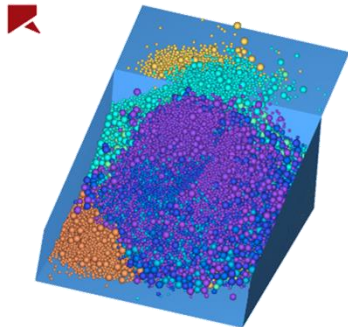
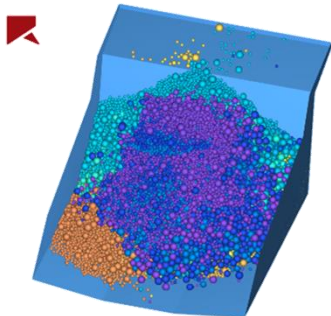
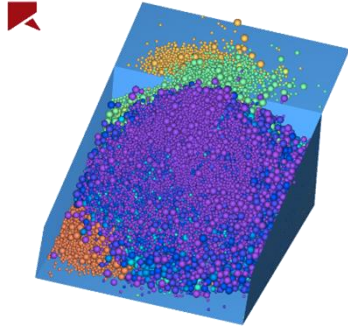
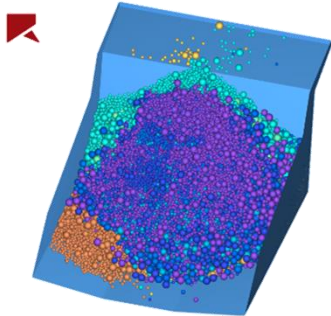
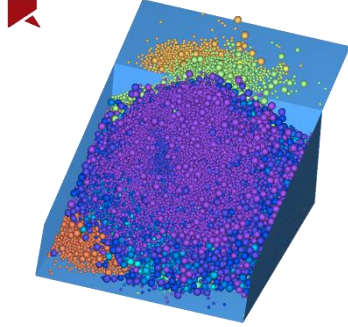
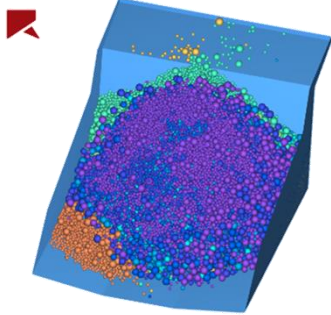
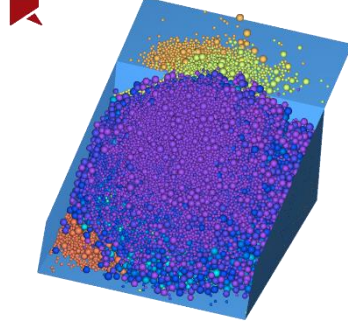
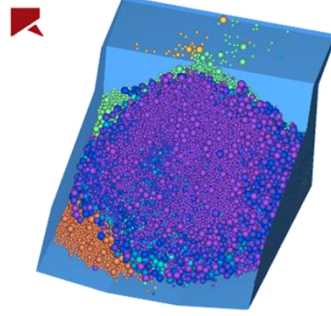
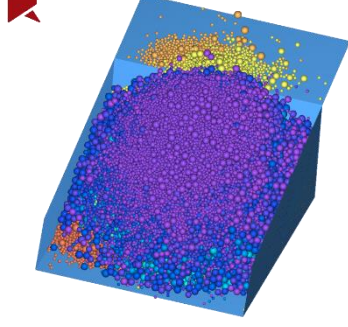
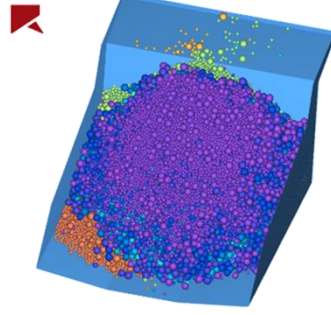
силы по оси y – на борта ГП КС и по оси x – на переднюю стенку ГП КС.

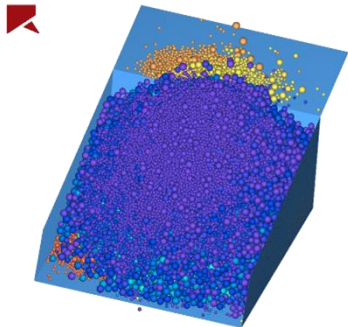
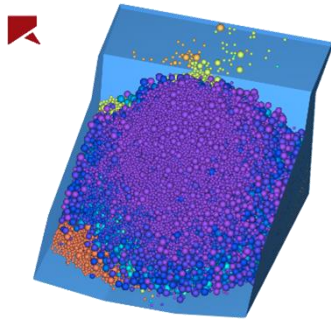
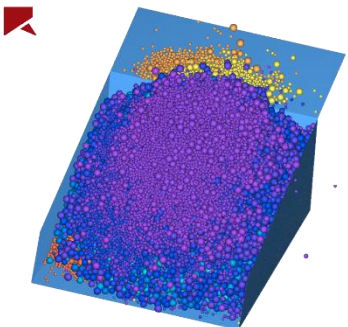
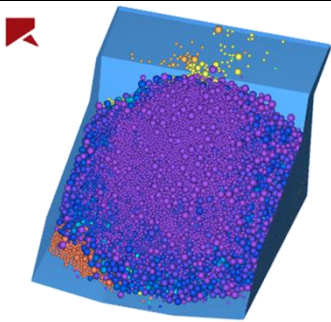
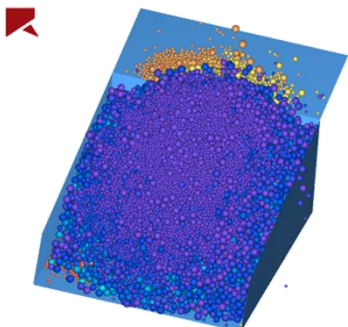
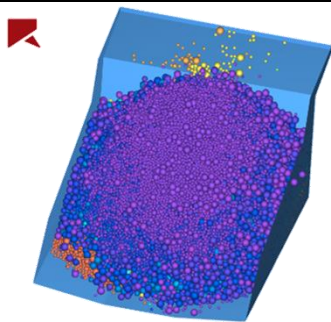
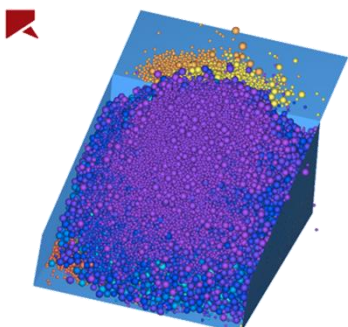
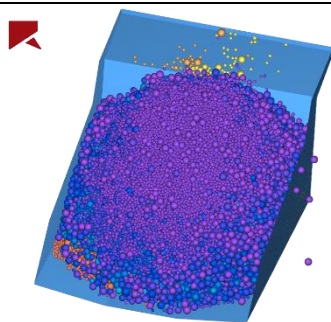
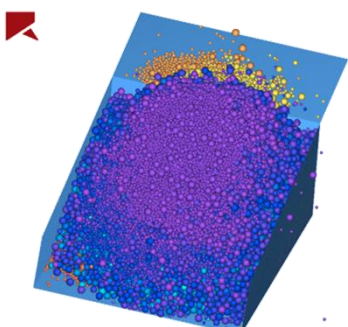
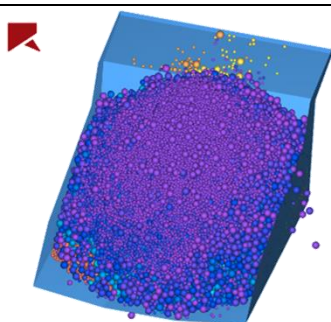
Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке и разгрузке ГП КС представлена в табл. 3 и табл. 4. На рисунках показаны положение сыпучего груза и места загрузки угля в ГП согласно схеме и порядку размещения ковшей в ГП КС (рис. 5). Для имитационного моделирования движения КС в конце погрузки ГП задано ускорение $0,37 \text{ м/с}^2$ в течение 4 с, остановка с таким же ускорением в течение 4 с и разгрузка.

Таблица 3. Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке грузовых платформ карьерного самосвала
 Table 3. Kilograms with simulation animation when loading cargo platforms of a dump truck

Номер ковша	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
1		
2		
3		
4		
5		

Номер ковша	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
6		
7		
8		
9		
10		

Номер ковша	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
11		
12		
13		
14		
15		

Номер ковша	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
16		
17		
17		
19		
20		

Продолжение таблицы 3.
Continuation of table 3.

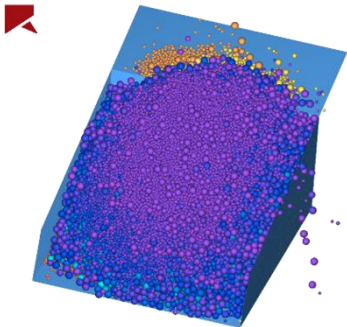
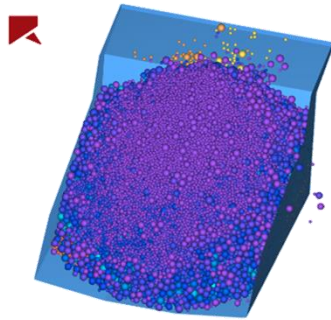
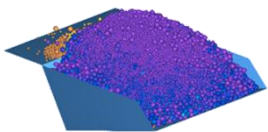
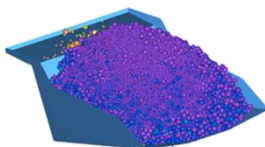
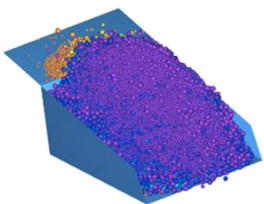
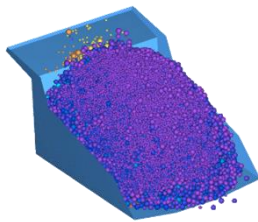
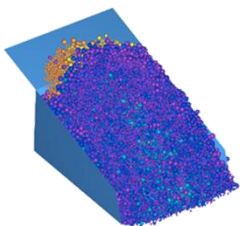
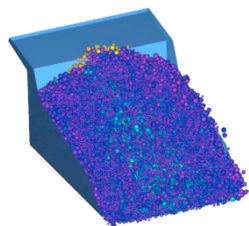
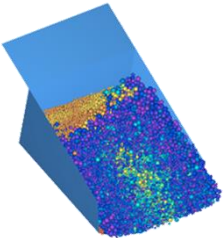
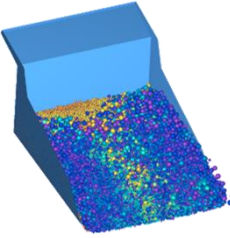
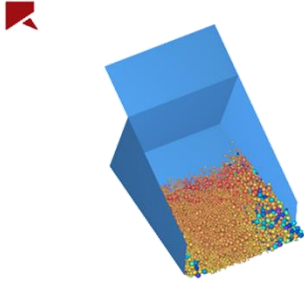
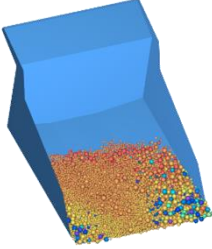
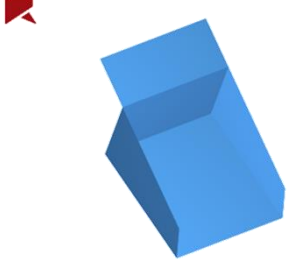
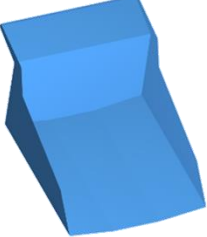
Номер ковша	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
21		

Таблица 4. Кинограмма с анимацией моделирования при разгрузке грузовых платформ карьерного самосвала
Table 4. Kilograms with simulation animation when unloading cargo platforms of a dump truck

Время, с	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
0		
5		
10		
15		

Время, с	ГП БЕЛАЗ 7513	ГП АКС
20		
25		

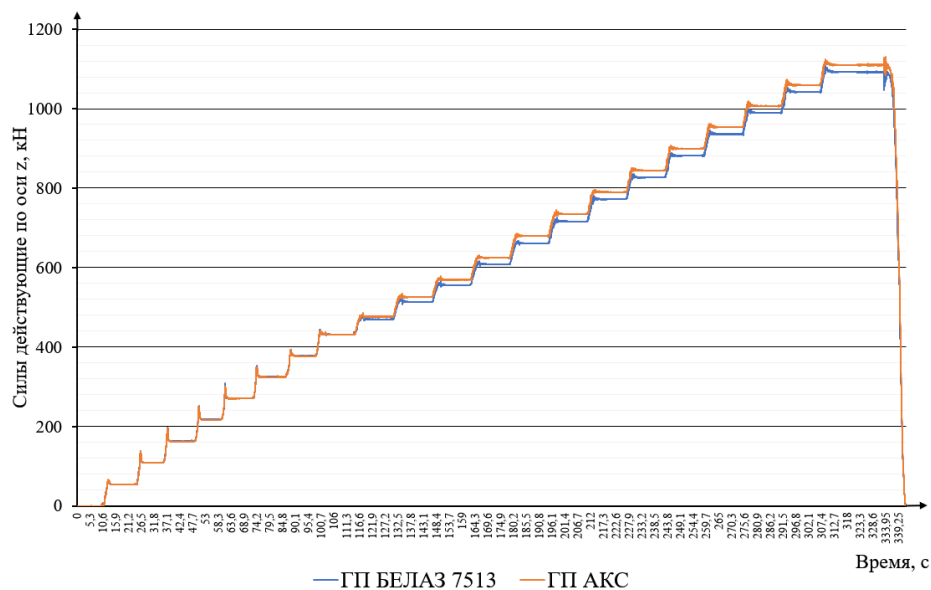


Рис. 13. Зависимость сил, действующих на поверхности грузовой платформы (кузова) по оси z от времени погрузки и разгрузки
Fig. 13. Dependence of the forces acting on the surface of the cargo platform (body) along the z axis on the time of loading and unloading

Описание результатов моделирования

Определение нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке, для расчета напряженно-деформированного состояния ГП КС.

По результатам моделирования получен массив данных нагрузок (сил), действующих на поверхности ГП КС и построены графики зависимостей сил действующих по оси z (рис. 13), по оси y (рис. 14), по оси x (рис. 15) от времени погрузки и разгрузки

ГП КС.

На рис. 16 показан график зависимости массы сыпучего груза от времени погрузки и разгрузки ГП КС. На рис. 17 приведен график загрузки сыпучего груза в грузовую платформу (кузов) в зависимости от количества ковшей.

Определение износа металлоконструкции ГП при погрузке и разгрузке КС.

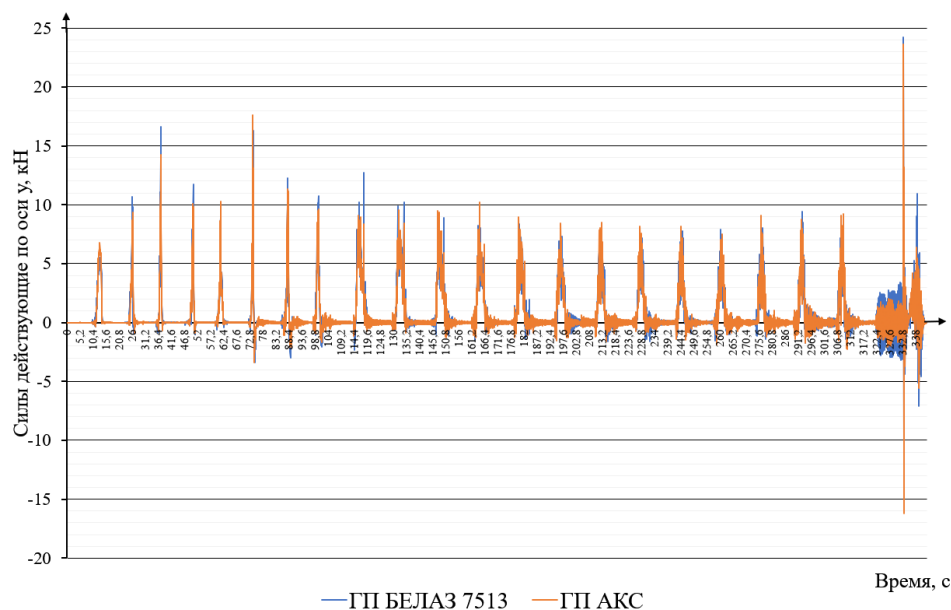


Рис. 14. Зависимость сил, действующих на поверхности грузовой платформы (кузова) по оси y от времени погрузки и разгрузки

Fig. 14. Dependence of the forces acting on the surface of the cargo platform (body) along the y axis on the time of loading and unloading

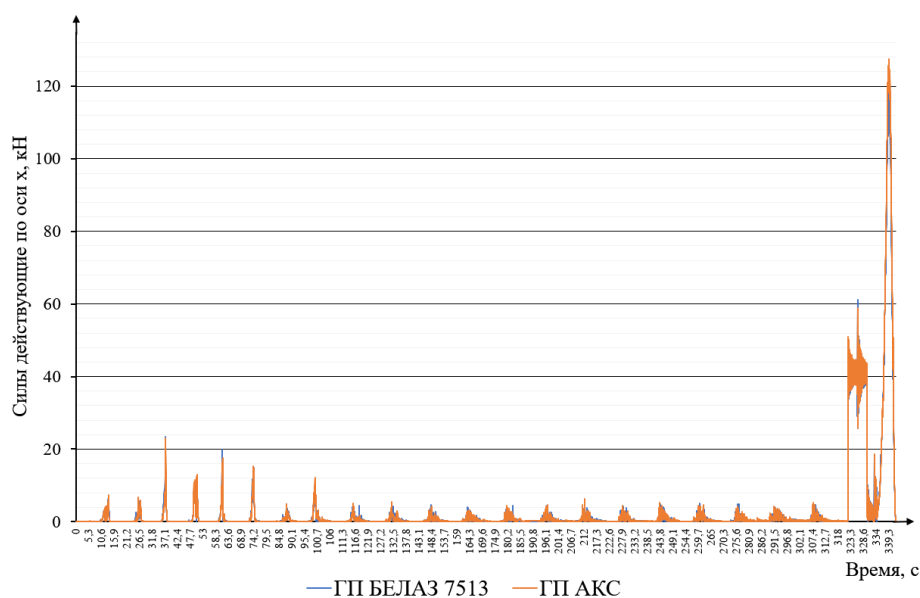


Рис. 15. Зависимость сил, действующих на поверхности грузовой платформы (кузова) по оси x от времени погрузки и разгрузки

Fig. 15. Dependence of the forces acting on the surface of the cargo platform (body) along the x axis on the time of loading and unloading

В расчетах не моделируется процесс износа металлоконструкции ГП при погрузке и разгрузке КС, т.к. это отдельная задача, которая в данной работе не рассматривается для сыпучего груза - угля. Моделирование износа металлоконструкции ГП при погрузке и разгрузке КС актуально для автосамосвалов, эксплуатируемых на вскрышных работах.

Анализ результатов моделирования ГП КС.

Анализ кинограммы с анимацией моделирования табл. 3, рис. 13, рис. 16 и рис. 17 показывает, что часть засыпаемого сыпучего груза в ГП БЕЛАЗ 7513 при равных прочих условиях просыпается с хвостовой части угольной ГП. Начиная с 9 ковша,

наблюдается потеря массы сыпучего груза у ГП БЕЛАЗ 7513 (рис. 18) и в меньшей степени у ГП АКС (рис. 19). В результате ГП БЕЛАЗ 7513 не догружается на 1,8 т угля в сравнении с ГП АКС.

Силы действуют и направлены: по оси z (рис. 13) на дно ГП КС, по оси y (рис. 14) – на борта ГП КС и по оси x (рис. 15) – на переднюю стенку ГП КС. Силы не имеют постоянных значений, так как сыпучий груз перемещается в грузонесущей емкости ГП КС. Анализ графика, представленного на рис. 14, показывает неравномерное распределение сил между левым и правым бортами, т.к. в моделируемом случае технологического процесса погруз-

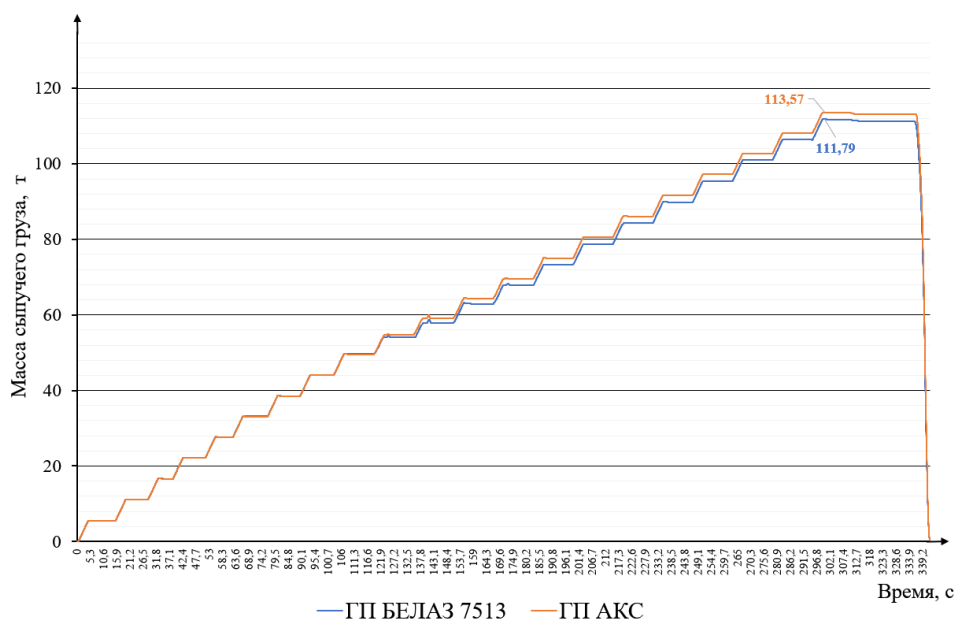


Рис. 16. Зависимость массы сыпучего груза от времени погрузки и разгрузки грузовой платформы (кузова)
Fig. 16. Dependence of the bulk cargo mass on the loading and unloading time of the cargo platform (body)

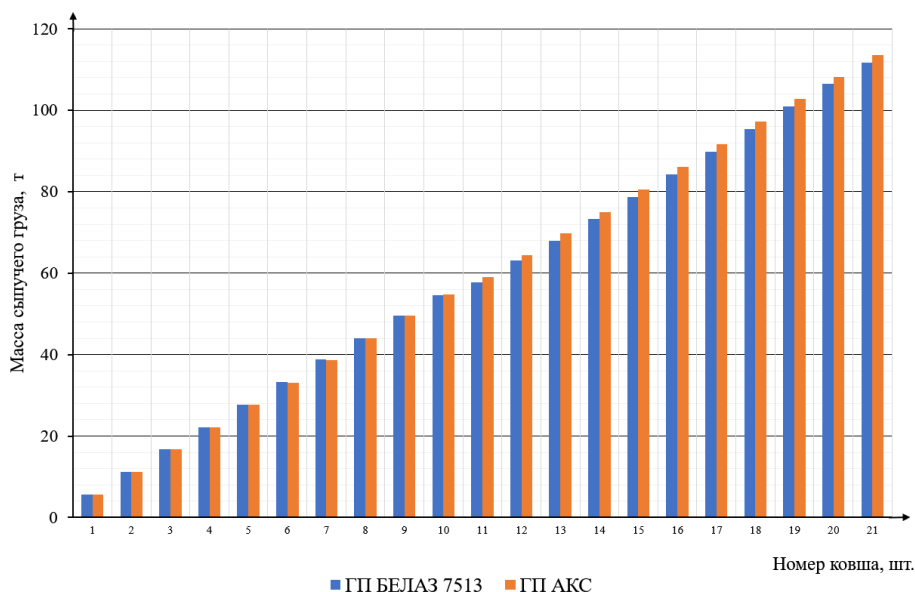


Рис. 17. График загрузки сыпучего груза в грузовую платформу (кузов) в зависимости от количества ковшей
Fig. 17. The schedule of loading bulk cargo into the cargo platform (body) depending on the number of buckets

ки ГП КС у экскаватора применяется обратная лопата, поэтому правый борт воспринимает в 1,1÷2,5 раза больше нагрузок по сравнению с левым бортом (рис. 20), как следствие, на графике (рис. 14) происходит смещение значений нагрузок относительно оси абсцисс.

Анализ зависимостей сил от времени показывает, что:

- при погрузке и разгрузке сыпучего груза ГП АКС воспринимает: по оси z (рис. 13) большие усилия по возрастающей до 3,2% по сравнению с ГП БЕЛАЗ 7513;

- при погрузке сыпучего груза ГП АКС и БЕЛАЗ 7513 воспринимает по оси y (рис. 14) и по оси x (рис. 14) в среднем одинаковые и близкие значения усилия;

- при движении и остановке ГП, ГП БЕЛАЗ 7513 воспринимает по оси y (рис. 14) и по оси x (рис. 15) в 1,01÷1,85 раз большие усилия по сравнению с ГП АКС.

Расчетный коэффициент использования грузоподъемности КС БЕЛАЗ 7513 равен 0,86 и у ГП АКС – 0,91. Расчетный коэффициент снаряженной массы КС БЕЛАЗ 7513 равен 0,98 и у ГП АКС – 0,97. Результаты моделирования говорят о необходимости изменения схемных и конструктивных решений ГП БЕЛАЗ 7513.

Достоверность результатов моделирования проверялась путем сравнения фотоснимков с угольного разреза КС БЕЛАЗ 7513 и разработанной кинограммой анимацией моделирования при полной погрузке ГП КС БЕЛАЗ 7513 (рис. 21).

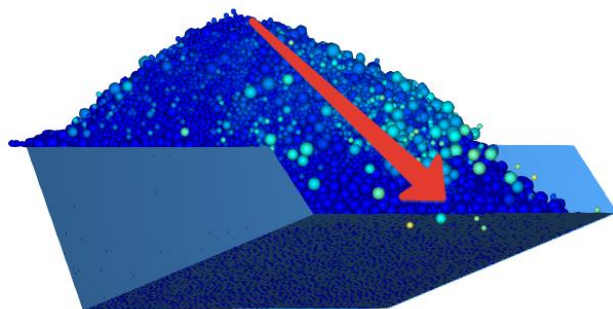


Рис. 18. Направления просыпания частиц сыпучего груза грузовой платформы (кузова) БЕЛАЗ 7513
Fig. 18. Directions of spillage of loose cargo particles of the BELAZ 7513 cargo platform (body)

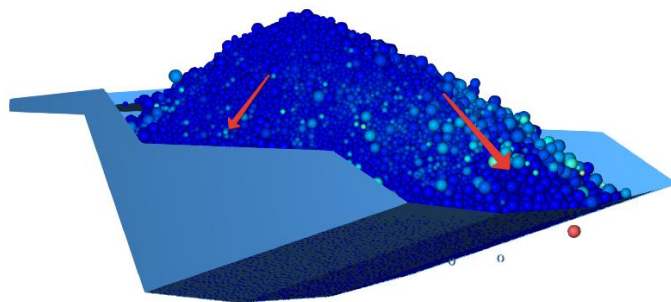


Рис. 19. Направления просыпания частиц сыпучего груза грузовой платформы (кузова) АКС
Fig. 19. Directions of spillage of loose cargo particles of the AKS cargo platform (body)

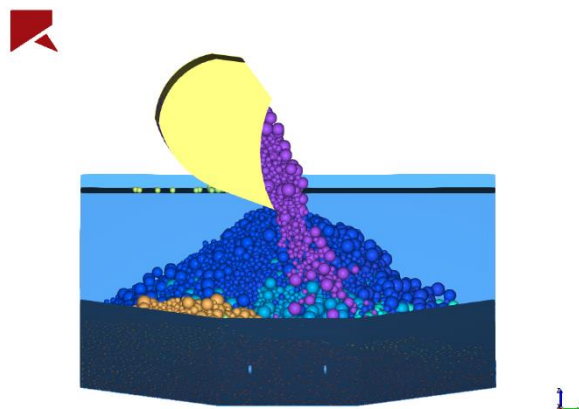


Рис. 20. Технологический процесс погрузки сыпучего груза в грузовую платформу (кузов) обратной лопатой
Fig. 20. The technological process of loading bulk cargo into the cargo platform (body) with a reverse shovel

Определение нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке ГП, для моделирования КС в среде динамики твердых тел.

По результатам моделирования получены нагрузки (рис. 22), распределенные по поверхности ГП, действующие при погрузке и разгрузке, для каждого шага по времени. Полученные усилия от сыпучего груза передаются в приложение по расчету динамики твердых тел для расчета напряженно-деформированного состояния как ГП, так КС в целом в среде динамики твердых тел.

Заключение

В работе:

- разработана методика определения нагрузок, позволяющая на стадии моделирования определять нагрузки, действующие при погрузке и разгрузке ГП КС, а также оценивать компоновочное и конструктивное решение ГП КС;
- установлено, что методика позволяет решить

вопрос эффективности использования КС на стадии их создания;

- разработана математическая модель ГП КС, смоделирован процесс погрузки и разгрузки ГП КС с учетом эксплуатации в реальных условиях;
- полученные результаты и рассмотренный подход могут быть применены при проектировании и создании новых ГП КС.

Разработанная методика апробирована при выполнении двух конкурсов по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства АКС в рамках Постановления Правительства № 218.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых

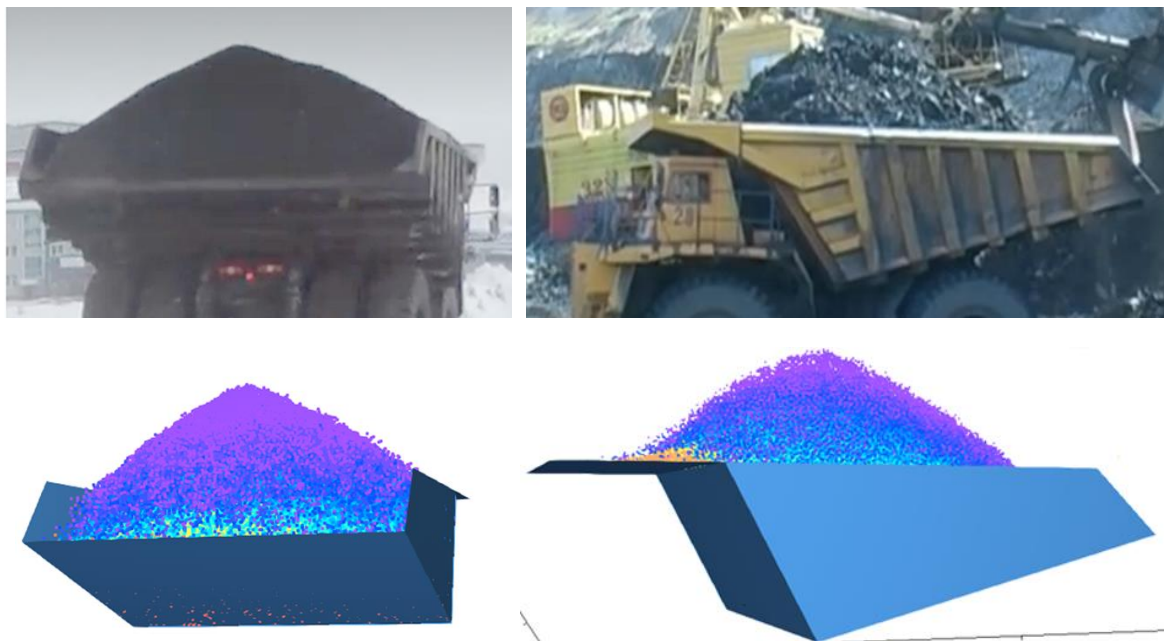


Рис. 21. Проверка результатов моделирования
Fig. 21. Verification of simulation results

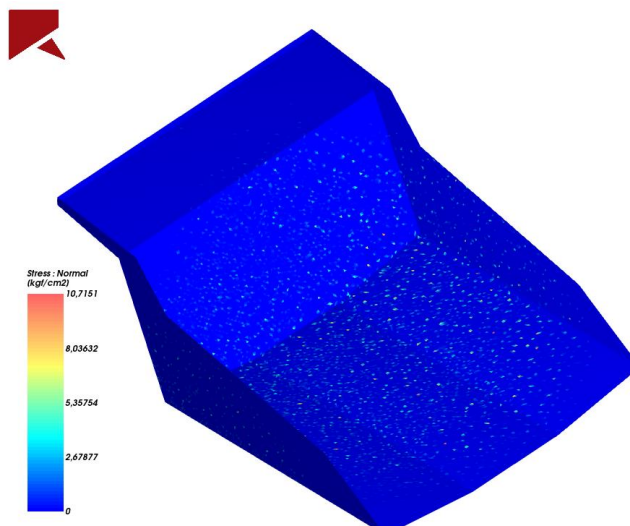


Рис. 22. Распределение нормального давления на поверхности взаимодействия грузовой платформы (кузова) АКС

Fig. 22. Distribution of normal pressure on the interaction surface of the AKS cargo platform (body)

платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // Техника и технология горного дела. 2021. № 3(14). С. 61-78. DOI 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78. EDN JUBVVP.

2. Насковец А. М., Пархомчик П. А., Егоров А. Н. [и др.] Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО "БЕЛАЗ" // Актуальные вопросы машиноведения. 2018. Т. 7. С. 8-11. EDN YUIEPB.

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

4. Дубинкин Д. М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеха-

ника. 2020. № 4(150). С. 59-64. DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64. EDN AYBIKN.

5. Дубинкин Д. М., Чичекин И. В., Левенков Я. Ю., Арутюнян Г. А. Разработка имитационной модели динамики карьерного автосамосвала для определения нагрузок, действующих на несущую систему и грузовую платформу при загрузке и разгрузке дисперсного груза // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 117-126. DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126. EDN AFXCCN.

6. Самусев П. А. Исследование влияния технологических процессов добычи угля на его грансостав // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 1999. № 2(9). С. 50-51. EDN WPUIDV.

7. Самусев П. А. Развитие фотолинейного метода определения гранулометрического состава угля при открытой разработке месторождений :

специальность 25.00.20 "Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово. 2000. 125 с. EDN QDDYTJ.

8. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Щадов М. И. Справочник по открытым горным работам. Москва : Горное дело, 2010. ISBN 978-5-904463-01-4. EDN OWBRMF.

9. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю. и другие. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1. Под ред. Анистратова К.Ю. М. : ООО «Система максимум», 2019. 640 с.: ил.

10. Хазин М. Л. Направления развития карьерного автотранспорта // Недропользование. 2021. Т. 21. № 3. С. 144-150. – DOI 10.15593/2712-8008/2021.3.7. – EDN ZNLGHA.

11. Зырянов И. В., Маев С. П. Опыт эксплуатации карьерных самосвалов на Нюрбинском ГОКе // Горный журнал. 2006. № 2. С. 69-72. EDN KUGXEL.

12. Журавлев А. Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // Транспорт Урала. 2014. № 4(43). С. 96-101. EDN TFCSHX.

13. Рудь Ю. С., Радченко И. С., Белоножко В. Ю., Ткаченко А. С. Теория движения карьерных самосвалов по технологическим дорогам без специальных покрытий // Восточно-Европейский жур-

нал передовых технологий. 2010. Т. 5. № 5(47). С. 32-38. EDN TLMSQD.

14. Яковлев В. Л., Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Маринов П. Л. Требования к совершенствованию конструкций карьерных автосамосвалов // Механика машин, механизмов и материалов. 2012. № 3-4(20-21). С. 86-92. EDN QZPXEB.

15. Журавлев А. Г., Буднев А. Б. Влияние грузоподъемности автосамосвалов на себестоимость горных работ по мере углубки карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 2. С. 20-31. DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31. EDN UKUUAЕ.

16. 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.

17. Задорожная Е. А., Маслюков 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

© 2022 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Об авторе:

Дубинкин Дмитрий Михайлович, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент, ddm.tm@kuzstu.ru

Заявленный вклад автора:

Дубинкин Д.М. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Dmitriy M. Dubinkin, C. Sc. (Engineering), Associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

METHOD OF DETERMINING THE LOADS ACTING DURING LOADING AND UNLOADING OF THE CARGO PLATFORM (BODY) CAREER SELF-DUMP



Article info

Received:

13 May 2022

Accepted for publication:

20 June 2022

Accepted:

22 June 2022

Keywords: autonomous dump truck, autonomous heavy platforms (trucks), unmanned vehicles, mining machine, mining, digital creation of mining dump trucks.

Abstract.

In the absence of high-tech production and a constant increase in imports of quarry dump trucks, there is a need to develop scientific foundations for the creation of autonomous quarry dump trucks for open-pit mining. The article presents a methodology for determining loads, which allows at the modeling stage to determine the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck, as well as to evaluate the layout and design solution of the cargo platform (body) of a quarry dump truck. Two computational cases of modeling in the environment of dynamics of discrete bodies under the same conditions of the BELAZ 7513 cargo platform (body) and the developed cargo platform (body) within the framework of Government Decree No. 218 are considered. The process of loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck is modeled taking into account operation in real conditions. Concrete examples show the results of the methodology for creating quarry dump trucks. The scientific and practical results of the work are presented.

For citation: Dubinkin D.M. Method of determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) career self-dump. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 3(161):31-49 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49

Acknowledgment:

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement № 075-11-2020-031 dated 14.12.2020 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of the family of robotized dump trucks with payload capacity up to 90 t with electromechanical transmission based on digital technology", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

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. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Analysis of structures and justification of the use of cargo platforms of quarry dump trucks with a lifting capacity of 90 tons. *Technique and technology of mining*. 2021; № 3(14): 61-78. DOI 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78. EDN JUBVVP.

2. Naskovets A.M., Parkhomchik P. A., Egorov A. N. [et al.] Modern development of quarry transport produced by JSC "BELAZ". *Actual issues of machine science*. 2018; 7: 8-11. EDN YUIEPB.

3. Dubinkin D.M. Justification of the need to create heavy platforms for open-pit mining. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2022; 2(160):39-50 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50. EDN ZUKXMF.

4. Dubinkin D.M. Substantiation of the need to create heavy platforms for open-pit mining operations. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 4(150): 59-64. DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64. EDN AYBIKN.

5. Dubinkin D. M., Chichekin I.V., Levenkov Ya.Yu., Harutyunyan G.A. Development of a simula-

tion model of the dynamics of a quarry dump truck for determining the loads acting on the load-bearing system and the cargo platform when loading and unloading a person's cargo. *Mining industry*. 2021; 6: 117-126. DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126. EDN AFXCCN.

6. Samusev P.A. Investigation of the influence of technological processes of coal mining on its granulation. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 1999; 2(9): 50-51. EDN WPUIDV.

7. Samusev P.A. Development of a photolinear method for determining the granulometric composition of coal in open-pit mining : specialty 25.00.20 "Geomechanics, rock destruction, mine aerogasodynamics and mining thermophysics" : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Kemerovo, 2000. 125 p. EDN QDDYTJ.

8. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu., Schadov M.I. Handbook of open-pit mining. Moscow: Mining; 2010. ISBN 978-5-904463-01-4. EDN OWBRMF.

9. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. and others. Open-pit mining – XXI century. Guide. Volume 1. Ed. Anistratova K.Yu.: M., LLC "System maximum", 2019. 640 p.: ill.

10. Khazin, M.L. Robotic mining dump trucks. *Izvestiya Ural State Mining University*. 2020; 3(59): 123-130. DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-123-130. EDN ZQXMTO.

11. Zyryanov I.V., Mayev S. P. Experience of operation of quarry dump trucks at the Nyurbinsky GOK. *Mining Journal*. 2006; 2: 69-72. – EDN KUGXEL.

12. Zhuravlev, A.G. The choice of rational loading capacity of quarry dump trucks for specific transportation conditions. *Transport of the Urals*. 2014; 4(43): 96-101. EDN TFCSHX.

13. Rud Yu. S., Radchenko I. S., Belonozhko V. Yu., Tkachenko A. S. Theory of movement of dump trucks on technological roads without special covers. *East European Journal of Advanced Technologies*. 2010; 5(47): 32-38. EDN TLMSQD.

14. Yakovlev V.L., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., Mariev P.L. Requirements for improving the designs of dump trucks. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2012; 3-4(20-21): 86-92. EDN QZPXEB.

15. Zhuravlev A.G., Budnev A.B. The influence of the loading capacity of dump trucks on the cost of mining operations as the quarry deepens. *Izvestia of higher educational institutions. Mining Journal*. 2019; 2: 20-31. DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31. EDN UKUUAЕ.

16. 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.

17. 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.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Dmitriy M. Dubinkin, Associate Professor of the Department of metal-cutting machines and Tools, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennyya street, 28) C. Sc. in Engineering, Associate Professor, ddm.tm@kuzstu.ru

Contribution of the author:

Dmitriy M. Dubinkin - scientific management; conceptualisation of research; writing the text, data collection; drawing the conclusions; reviewing the relevant literature.

The author have read and approved the final manuscript.

