

## АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ПОДЪЕМА ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

*Арутюнян Г.А.<sup>1</sup>, Карташов А.Б.<sup>1</sup>, Косолапов А.С.<sup>1</sup>, Ялышев А.В.<sup>2</sup>, Мышьяков В.С.<sup>1</sup>, Попов И.П.<sup>1</sup>, Устинова А.М.<sup>1</sup>, Исмаилова Ш.Я.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;*

<sup>2</sup>*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово*

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, грузовая платформа, создание карьерного самосвала, гидроцилиндр подъема грузовой платформы, добыча полезных ископаемых, открытые горные работы

**Аннотация.** На ранних этапах проектирования карьерного самосвала необходимо определить основные узлы и агрегаты транспортного средства, их параметры и габариты. Одной из систем карьерного самосвала является гидравлическая. При создании новых карьерных самосвалов возникает необходимость определения параметров и характеристик компонентов гидравлической системы, в том числе гидроцилиндров подъема грузовой платформы карьерного самосвала. Особенностью карьерных самосвалов в отличие от автосамосвалов, которые используются на дорогах общего пользования, является, то, что режимы их эксплуатации отличаются. Поэтому при создании новых карьерных самосвалов требуется разработка алгоритма выбора и обоснования параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы на ранних этапах проектирования. В статье обоснована необходимость разработки алгоритма определения параметров гидравлической системы на примере гидроцилиндров подъема грузовой платформы карьерного самосвала. Определены основные гидравлические потребители и представлены требования к каждому из потребителей. Описан алгоритм обоснования параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы карьерного самосвала. Описано определение требуемой производительности насоса гидравлической системы. Использование описанного алгоритма для обоснования параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы карьерного самосвала способствует к сокращению сроков разработки на ранних этапах проектирования карьерных самосвалов.

## ALGORITHM FOR SELECTING PARAMETERS OF HYDRAULIC CYLINDERS FOR LIFTING THE CARGO PLATFORM OF A QUARRY DUMP TRUCK

*Arutyunyan G.A.<sup>1</sup>, Kartashov A.B.<sup>1</sup>, Kosolapov A.S.<sup>1</sup>, Yalyshev A.V.<sup>2</sup>, Myshyakov V.S.<sup>1</sup>, Popov I.P.<sup>1</sup>, Ustinova A.M.<sup>1</sup>, Ismailova Sh.Ya.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Moscow;*

<sup>2</sup>*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo*

**Keywords:** quarry dump truck, cargo platform, creation of a quarry dump truck, hydraulic cylinder for lifting a cargo platform, mining, open-pit mining.

**Abstract.** At the early stages of designing a dump truck, it is necessary to determine the main components and assemblies of the vehicle, their parameters and dimensions. One of the systems of a dump truck is hydraulic. When creating new quarry dump trucks, it becomes necessary to determine the parameters and characteristics of the components of the hydraulic system, including hydraulic cylinders for lifting the cargo platform of the quarry dump truck. The peculiarity of quarry dump trucks, unlike dump trucks that are used on public roads, is that their operating modes differ. Therefore, when creating new mining dump trucks, it is necessary to develop an algorithm for selecting and justifying the parameters of hydraulic cylinders for lifting the cargo platform at the early stages of design. The article substantiates the need to develop an algorithm for determining the parameters of the hydraulic system using the example of hydraulic cylinders for lifting the cargo platform of a dump truck. The main hydraulic consumers are identified and the requirements for each of the consumers are presented. An algorithm for substantiating the parameters of hydraulic cylinders for lifting the cargo platform of a quarry dump truck is described. The definition of the required performance of the hydraulic system pump is described. The use of the described algorithm to substantiate the parameters of hydraulic cylinders for lifting the cargo platform of a quarry dump truck contributes to reducing the development time at the early stages of designing quarry dump trucks.

**Введение.** При создании новых карьерных самосвалов (КС) возникает необходимость определения параметров и характеристик КС [1-12], в том числе компонентов

гидравлической системы (ГС) [13-16]. ГС современного КС включает в себя множество элементов, характеристики которых взаимосвязаны между собой. В ГС КС возможно выделить следующие основные потребители:

- гидроцилиндры подъема грузовой платформы;
- гидроцилиндры поворота управляемых колес;
- тормозные механизмы.

Указанные потребители требуют различной производительности гидронасоса и работают неодновременно. При определении требуемой производительности гидронасоса необходимо учитывать, что при эксплуатации КС в процессе подъема грузовой платформы поворот управляемых колес не осуществляются. По этой причине требуемые расходы гидроцилиндров подъема грузовой платформы и поворота колес не следует суммировать при определении производительности насоса.

Режимы эксплуатации КС отличаются от режимов эксплуатации автосамосвалов, использующихся на дорогах общего пользования, поэтому задача разработки алгоритма для обоснования параметров гидравлических компонентов КС является актуальной.

Целью работы является разработка алгоритма для обоснования параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы карьерного самосвала.

**Методология исследования.** Для расчета параметров гидронасоса предлагается следующий алгоритм выбора параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы КС, блок-схема которого представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Алгоритм выбора параметров гидросистемы карьерного самосвала

Особенностью алгоритма является то, что выбор гидронасоса осуществляется в первую очередь на основе расхода гидравлической жидкости, требуемого для подъема грузовой платформы [17-20], поскольку он требует большей производительности, чем поворот управляемых колес. Затем проводится проверка того, что производительности насоса достаточно для поворота колес и для торможения.

Определение параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы начинается с построения кинематической схемы подъема. На первом этапе алгоритма по известным положениям осей крепления платформы к раме, крепления гидроцилиндров подъема к раме и к грузовой платформе, а также по известной геометрии платформы необходимо определить максимальный угол подъема платформы и длины гидроцилиндров в раскрытом состоянии.

Схема приложения силы тяжести грузовой платформы с горной массой и силы подъема гидроцилиндров показана на рисунке 2.

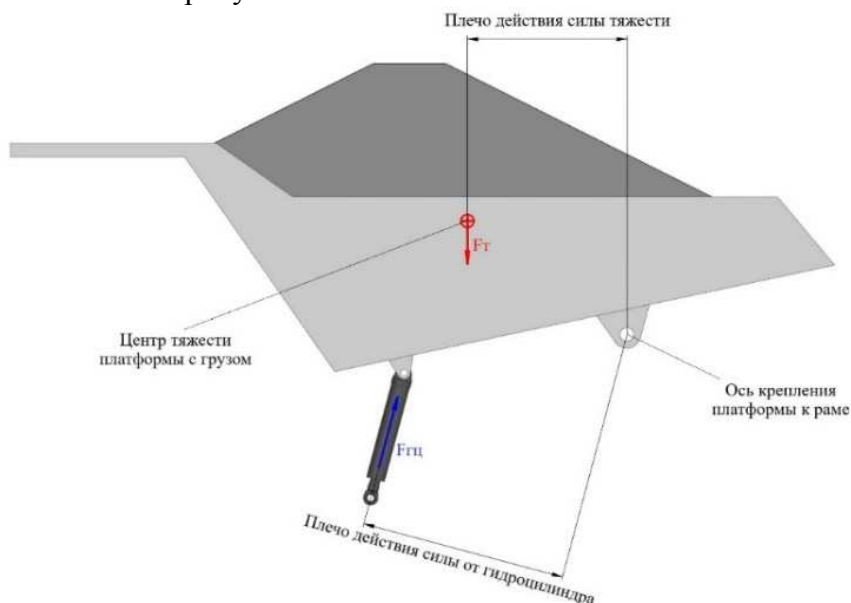


Рис. 2. Схема действия сил при расчете гидроцилиндра подъема грузовой платформы

При построении зависимости момента силы тяжести грузовой платформы с горной массой от угла подъема платформы с грузом необходимо учесть, что горная масса в процессе поднятия грузовой платформы высыпается, следовательно, его масса и положение центра масс изменяются по сложному нелинейному закону.

Известен метод, при котором нагрузки от действия дисперсных тел определяются в программных комплексах использующих метод дискретных элементов (DEM), а нагрузки в шарнирах – в приложении по расчету динамики твердых тел [21, 22]. Подобные подходы позволяют реализовать высокую точность при определении зависимости сил, действующих на гидроцилиндры подъема грузовой платформы КС, от угла подъема, необходимой для определения параметров гидроцилиндра. При этом такой подход требует значительных временных затрат и большого количества данных о проектируемом автомобиле.

В данной работе предлагается на ранних этапах проектирования для сокращения затрачиваемого времени исключить проведение имитационного моделирования процесса высыпания груза, а оценку объема гидроцилиндров подъема проводить, используя кинематическую схему подъема грузовой платформы и САD-модель платформы с сыпучим грузом.

Для расчета приняты следующие допущения [23-25]:

– сыпучий груз моделируется объемным телом с учетом «шапки 2:1», согласно ГОСТ 27923-88;

– при разгрузке платформы груз сыпается под углом  $26,6^\circ$  (согласно ГОСТ 27923-88, такой угол естественного сыпания наиболее близок к углам, образуемым скальными породами и обычными грунтами);

– часть сыпучего груза (15%) «примерзает» к днищу и боковым стенкам грузовой платформы;

– вес платформы с грузом равномерно распределяется между гидроцилиндрами.

**Анализ результатов исследования.** Для построения графика зависимости сил, возникающих от массы сыпучего груза, на гидроцилиндрах подъема с помощью кинематической схемы (рис. 2) определяют длину плеча гидроцилиндра подъема и длину плеча силы тяжести кузова с грузом в нижнем и верхнем положениях грузовой платформы, а также в нескольких промежуточных положениях. Для определения центра тяжести сыпучего груза в промежуточных положениях предлагается в каждом промежуточном положении строить новую модель сыпучего груза, с учетом угла естественного сыпания.

На рисунке 3 изображены разработанные модели грузовой платформы КС грузоподъемностью 220 тонн с различной степенью поднятия и различной степенью высыпания горной массы, и приведены изображения для углов подъема относительно днища платформы 0°, 20° и 40°, а также изменение положений центров тяжести для платформы с «прилипшим» грузом и для сыпучего груза. При угле подъема в 40° угол между днищем платформы и горизонтальной плоскостью превышает 26,6°, а значит грузовая платформа полностью опорожнена от горной массы.

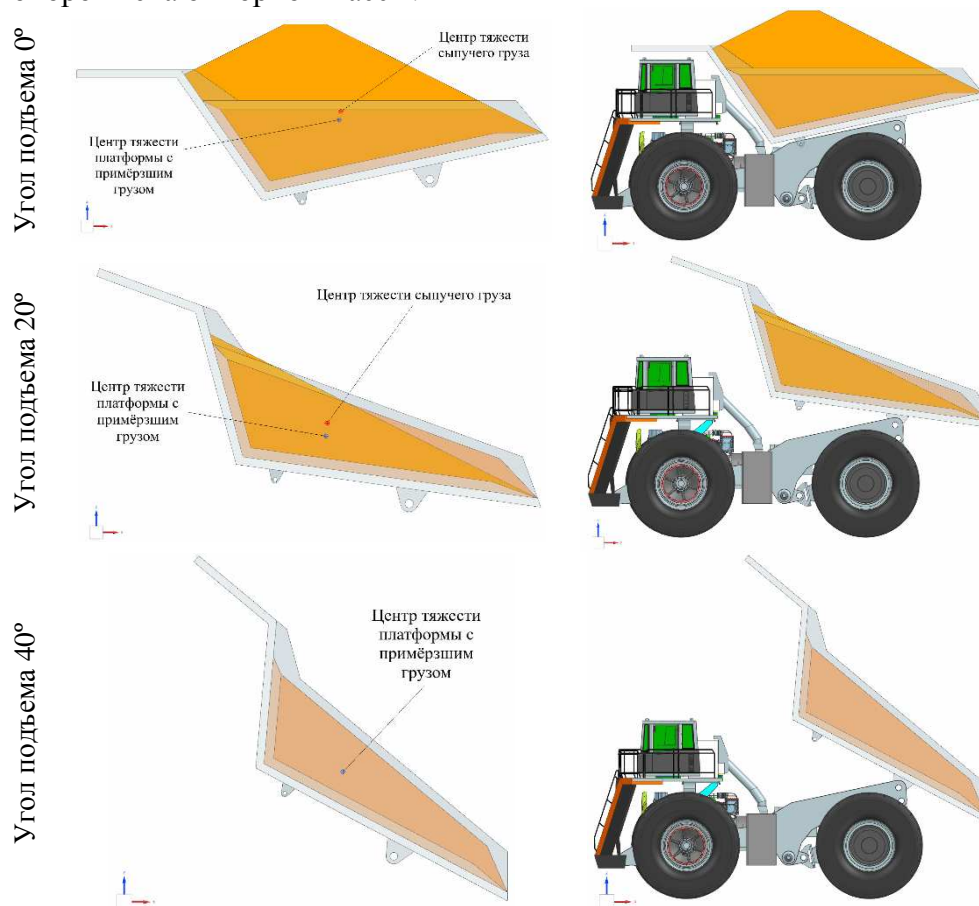


Рис. 3. Моделирование высыпания горной массы с грузовой платформы карьерного самосвала

Силу, действующую на один гидроцилиндр подъема от платформы с примерзшей породой и сыпучим грузом, определяем по формуле

$$F_{ГЦi} = \frac{m_{Пi} \cdot g \cdot h_{Пi} + m_{Гi} \cdot g \cdot h_{Гi}}{2 \cdot h_{ГЦi}} \quad (1)$$

где  $m_{П}$  – масса платформы с примерзшим грузом;  $h_{Пi}$  – плечо силы тяжести платформы с примерзшим грузом относительно шарнира крепления платформы к раме в  $i$ -м положении наклона;  $m_{Гi}$  – масса сыпучего груза в  $i$ -м положении наклона;  $h_{Гi}$  – плечо силы тяжести сыпучего груза относительно шарнира крепления платформы к раме в  $i$ -м положении наклона;  $h_{ГЦi}$  – плечо силы действия гидроцилиндра подъема относительно шарнира крепления платформы к раме в  $i$ -м положении наклона.

На рисунке 4 изображен график зависимости усилия  $F_{ГЦ}$  на один цилиндр подъема платформы с примерзшей породой и сыпучим грузом от угла подъема платформы для КС грузоподъемностью 220 тонн. Сила  $F_{ГЦ}$  вычисляется путем рассмотрения равновесия грузовой платформы в каждом из положений и с учетом изменяющихся массы и положения центра масс платформы с грузом.

Создаваемое гидроцилиндром усилие предлагается подбирать таким образом, чтобы оно превышало создаваемое грузовой платформой с горной массой усилие на величину

коэффициента запаса. Коэффициент запаса выбирается в зависимости от допустимой величины перегруза самосвала, а также в зависимости от планируемых к перевозке типов сыпучих грузов и их углов естественного откоса.

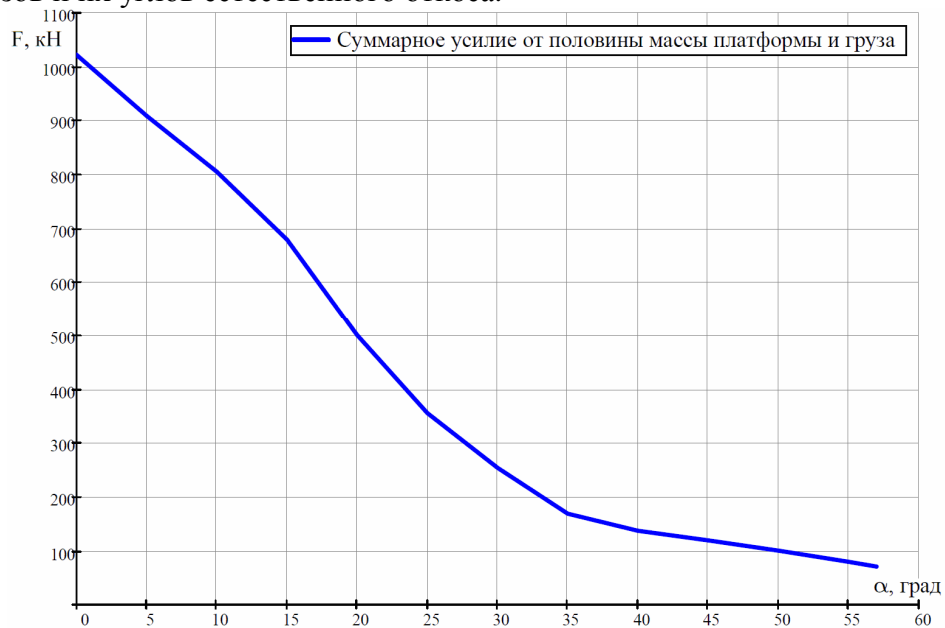


Рис. 4. График зависимости усилия на один гидроцилиндр подъема грузовой платформы с примерзшей породой и сыпучим грузом от ее угла подъема

На КС чаще всего применяют телескопические гидроцилиндры подъема, из-за конструктивных особенностей которых при проведении расчетов необходимо учитывать уменьшение усилия при переходе к каждой следующей ступени. Опираясь на кинематическую схему, по известной длине гидроцилиндра в сложенном состоянии и полностью раскрытого гидроцилиндра при максимальном угле наклона грузовой платформы можно определить длину каждой ступени и угол подъема, при котором будет задействована очередная ступень.

На рисунке 5 изображен график зависимости усилия на один цилиндр подъема грузовой платформы с примерзшей породой и сыпучим грузом, и график усилия, реализуемого одним гидроцилиндром от угла подъема платформы для КС грузоподъемностью 220 тонн, полученный путем умножения давления, обеспечиваемого насосом и площади поршня каждой из ступеней гидроцилиндра.

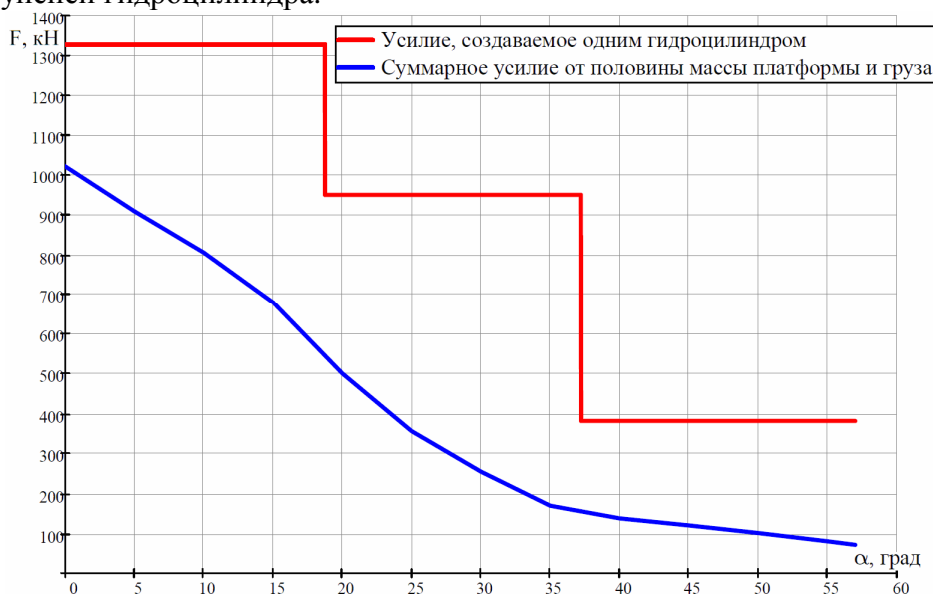


Рис. 5. График усилий, создаваемых гидроцилиндром подъема и половиной массы платформы с грузом от угла наклона платформы

Суммарный объем гидроцилиндров подъема грузовой платформы КС рассчитываем согласно выражению

$$V_{\text{ГЦ}_{\text{пл}}} = 2 \cdot \sum_n^{i=1} l_j \frac{\pi \cdot d_j}{4}. \quad (2)$$

где  $n$  – число ступеней гидроцилиндра;  $l_j$  – длина  $j$ -й ступени гидроцилиндра;  $d_j$  – диаметр цилиндра  $j$ -й ступени.

Исходя из полученного объема гидроцилиндров подъема, оцениваем требуемую производительность насоса по формуле

$$Q_0 = \frac{V_{\text{ГЦ}_{\text{пл}}}}{\eta_{\text{об}} \cdot t_{\text{под}}}. \quad (3)$$

где  $\eta_{\text{об}}$  – объемный КПД насоса;  $t_{\text{под}}$  – время, затрачиваемое на подъем платформы.

Время подъема грузовой платформы должно быть минимальным, так как продолжительность разгрузки КС существенно влияет на эффективность технологического процесса добычи полезных ископаемых. Для КС большой грузоподъемности время, затрачиваемое на подъем платформы, в среднем составляет 20 секунд [4].

Требуемый рабочий объем насоса определяем выражением

$$V_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot Q_0}{n_{\text{дв}}}. \quad (4)$$

где  $n_{\text{дв}}$  – обороты вала гидронасоса.

В зависимости от рабочего давления и требуемого объема жидкости может быть выбран как один насос с переменной подачей, так и два насоса: один с переменной подачей, работа которого направлена на обеспечение рабочей жидкостью узлов рулевого управления и других потребителей в процессе движения самосвала, и второй с постоянной подачей, который подключается при работе гидроцилиндров подъема платформы в процессе разгрузки.

**Выводы.** Использование описанного алгоритма для обоснования параметров гидроцилиндров подъема грузовой платформы КС способствует к сокращению сроков разработки на ранних этапах проектирования КС. Алгоритм позволяет определить характеристики основных потребителей (гидроцилиндров подъема грузовой платформы и поворота управляемых колес, тормозных механизмов) в гидросистеме КС, рассчитать и выбрать гидравлический насос.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022г. №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») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

#### Список литературы

1. Dubinkin D., Kulpin A., Stenin D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, p. 03015. doi.org/10.1051/e3sconf/202017403015.
2. Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Коляко А.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Разработка программы и методики предварительных испытаний автономного карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 6(158). – С. 59-65. – doi.org/10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.

3. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Зеляева Е.А. Обзор конструкций несущих систем (рам) карьерных самосвалов грузоподъемностью до 110 т // *Техника и технология горного дела*. – 2022. – № 1(16). – С. 4-15. – doi.org/10.26730/2618-7434-2022-1-4-15.
4. Дубинкин Д.М., Максимова О.С. Современное состояние цифровизации и роботизации при разработке недр открытым способом // *Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23-24 ноября 2022 года*. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 501.1-501.8.
5. 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. – doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-170-178.
6. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного // *Экология и промышленность России*. – 2022. – Т. 26, № 11. – С. 8-12. – doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
7. Дубинкин Д.М., Тургенев И.А., Шахманов В.Н. Особенности создания аккумуляторного карьерного самосвала на электрической тяге // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2022. – № 17-1. – С. 159-169. – doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-159-169.
8. Воронов А.Ю., Хорешок А.А., Воронов Ю.Е., Дубинкин Д.М., Воронов А.Ю. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // *Горная промышленность*. – 2022. – № 5. – С. 92-98. – doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
9. Хорешок А.А., Кацубин А.В., Дубинкин Д.М., Кошелев А.В., Федотов А.А. Обоснование параметров выемочно-погрузочного оборудования для опережающей выемки угольных пластов на разрезах // *Уголь*. – 2022. – № S12(1162). – С. 82-87. – doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.
10. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Efremkov A.B. On the mutual influence of average speed, trip time and hauling distance of quarry haul trucks // *AIP Conference Proceedings*. 2022, vol. 2486, p. 040017. doi.org/10.1063/5.0106089.
11. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremkov A.B., Tyulenev M.A. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks // *AIP Conference Proceedings*. 2022, vol. 2486, p. 040009. doi.org/10.1063/5.0106051.
12. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Nozirezoda Sh.S. Some prerequisites for the use of autonomous heavy platforms in open-pit mining // *AIP Conference Proceedings*. 2022, vol. 2486, p. 040003. doi.org/10.1063/5.0105989.
13. Рак М.В., Стефанович А.Е., Гучек Е.М. Внедрение электронных систем диагностики, контроля и управления в гидравлических системах карьерных самосвалов БЕЛАЗ // *Горная промышленность*. – 2019. – № 6(148). – С. 40-42.
14. Панасенков Д.А., Зайцев А.П., Пикалов Н.А., Карташов А.Б., Дубинкин Д.М. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2020. – № 6(142). – С. 98-108. – doi.org/10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
15. Патент № 2744653 РФ. Тормозная система транспортного средства / А.Б. Карташов, Н.А. Пикалов, А.П. Зайцев, А.С. Косолапов, Д.В. Мякотин, Р.Л. Газизуллин, Д.М. Дубинкин. – Заявка №2020130301 от 15.09.2020; опубл. 12.03.2021, Бюл. №8.
16. Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Пикалов Н.А. Разработка варианта гидравлической системы поворота автономного карьерного самосвала // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2021. – № 5(157). – С. 3-9. – doi.org/10.26730/1816-4528-2021-5-3-9.
17. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В., Исмаилова Ш.Я. Тенденции развития грузовых платформ карьерных самосвалов // *Горная промышленность*. – 2023. – № 3. – С. 72-76. – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.
18. Аксенов В.В., Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я., Ялышев А.В. Обзор конструкций породных платформ карьерных самосвалов // *Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19-20 октября 2021 года*. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 324-332.
19. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // *Уголь*. – 2023. – № 6(1168). – С. 72-79. – doi.org/10.18796/0041-5790-2023-6-72-79.
20. Дубинкин Д.М., Пашков Д.А. Импортонезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // *Уголь*. – 2023. – № 4(1166). – С. 42-48. – doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
21. 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.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
22. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2022. – № 2(160). – С. 39-50. – doi.org/10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.

23. Подболотов С.В., Кольга А.Д. Возможности увеличения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 6(67). – С. 92-97. doi.org/10.30987/article\_5ac49dc82bfc10.79665416.
24. Никитин О.Ф. Гидравлика и гидропневмопривод – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 432 с.
25. Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Корецкий В.Б., Чакветадзе Ф.А., Антонов Ю.А. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 408 с.

### References

1. Dubinkin D., Kulpin A., Stenin D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, p. 03015. doi.org/10.1051/e3sconf/202017403015.
2. Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Kolyako A.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Development of a program and methodology for preliminary tests of an autonomous mining dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2021, no. 6(158), pp. 59-65. doi.org/10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.
3. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A. Review of the structures of bearing systems (frames) of quarry dump trucks with a lifting capacity of up to 110 tons // Mining engineering and technology. 2022, no. 1(16), pp. 4-15. doi.org/10.26730/2618-7434-2022-1-4-15.
4. Dubinkin D.M., Maksimova O.S. The current state of digitalization and robotization in the development of mineral resources in an open way // Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2022: Collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 23-24, 2022. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2022. – P. 501.1-501.8.
5. Pashkov D.A., Tarasyuk I.A. Justification of the front suspension of an unmanned dump truck with a lifting capacity of 220 tons // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 17-1, pp. 170-178. doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-170-178.
6. Dubinkin D.M., Golofastova N.N. Engineering solutions in improving the environmental safety of the quarry // Ecology and industry of Russia. 2022, vol. 26, no. 11, pp. 8-12. doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
7. Dubinkin D.M., Turgenev I.A., Shakhmatov V.N. Features of creating a battery-powered dump truck with electric traction // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 17-1, pp. 159-169. doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-159-169.
8. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M., Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections // Mining industry. 2022, no. 5, pp. 92-98. doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
9. Khoreshok A.A., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Koshelev A.V., Fedotov A.A. Substantiation of parameters of dredging and loading equipment for advanced excavation of coal seams in sections // Ugol. 2022, no. S12(1162), pp. 82-87. doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.
10. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Efremenkov A.B. On the mutual influence of average speed, trip time and hauling distance of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings. 2022, vol. 2486, p. 040017. doi.org/10.1063/5.0106089.
11. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremenkov A.B., Tyulenev M.A. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks // AIP Conference Proceedings. 2022, vol. 2486, p. 040009. doi.org/10.1063/5.0106051.
12. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Markov S.O., Tyulenev M.A., Nozirezoda Sh.S. Some prerequisites for the use of autonomous heavy platforms in open-pit mining // AIP Conference Proceedings. 2022, vol. 2486, p. 040003. doi.org/10.1063/5.0105989.
13. Rak M.V., Stefanovich A.E., Guchek E.M. Introduction of electronic diagnostic, monitoring and control systems in hydraulic systems of BELAZ dump trucks // Mining industry. 2019, no. 6(148), pp. 40-42.
14. Panasenkov D.A., Zaitsev A.P., Pikalov N.A., Kartashov A.B., Dubinkin D.M. Development of criteria for ensuring hydraulic processes in narrow channels of the hydraulic system when creating new mining dump trucks // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2020, no. 6(142), pp. 98-108. doi.org/10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
15. Patent No. 2744653 RU. Vehicle braking system / A.B. Kartashov, N.A. Pikalov, A.P. Zaitsev, A.S. Kosolapov, D.V. Myakotin, R.L. Gazizullin, D.M. Dubinkin. – Appl. No. 2020130301 from 09.15.2020; publ. 12.03.2021, Bul. No. 8.
16. Ananyev K.A., Ermakov A.N., Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Pikalov N.A. Development of a variant of the hydraulic system for turning an autonomous mining dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2021, no. 5(157), pp. 3-9. doi.org/10.26730/1816-4528-2021-5-3-9.
17. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. Trends in the development of cargo platforms of quarry dump trucks // Mining industry. 2023, no. 3, pp. 72-76. doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.
18. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya., Yalyshev A.V. Review of the designs of rock platforms of quarry dump trucks // Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport: Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, October 19-20, 2021. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 324-332.



19. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Trends in the development of unmanned mining dump trucks // Coal. 2023, no. 6(1168), pp. 72-79. doi.org/10.18796/0041-5790-2023-6-72-79.
20. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import-independence of production of unmanned mining dump trucks // Coal. 2023, no. 4(1166), pp. 42-48. doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
21. Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 3(161), pp. 31-49. doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
22. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 2(160), pp. 39-50. doi.org/10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
23. Podbolotov S.V., Kolga A.D. The possibilities of increasing the productivity of excavator-automobile complexes in open-pit mining // Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2018, no. 6(67), pp. 92-97. doi.org/10.30987/article\_5ac49dc82bfc10.79665416.
24. Nikitin O.F. Hydraulics and hydraulic pneumatic drive – M.: Publ. house of Bauman Moscow State Technical University, 2012. – 432 p.
25. Kvaginidze V.S., Kozovoy G.I., Koretsky V.B., Chakvetadze F.A., Antonov Yu.A. Road transport in quarries. Constructions, operation, calculation. – M.: Publ. house "Mountain book", 2012. – 408 p.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Артунян Георгий Артурович</b> – кандидат технических наук, заместитель директора НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»	<b>Georgy Arturovich Harutyunyan</b> – candidate of technical sciences, deputy director of the REC "KAMAZ-BAUMAN"
<b>Карташов Александр Борисович</b> – кандидат технических наук, директор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»	<b>Kartashov Alexander Borisovich</b> – candidate of technical sciences, director of REC "KAMAZ-BAUMAN"
<b>Ялышев Алексей Витальевич</b> – аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии»	<b>Alexey Vitalievich Yalyshev</b> – postgraduate student, junior researcher associate of research centre of Digital technologies
<b>Косолапов Александр Сергеевич</b> – ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»	<b>Kosolapov Alexander Sergeevich</b> – leading designer of the REC "KAMAZ-BAUMAN"
<b>Мышьяков Валерий Сергеевич</b> – конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»	<b>Myshyakov Valery Sergeevich</b> – designer of the REC "KAMAZ-BAUMAN"
<b>Устинова Анна Михайловна</b> – конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»	<b>Ustinova Anna Mikhailovna</b> – designer of the REC "KAMAZ-BAUMAN"
<b>Исмаилова Шахназ Ямиловна</b> – аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии»	<b>Ismailova Shakhnaz Yamilovna</b> – postgraduate student, junior researcher associate of research centre of Digital technologies
georgy.arut@bmstu.ru, yalyshevav@kuzstu.ru	

Получена 09.10.2023