Оригинальная статья

Original Paper

УДК 622.684 © Д.М. Дубинкин✉, А.В. Ялышев, Ш.Я. Исмаилова, 2025

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

UDC 622.684 © D.M. Dubinkin✉, A.V. Yalyshev, Sh.Ya. Ismailova, 2025

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Исходные данные к исследованию напряженно-деформированного состояния грузовой платформы карьерного самосвала*

Initial data for the study of the stress-strain state of the cargo platform of a dump truck

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-63-67

В работе обозначена актуальность формирования исходных данных к исследованию напряженно-деформированного состояния грузовой платформы с помощью методов дискретных элементов (DEM) и конечных элементов (FEM). В статье сформирован и обоснован набор расчетных случаев, учитывающих критические режимы эксплуатации (перегруз, смещение груза, отказ гидроцилиндра, налипание, динамическое торможение). Детально описана система граничных условий, моделирующая реальные узлы крепления ГП. Уделено внимание методике преобразования и переноса данных о нагрузках (узловых давлений) из DEM-модели в FEM-решетку, включая вопросы интерполяции при несовпадении сеток. Разработанные исходные данные позволяют проводить всесторонний прочностной анализ и выявлять критические зоны конструкции на ранних этапах проектирования.

Ключевые слова: *карьерный самосвал, грузовая платформа, напряженно-деформированное состояние, моделирование.*

ДУБИНКИН Д.М.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ЯЛЫШЕВ А.В.
Младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: jalyshavav@kuzstu.ru

ИСМАИЛОВА Ш.Я.
Младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс»), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р, в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.*

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Ялышев А.В., Исмаилова Ш.Я. Исходные данные к исследованию напряженно-деформированного состояния грузовой платформы карьерного самосвала // Уголь. 2025;(12):63-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-63-67.

Abstract

The paper indicates the relevance of the formation of initial data for the study of the stress-strain state of a cargo platform using discrete element (DEM) and finite element (FEM) methods. The article provides a set of calculated cases that take into account critical operating conditions (overload, load displacement, hydraulic cylinder failure, sticking, dynamic braking). A system of boundary conditions is described in detail, simulating real GP attachment points. Attention is paid to the method of converting and transferring load data (nodal pressures) from the DEM model to the FEM grid, including interpolation issues in case of grid mismatches. The developed initial data make it possible to conduct a comprehensive strength analysis and identify critical areas of the structure at the early stages of design.

Keywords

Dump truck, cargo platform, stress-strain state, modeling.

Acknowledgements

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 with the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev's "Comprehensive scientific and technical program for a full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to the life of the population" (KNTP "Clean coal – Green Kuzbass") approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022. No. 1144-r within the framework of the event "Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a lifting capacity of 220 tons" in terms of carrying out research and development work.

For citation

Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. Initial data for the study of the stress-strain state of the cargo platform of a dump truck. *Ugol'*. 2025;(12):63-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-63-67.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании новых конструкций в настоящее время широко применяют расчет напряженно-деформированного состояния (НДС). НДС позволяет оценить напряжения и деформации, возникающие в конструкции, до ее изготовления.

Ключевым фактором расчета НДС является правильное определение граничных условий и нагрузок при различных расчетных случаях. Для определения данного фактора существует множество подходов. Качественное определение начальных условий позволяет определить численные показатели напряжения и перемещения различных элементов конструкции для последующего анализа.

КузГТУ совместно с ПАО «КАМАЗ» и МГТУ им. Баумана ведут работы по разработке и созданию беспилотного карьерного самосвала (КС) челночного типа грузоподъемностью 220 т. При разработке нового КС, состоящего из множества систем, проводятся расчеты НДС [1, 2, 3]. Однако одним из наиболее сложных расчетов является расчет НДС грузовой платформы (ГП) КС, так как на ГП воздействуют нагрузки от сыпучей среды при погрузке, движении, разгрузке.

Наиболее перспективным для моделирования взаимодействия конструкций с сыпучими средами принято считать метод дискретных элементов (DEM), позволяющий получить пространственно-временное распределение сил, действующих от сыпучих материалов, в нашем случае – угля, породы [4]. Однако комплексный анализ совместного применения DEM с методом конечных элементов (FEM) остается недостаточно описанным в части применения к горным машинам и, в частности, к ГП КС.

Так, актуальными вопросами являются преобразование и перенос данных о нагрузках (сил, давлений), действующих на ГП, из DEM в FEM, а также обоснование расчетных случаев с учетом особенностей эксплуатации ГП.

Таким образом, была сформулирована цель работы: сформировать исходные данные к исследованию НДС грузовой платформы КС.

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СЛУЧАЕВ

Конструкция ГП перераспределяет приложенные нагрузки в зависимости от условий закрепления. Вследствие этого различные комбинации внешних сил и условий закрепления порождают качественно отличные картины НДС [5, 6]. Наиболее нагруженные, критические элементы конструкции могут отличаться в зависимости от расчетного случая.

Единичного расчета НДС, даже самого сильного, по модулю нагружения может быть недостаточно для разработки надежной конструкции ГП КС.

В связи с этим, для проведения качественного исследования необходимо использование различных расчетных случаев, в том числе и критических, связанных с отказами узлов или ошибкой при эксплуатации. Такой всесторонний анализ способен дать больше информации о НДС, возникающем в ГП КС.

Исследуя опыт других авторов [7, 8, 9, 10] и условия эксплуатации КС, было выяснено, что расчетные случаи должны разделяться по типу анализа и граничным условиям закрепления и нагружения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

ГП устанавливается на раму КС через кронштейны опрокидывания с помощью пальцев, узел опрокидывания. Основание платформы соприкасается с рамой через демпфирующие подкладки, узел прилегания. Подъем ГП осуществлялся гидроцилиндрами, установленными на раме, через кронштейны опрокидывания. Далее выделим независимые друг от друга условия закрепления. Места закрепления показаны на *рис. 1*.

Таблица 1

Степени свободы мест закрепления

Degrees of freedom of attachment points

Степень свободы	Ось опрокидывания (ВС1)	Демпфирующие подкладки (ВС2.n)	Точки подъема (ВС3.1; ВС3.2)
X (DOB1)	Жестко	Свободно	Жестко
Y (DOB2)	Жестко	Свободно	Жестко
Z (DOB3)	Жестко	Ограничено с демпфированием	Жестко
Вращение вокруг X (DOB1)	Жестко	Жестко	Ограничено
Вращение вокруг Y (DOB2)	Свободно	Жестко	Свободно
Вращение вокруг Z (DOB3)	Жестко	Жестко	Ограничено

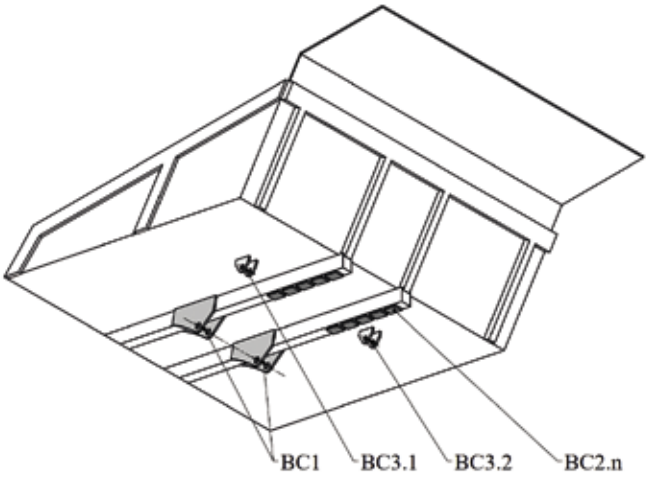

Рис. 1 Схема с обозначением мест закрепления

Fig. 1 Diagram with designation boundary conditions

Ось опрокидывания проходит через два кронштейна и представляет собой зафиксированный палец, соединяющий раму и платформу. В подавляющем большинстве случаев такая конструкция имеет только одну степень свободы, обеспечивающую поворот платформы вокруг центра оси опрокидывания. На *рис. 1* ось опрокидывания обозначена как ВС1.

Демпфирующие подкладки перераспределяют нагрузки с вышеописанных узлов только во время транспортировки и загрузки. Их степени свободы ограничены плоскостью, перпендикулярной плоскости примыкания платформы к раме, и равны двум степеням свободы. Демпфирующее соединение можно упростить, представив его в виде упругого элемента. Подкладки на *рис. 1* обозначены как ВС2.n, где n – количество подкладок.

Гидроцилиндры, предназначенные для подъема ГП, крепятся к кронштейнам симметрично с использованием шарнирных подшипников скольжения, что позволяет передавать не только осевые нагрузки, но и радиальные. Каждый отдельный узел на *рис. 1* обозначен ВС3.1 и ВС3.2. Он предназначен для крепления гидроцилиндра и имеет четыре степени свободы.

Таким образом, мы имеем три различных типа используемого закрепления, представленных в *табл. 1*.

Для того чтобы сформировать случаи нагружения, необходимо определить нагрузки, которые будут применяться для каждого из случаев. Основную нагрузку на ГП оказывает погруженная сыпучая среда. При эксплуатации характер нагружения может отличаться, существуют крайние случаи, среди которых перегруз, погрузка негабаритных кусков, налипание [11, 12, 13]. Опираясь на известные особенности эксплуатации КС и вышеописанные граничные условия, были сформированы расчетные случаи нагружения, которые представлены в *табл. 2*.

Перегруз самосвала может доходить до 20% в зависимости от типа перевозимого материала и объема ГП. На предприятиях стараются не превышать этот показатель более чем на 5-8% [14]. Таким образом, для расчетного случая (при перегрузе) примем показатель перегруза 20%.

1 случай: платформа расположена горизонтально с нагрузкой, соответствующей максимальной загрузке самосвала с перегрузкой +20%. Момент подъема, опирание платформы происходят на задние проушины опор и передние проушины гидроцилиндров подъема. Имеет 4 точки опоры.

2 случай: платформа расположена горизонтально с нагрузкой, соответствующей максимальной загрузке самосвала, с перегрузкой +20% и смещением «шапки» сформированного груза в ГП в бок на 1/3 от ширины платформы. Момент подъема, опирание платформы происходит на задние проушины опор и передние проушины гидроцилиндров подъема. Имеет 4 точки опоры.

3 случай: платформа расположена горизонтально с нагрузкой, соответствующей максимальной загрузке самосвала, с перегрузкой +20%. Момент подъема, отказ 1 гидроцилиндра, опирание платформы происходит на задние проушины опор и передние проушины гидроцилиндров подъема. Имеет 3 точки опоры.

Таблица 2

Расчетные случаи нагружения

Calculated loading cases

Случаи нагружения	Условие закрепления
1. Начальный момент опрокидывания платформы с перегрузом	ВС1; ВС3.1; ВС.3.2
2. Начальный момент опрокидывания с неправильно загруженной ГП	ВС1; ВС2.n; ВС3.1; ВС.3.2
3. Начальный момент опрокидывания платформы с неисправным гидроцилиндром	ВС1; ВС3.1
4. Погрузка	ВС1; ВС2.n; ВС3.1; ВС.3.2
5. Кузов в крайнем подъемном положении с налипшим или замерзшим грузом	ВС1; ВС2.n; ВС3.1; ВС.3.2
6. Резкое торможение с перегрузом	ВС1; ВС2.n; ВС3.1; ВС.3.2

4 случай: загрузка ковшом (или другим погрузочным оборудованием), опирание платформы происходит на задние проушины опор, демпфирующие подкладки, передние проушины гидроцилиндров подъема, 4+n точек опоры. Число демпфирующих подкладок – от 6 до 16 шт.

5 случай: платформа поднята на угол максимального подъема с нагрузкой 30% от грузоподъемности (имитация налипшего или примерзшего груза). Опирание платформы происходит на задние проушины опор и одну переднюю проушину гидроцилиндров подъема. Имеет 3 точки опоры.

6 случай: торможение автосамосвала, горная масса по инерции движется вперед, нагрузка соответствует максимальной загрузке самосвала с перегрузкой +20%. Опирание платформы происходит на задние проушины опор, демпфирующие подкладки, передние проушины гидроцилиндров подъема. Имеет 4+n точек опоры.

ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПОРТУ НАГРУЗОК

В предыдущих работах были представлены преимущества и особенности применения метода дискретных элементов при моделировании погрузки сыпучих грузов в ГП КС [15]. Наборы данных, получаемые из DEM, могут быть использованы в качестве условий нагружения FEM-расчета [16, 17].

В качестве таких данных зачастую используются либо сила, действующая на элемент, либо узловое давление. В некоторых программных обеспечениях, таких как EDEM, есть возможность более гибкого экспорта нагрузок, через номера ячеек или через силы в центрах, но мы рассмотрим перенос нагрузок через давление в узлах (нодах) как наиболее универсальный вариант, рассмотрим формирование узлового давления (*рис. 2*).

Для каждого узла, расположенного на сетки и задаваемого координатами x, y, z, существуют три компонента узлового давления Px; Py; Pz.

Зачастую сетки расчетной DEM- и FEM-моделей не совпадают, что может быть обусловлено различными требованиями к размерностям сетки, заданными исследователем [18]. В таких случаях возможно применение метода интерполяции, чтобы компенсировать значения в несовпадающих узлах. Чем меньше разница в размерности сеток, тем ближе будут значения давления до и после интерполяции.

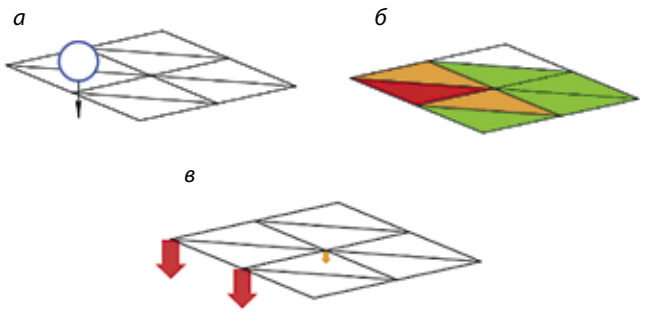

Рис. 2 Различные представления контактных взаимодействий: а – силы действующие от частицы; б – давление в ячейках; в – узловое давление

Fig. 2 Different representations of contact interactions: a – forces acting from a particle; b – pressure in cells; c – nodal pressure

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе были определены расчетные случаи для исследования НДС ГП КС, исходя из условий эксплуатации.

На основе особенностей конструкции ГП сформированы условия закрепления. Описаны требования к экспорту нагрузок из DEM-модели в FEM-модель. Полученные результаты являются исходными данными для исследования НДС ГП КС с различными параметрами.

Список литературы • References

1. Разработка методики определения основных геометрических параметров гидравлической системы рулевого управления карьерного самосвала / А.И. Бокарев, В.А. Дианов, А.Б. Карташов и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 3(163). С. 49-64. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-3-49-64.
Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Pashkov D.A., Dubinkin S.D. Development of a methodology for determining the main geometric parameters of the hydraulic steering system of a mining dump truck. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024;3(163):49-64. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125- 2024-3-49-64.
2. Моделирование термодинамических процессов в дисковых тормозах карьерной спецтехники с использованием метода конечных элементов (часть 1) / А.А. Волосатов, Д.А. Панасенков, Г.А. Арутюнян и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 3(163). С. 65-77. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-3-65-77.
Volosatov A.A., Panasenkov D.A., Arutyunyan G.A., Pashkov D.A., Zakrasovsky D.I. Modeling of thermodynamic processes in disc brakes of mining machinery using the finite element method (part 1). *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2024;3(163):65-77. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-3-65-77.
3. Пашков Д.А., Тарасюк И.А. Обоснование передней подвески беспилотного карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 17-1. С. 170-178.
Pashkov D.A., Tarasyuk I.A. Justification of the front suspension of an unmanned mining dump truck with a load capacity of 220 tons. *Transport, Mining, and Construction Engineering: Science and Production*. 2022;(17-1):170-178. (In Russ.).
4. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В., Исмаилова Ш.Я. К выбору программного обеспечения для имитационного моделирования погрузки горной массы в карьерные самосвалы // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5(175). С. 42-51. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-42-51.
Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. On the choice of software for simulation modeling of rock mass loading into dump trucks. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2024;5(175):42-51. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-42-51. (In Russ.).
5. Колчанов А.Г. Особенности проектирования карьерных автомобильных дорог для автономных самосвалов // Недропользование и транспортные системы. 2024. Т. 14. № 4. С.10-20. https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-4-10.
Kolchanov A.G. Features of Open Pit Road Design for Autonomous Dump Trucks. *Subsurface Management and Transportation Systems*. 2024;14(4):10-20. https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-4-10-20. (In Russ.).

6. Исследование нагруженности и долговечности платформы самосвала при движении по технологическому циклу с учетом моделирования загрузки и разгрузки сыпучим грузом / П.С. Литвинюк, А.М. Насковец, Н.А. Суденко и др. // Актуальные вопросы машиноведения. 2024. Вып. 13. С. 17-23.
Litvinyuk P.S., Naskovets A.M., Sudenko N.A., Kiselkov A.L., Khatskevich A.S. Investigation of loading and durability of a dump truck platform when moving through a technological cycle, taking into account modeling of loading and unloading of bulk cargo. *Actual issues of machine science*. 2024;(13):17-23. (In Russ.).
7. Исследование нагруженности и долговечности платформы самосвала при моделировании загрузки сыпучим грузом / П.С. Литвинюк, А.Л. Киселькov, А.С. Хацкевич и др. // Актуальные вопросы машиноведения. 2023. Вып. 12. С. 248-254.
Litvinyuk P.S., Kiselkov A.L., Khatskevich A.S., Naskovets A.M. Study of the stress state and durability of a dump truck dump body during simulation of bulk cargo loading. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*. 2023;(12):248-254. (In Russ.).
8. Lyashuk O., Levkovych M. Innovative stress analysis and machine learning forecasting for semi-trailer truck body durability. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2023;8(2):43-57. DOI: 10.14254/jsdtl.2023.8-2.3.
9. Ali D., Frimpong S. Impact force modelling for whole body vibration exposure during high impact multi-pass shovel loading operation. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2021;35(9):619-637. DOI: 10.1080/17480930.2021.1949856.
10. Liu Z., Liu D., Tian S., Han W., Zhao X. Multi-condition stability analysis and lightweight research of mining wide-body dump truck compartment. *Measurement Science and Technology*. 2024;35(4):045603. DOI: 10.1088/1361-6501/ad20c1.
11. Демченко И.И. Изыскание способов и средств борьбы с налипанием и намерзанием горной массы на технологическом автомобильном транспорте в условиях разрезов КАТЕКа: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Иркутск, 1992. 22 с.
12. Ялышев А.В. Необходимость создания грузовой платформы для аккумуляторного карьерного самосвала / Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сб. мат. VI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 30 нояб. – 01 дек. 2022 г. Кемерово, 2022.
13. Определение наиболее повреждающих по критерию усталости эксплуатационных режимов нагружения несущих конструкций кузова карьерного самосвала / А.В. Шмелев, А.М. Насковец, С.В. Хитриков и др. // Механика машин, механизмов и материалов. 2024. № 4(69). С. 17-27. DOI 10.46864/1995-0470-2024-4-69-17-27.
Shmelev A.V., Naskovets A.M., Khitrikov S.V., Kravchenok A.L. Determination of the most damaging fatigue criterion operational loading modes of the supporting structures of a quarry dump truck body. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2024;4(69):17-27. (In Russ.). DOI: 10.46864/1995-0470-2024-4-69-17-27.
14. Рудаков Д.А., Кузнецов Е.В. Опыт разреза «Междуреченский» по снижению недогрузов и перегрузов горной массы на карьерных автосамосвалах / Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Экибастуз, 29 мая 2020 г. Экибастуз, 2020. С. 17-19.
15. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение статических нагрузок на борт грузовой платформы карьерного самосвала // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 137-144. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of static loads on the sideboard of a dump truck body. *Gornaya promyshlennost'*. 2022;(6):137-144. (In Russ.). DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
16. Ye F., Qiang Y., Jiang W., Fu X. DEM–FEM Coupling Simulation of the Transfer Chute Wear with the Dynamic Calibration DEM Parameters. *Processes*. 2021;9(10):1847. DOI: 10.3390/pr9101847.
17. Xiao J., Xue L., Zhang D., Sun S., Bai Y., Shi J. Coupled DEM-FEM methods for analyzing contact stress between railway ballast and subgrade considering real particle shape characteristic. *Computers and Geotechnics*. 2023;(155):105192. DOI: 10.1016/j.compgeo.2022.105192.
18. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение рациональной сетки поверхностей для моделирования горного оборудования в среде DEM // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 3(179). С. 61-68. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-61-68.
Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of the rational surface mesh for modeling mining equipment in the DEM environment. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2025;3(179):61-68. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-61-68.

Authors Information
Dubinkin D.M. – PhD (Engineering), Associate Professor,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, 650000, Russian Federation,
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Yalyshev A.V. – Junior Researcher at the Scientific Center "Digital Technologies", Postgraduate Student,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, 650000, Russian Federation,
e-mail: yalyshavav@kuzstu.ru

Ismailova Sh.Ya. – Junior Researcher at the Scientific Center "Digital Technologies", Postgraduate Student,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, 650000, Russian Federation,
e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info
Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025