

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ БЕСПИЛОТНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 ТОНН

*Пашков Д.А., Тарасюк И.А.*

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово*

**Ключевые слова:** добыча полезных ископаемых, горные машины, карьерный самосвал, беспилотный карьерный самосвал, передняя подвеска, эксплуатация карьерных самосвалов.

**Аннотация.** В статье обосновывается передняя подвеска беспилотного карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн. Приведена актуальность создания отечественных беспилотных карьерных самосвалов (КС) грузоподъемностью 220 тонн. Проведен обзор конструкций передней подвески существующих КС грузоподъемностью от 160 до 240 тонн. Представлены достоинства и недостатки каждого типа передней подвески КС. Проведен анализ передних подвесок на соответствие эксплуатационным показателям с помощью метода многокритериального анализа – TOPSIS. В результате анализа установлено, что наиболее полно соответствует эксплуатационным показателям независимая однорычажная поперечная (Макферсон) передняя подвеска КС. Применение подвески типа Макферсон позволит обеспечить на беспилотном КС грузоподъемностью 220 тонн относительно высокие характеристики плавности хода, устойчивости и управляемости в совокупности с простотой конструкции.

## FRONT SUSPENSION JUSTIFICATION OF AN UNMANNED MINING DUMP TRUCK WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS

*Pashkov D.A., Tarasyuk I.A.*

*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo*

**Keywords:** mining, mining machines, quarry dump truck, unmanned quarry dump truck, front suspension, operation of quarry dump trucks.

**Abstract.** The article substantiates the front suspension of an unmanned mining dump truck with a load capacity of 220 tons. The relevance of the creation of domestic unmanned dump trucks (CS) with a lifting capacity of 220 tons is given. A review of the front suspension designs of existing CS with a load capacity from 160 to 240 tons is carried out. The advantages and disadvantages of each type of CS front suspension are presented. The analysis of the front suspensions for compliance with operational indicators was carried out using the method of multicriteria analysis – TOPSIS. As a result of the analysis, it was found that the independent single-lever transverse (MacPherson) front suspension of the CS most fully corresponds to the performance indicators. The use of a MacPherson-type suspension will allow for relatively high characteristics of smooth running, stability and controllability in combination with simplicity of design on an unmanned CS with a load capacity of 220 tons.

### Введение

С января по октябрь 2022 года в Кузбассе было добыто 162,5 млн. тонн угля [1], по сравнению с аналогичным периодом в 2021 году добыча уменьшалась на 10 %. Основными факторами, приведшими к уменьшению объемов добычи, послужили введенные против РФ санкции, ухудшение условий добычи, в частности углубление карьеров.

Запрет на ввоз импортного оборудования так же начинает сказываться на объемах добычи полезных ископаемых (ПИ) в России. Опустошение компонентов импортного оборудования на складах приводит к простоям техники, что в свою очередь создает предпосылки к импортозамещению оборудования, а также созданию новой техники исключительно на отечественных компонентах.

Наибольший объем добычи ПИ осуществляется открытым способом, на долю которого приходится до 70% [2-6]. При данном виде добычи ПИ наиболее трудозатратным и дорогостоящим является процесс транспортирования горной массы, будь это ПИ или вскрышная порода. Основным способом транспортирования на открытых горных работах является автомобильный. Автомобиль, осуществляемый перевозку горной массы на карьере,

называется карьерным самосвалом (КС). При добыче открытым способом наибольшую популярность получили КС грузоподъемностью 90, 130, 220 и 240 тонн [7-11].

В России КС представлены только импортными производителями. В связи с этим введенные санкции сказываются на процессе эксплуатации КС, отсутствие запасных частей приводит к простоям машин. И как следствие к уменьшению производительности всего карьера [12-17].

Таким образом, работы, направленные на создание отечественных КС на своих компонентах, являются актуальными.

В 2022 г. проект КузГТУ на тему «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» стал одним из победителей 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»), тем самым подтвердив актуальность создания новых карьерных самосвалов.

Эксплуатация КС сопровождается воздействием множества нагрузок на него и его системы. Одной из систем служащих для гашения этих нагрузок является подвеска. Подвеска смягчает удары при движении от неровностей дорожного полотна, при погрузке от ударов горной массы об кузов. Наибольшая ответственность приходится на переднюю подвеску, так как традиционно на КС передняя ось служит для маневрирования всего самосвала [18-21].

В настоящее время в серийно выпускаемых КС встречается 5 типов передней подвески: однорычажная поперечная (Макферсон), однорычажная шкворневая, шкворневая (раздвижная стойка), на продольных рычагах, на двойных продольных рычагах [18].

Таким образом, обоснование типа передней подвески беспилотного КС грузоподъемностью 220 тонн является актуальной.

### **Типы передних подвесок КС грузоподъемностью 160-240 т**

При реализации проекта для обзора конструкций уже существующих типов передней подвески КС рассматриваются машины грузоподъемностью от 160 до 240 тонн. В рассматриваемый диапазон входят: Komatsu HD 730E-8 и HD 830E AC, Hitachi EH 3500 и EH 4000, XCMG DE170 и DE240, SANY SET230, Bemt BH205E-AC, БелАЗ 7517, 7518, 7530 и 7531, Liebherr T252, T262 и T264, Caterpillar 789D, 789HD, 793D и 793F.

Передняя подвеска в моделях XCMG DE170, DE240, SANY SET230, выполнена независимой однорычажной поперечной (Макферсон).

В SANY SET230 передняя подвеска выполнена типа, с переменной жесткостью (азот/масло) с нижним рычажным соединением и другими конструктивными соединениями. Ступица 5 (рис. 1) и поворотный шкворень 4 закрепляется с помощью пневмогидроцилиндра 3, а также нижнего рычага 2 к раме 1 с помощью кронштейнов.

Особенностью передней подвески типа Макферсон является поворот амортизатора при повороте колеса, в связи с чем устанавливается подшипник. Конструкция данного типа простая, однако для поворота колеса необходимо прикладывать большие усилия [22].

Исполнение однорычажной продольной подвески применяется на самосвалах Hitachi EH3500 и EH4000 (рис. 2).

Передняя подвеска, разработанная компанией Hitachi, позволяет обеспечить КС высокую маневренность на высоких скоростях. Подвеску на продольных подвесках легче обслуживать. Повышаются эксплуатационные качества КС, в сравнении с другими типами передних подвесок. Осевое крепление продольных рычагов обеспечивает передачу только вертикальной нагрузки на пневмогидроцилиндр [23].

При передней однорычажной подвеске на продольных рычагах увеличена колея передней оси, тем самым уменьшая радиус поворота, улучшая устойчивость и плавность КС.

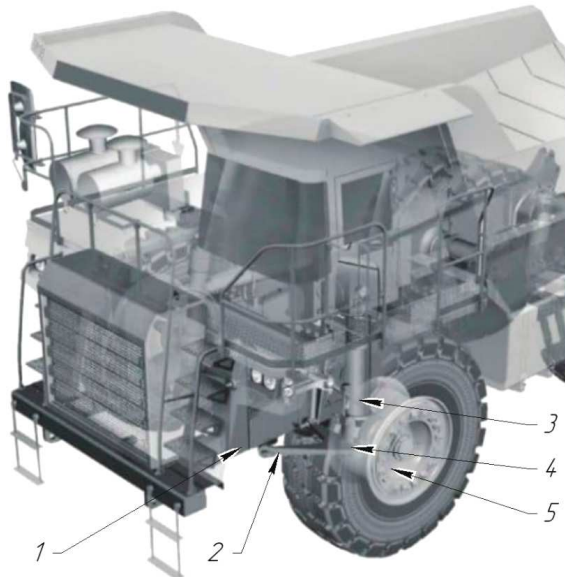


Рис. 1. Схема передней подвески SANY SET230:  
1 – рама; 2 – нижний рычаг; 3 – пневмогидроцилиндр;  
4 – поворотный шкворень; 5 – ступица



Рис. 2. Передняя подвеска Hitachi EH 4000

Передняя подвеска КС БелАЗ 7517, 7518, 7530 и 7531 однорычажная шкворневая.

Данный тип передней подвески состоит из двух пневмогидравлических цилиндров 1 (рис. 3), продольного рычага балки передней оси 3 с центральным шарниром и поперечной штанги 4. Балка передней оси 3 с продольным рычагом соединена с рамой 1 при помощи шарнира, поперечной штанги 4 и цилиндров подвески 2 [24, 25].

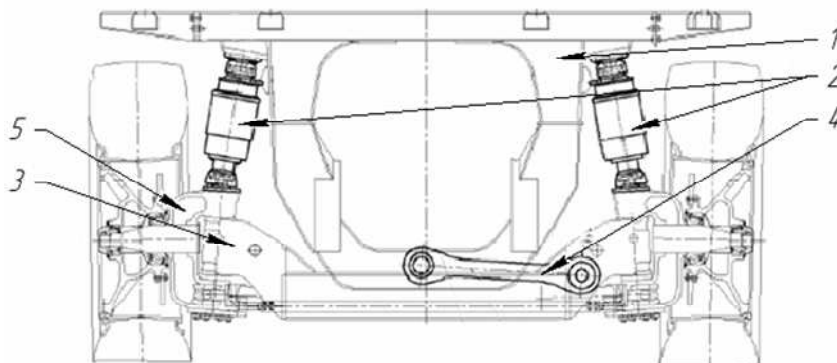


Рис. 3. Схема передней подвески БелАЗ 7518: 1 – рама; 2 – цилиндр передней подвески пневмогидравлический; 3 – балка передней оси; 4 – штанга передней подвески

В однорычажной шкворневой подвески цилиндр воспринимает только вертикальные нагрузки, штанга – поперечные.

Передняя подвеска КС Komatsu 730E-8 и 830E, Bemt BH205E-AC, а также Caterpillar серийных рядов 789 и 799, представлена независимой прямой шкворневой с объединенной системой рулевого управления.

Передние азотно-масляные цилиндры передней подвески 3 (рис. 4) установлены креплениями 2 на раме 1 и служат в качестве поворотных шкворней механизма рулевого управления 4 и ступицей 5, что позволяет достичь высокой маневренности машины и снижает потребность в техническом обслуживании. Схождение передних колес регулируемое.

Такая конструкция проста и надежна, обеспечивает отличную плавность хода и защиту несущих конструкций самосвала.

Независимая двухрычажная поперечная передняя подвески реализована на КС Liebherr T252, T262 и T264.

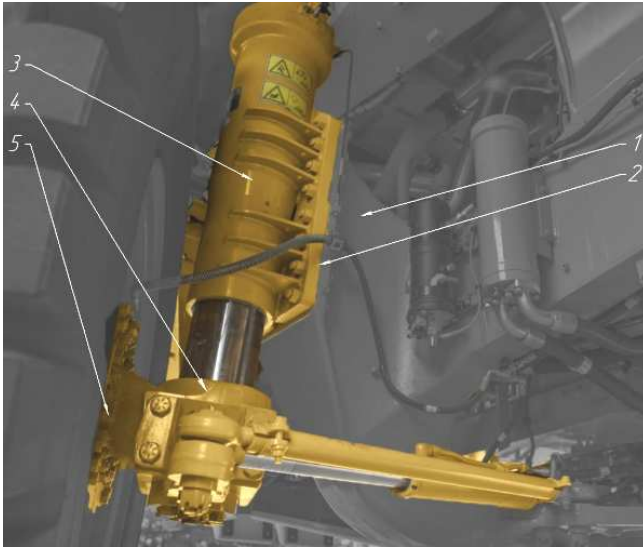


Рис. 4. Схема передней подвески Caterpillar 789:  
 1 – рама; 2 – узел крепления рамы и цилиндра;  
 3 – цилиндр подвески; 4 – поворотная шкворня;  
 5 – ступица



Рис. 5. Схема передней подвески Liebherr T262:  
 1 – цилиндр пневмогидравлический; 2 – верхний поперечный рычаг; 3 – рама; 4 – поворотная шкворень; 5 – нижний поперечный рычаг

На поперечный рычаг 2, упирается пневмогидравлический цилиндр 1. Рычаги 2 и 5 внешней частью соединены между собой поворотным шкворнем 4. Внутренняя часть рычагов 2 и 5 крепится к раме КС 3. Данная конструкция обеспечивает оптимальный развал колес при сжатии пневмогидроцилиндра 1.

К достоинствам данного типа передней подвески можно отнести возможность регулировки развала колес, а также высоту поперечного и продольного крена. Особенностью конструкции является возможность демонтажа цельного узла передней подвески правой либо левой стороны для замены и (или) ремонта.

В таблице 1 представлены основные модели КС грузоподъемностью от 180 до 240 тонн с указанием типа передней подвески.

По результатам исследований [26, 27] к основным эксплуатационным показателям передней подвески КС относятся:

- надежность узла;
- управляемость КС;
- устойчивость КС при движении;
- время замены (ремонта);
- стоимость элементов;
- ресурс элементов узла.

Важность данных показателей также подтвердили специалисты угольных предприятий Кузбасса, связанные с эксплуатацией КС.

При наличии нескольких типов передней подвески, а также наиболее важных предъявляемых к ним показателей необходимо определить наилучший тип подвески для беспилотного КС грузоподъемностью 220 т. Одним из способов выбора наилучшего варианта является применение методов многокритериального анализа принятия решения, в зарубежной литературе известных как MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis [28-30].

По алгоритму [28] подбора наиболее подходящего метода, предложенному Xiaoqian Sun, нами установлено, что наиболее подходящим методом анализа является TOPSIS.

Табл. 1. Типы передних подвесок, используемые на карьерных самосвалах от 180 до 240 тонн

| Производитель | Модель     | Грузоподъемность, т | Класс       | Тип подвески                        |
|---------------|------------|---------------------|-------------|-------------------------------------|
| Komatsu       | HD730E-8   | 181                 | Независимая | Прямая шкворневая                   |
|               | HD 830E-AC | 221                 | Независимая | Прямая шкворневая                   |
| Hitachi       | EH 3500    | 181                 | Независимая | Однорычажная продольная             |
|               | EH 4000    | 221                 | Независимая | Однорычажная продольная             |
| XCMG          | DE170      | 170                 | Независимая | Однорычажная поперечная (Макферсон) |
|               | DE240      | 240                 | Независимая | Однорычажная поперечная (Макферсон) |
| SANY          | SET230     | 230                 | Независимая | Однорычажная поперечная (Макферсон) |
| Beml          | BH205E-AC  | 186                 | Независимая | Прямая шкворневая                   |
| БелАЗ         | 7517       | 160                 | Зависимая   | Однорычажная шкворневая             |
|               | 7518       | 180                 | Зависимая   | Однорычажная шкворневая             |
|               | 7530       | 220                 | Зависимая   | Однорычажная шкворневая             |
|               | 7531       | 240                 | Зависимая   | Однорычажная шкворневая             |
| Liebherr      | T252       | 181                 | Независимая | Двухрычажная поперечная             |
|               | T262       | 218                 | Независимая | Двухрычажная поперечная             |
|               | T264       | 240                 | Независимая | Двухрычажная поперечная             |
| Caterpillar   | 789        | 181                 | Независимая | Прямая шкворневая                   |
|               | 799        | 218                 | Независимая | Прямая шкворневая                   |

#### Анализ типов передней подвески КС по их эксплуатационным показателям

Для выбора передней подвески беспилотного КС грузоподъемностью 220 тонн методом TOPSIS необходимо составить матрицу решений, представленная в таблице 2. В матрицу включают оценки альтернатив по критериям, и веса этих критериев. В нашем случае типы подвесок это альтернативы, а эксплуатационные показатели – критерии.

Оценки альтернатив по критериям и веса самих критериев были определены на совещаниях исполнителей по проекту «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» со специалистами угольных предприятий Кузбасса, связанных с эксплуатацией КС.

Для определения наилучшего варианта методом TOPSIS проводят пять шагов вычислений. На первом шаге обрабатывают эффективность альтернатив по различным критериям. Далее нормализуются эти характеристики. На третьем шаге нормализованные показатели сравниваются с наибольшим. Затем определяют приближенность показателей с наилучшим и наихудшим вариантом. На пятом шаге рассчитывают относительный коэффициент приближенности показателей.

По методу, описанной выше, были определены коэффициенты приближенности каждого варианта к идеальному, которые представлены на рисунке 6.

Табл. 2. Матрица решений

| Альтернативы                                     | Критерии оценки    |                  |                              |                        |                     |                       |
|--|--------------------|------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|  | Надежность узла    | Управляемость КС | Устойчивость КС при движении | Время замены (ремонта) | Стоимость элементов | Ресурс элементов узла |
|  | Вес критерия $w_i$ |                  |                              |                        |                     |                       |
|  | 1,0                | 0,8              | 0,8                          | 0,8                    | 0,7                 | 0,9                   |
| Независимая, однорычажная поперечная (Макферсон) | 7                  | 8                | 8                            | 8                      | 6                   | 8                     |
| Независимая, однорычажная продольная             | 6                  | 6                | 6                            | 6                      | 5                   | 8                     |
| Независимая, прямая шкворневая                   | 6                  | 8                | 6                            | 8                      | 6                   | 5                     |
| Зависимая, однорычажная шкворневая               | 8                  | 6                | 5                            | 6                      | 6                   | 8                     |
| Независимая, двухрычажная поперечная             | 6                  | 8                | 7                            | 4                      | 4                   | 6                     |

В результате анализа на соответствие типов передней подвески КС эксплуатационным показателям, наилучшим вариантом является независимая, однорычажная поперечная подвеска (типа Макферсон). Таким образом, наилучшим вариантом передней подвески для беспилотного КС грузоподъемностью 220 тонн.

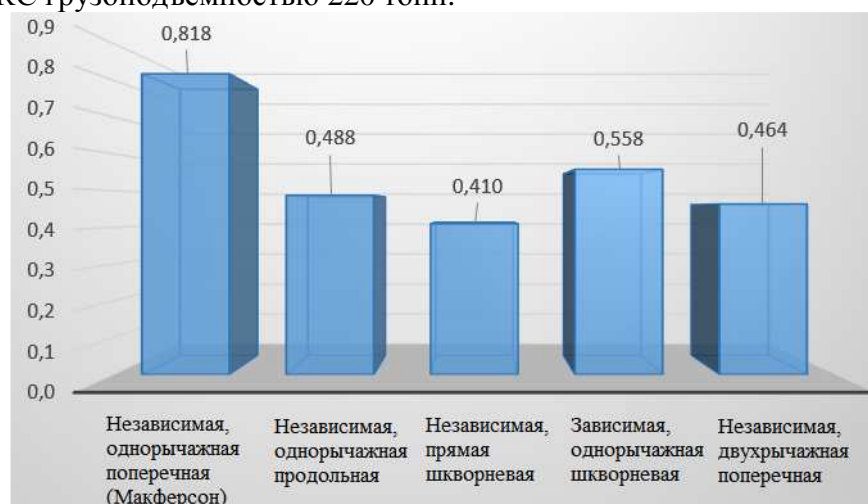


Рис. 6. Коэффициенты приближенности каждого варианта к идеальному

### Выводы

Выявлена зависимость горнодобывающей промышленности РФ от поставок импортных КС и запасных частей к ним. Отсутствие запасных частей приводит к простоям КС, тем самым подтверждая актуальность создания карьерных самосвалов отечественного производства.

В настоящее время в серийно выпускаемых КС встречается 5 типов передней подвески: однорычажная поперечная (Макферсон), однорычажная шкворневая, шкворневая (раздвижная стойка), на продольных рычагах, на двойных продольных рычагах.

В результате анализа передних подвесок в существующих КС эксплуатационным показателям установлено, что независимая, однорычажная поперечная (Макферсон) подвеска является предпочтительной при разработке новых конструктивных решений беспилотного карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн (рис. 6).

**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. Основные показатели угольной отрасли Кузбасса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli>.
2. Chicherin I.V., Fedosenkov B., Dubinkin D.M., Zhenbo W. The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, pp. 03022. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503022.
3. Панасенков Д.А., Зайцев А.П., Карташов А.Б., Пикалов Н.А., Дубинкин Д.М. Расчет гидромеханических потерь и моделирование кавитации в каналах гидравлического блока карьерного автосамосвала // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 3-11. – doi.org/10.26730/1816-4528-2021-3-3-11.
4. 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.
5. Buzunov N.V., Pirozhkov R.D., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Efremenko A.B. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020, vol. 939, pp. 012017. doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012017.
6. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 3(14). – С. 61-78. – doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
7. 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.
8. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Перспективы высокотехнологичного производства карьерных самосвалов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – №5. – С. 180-184.
9. 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.
10. Пашков Д.А., Козлов Р.Д., Моисеев М.В. Варианты тормозных систем карьерных самосвалов грузоподъемностью от 218 до 255 т // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2(17). – С. 37-52. – doi.org/10.26730/2618-7434-2022-2-37-52.
11. 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.
12. Muravyev A.S., Shishkina V.A., Buzunov N.V., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Nozirezoda S. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 2052, pp. 012028. doi.org/10.1088/1742-6596/2052/1/012028.
13. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – №6(148). – С. 85-93. – doi.org/10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
14. 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.org/10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
15. Dubinkin D., Kartashov A., Muraviev A., Buzunov N., Khlobystov I. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, p. 03021. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503021.
16. 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.
17. Дубинкин Д., Голофастова Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта // Экология и промышленность России. – 2022. – №26(11). – С. 8-12. – doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.

18. Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Ушаков А.Е. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – №5(157). – С. 10-18. – doi.org/10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.
19. Panasenkov D.A., Zaycev A.P., Kartashov A.B., Pikalov N.A., Dubinkin D.M., Efremkov A.B. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020, vol. 939, p. 012057. – doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012057.
20. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Dubinkin D.M., Zhenbo W. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, p. 03023. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503023.
21. Кузин Е.Г., Пудов Е.Ю., Дубинкин Д.М. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – №2(154). – С. 55-61. – doi.org/10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.
22. Карьерные самосвалы Volvo [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure\\_r100e\\_t2\\_ru\\_41\\_20055964\\_c.pdf?v=OYIAPw](https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure_r100e_t2_ru_41_20055964_c.pdf?v=OYIAPw)
23. Карьерный самосвал Hitachi EH 4000 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mining-portal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b2.pdf>.
24. Подвески самосвалов БелАЗ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.
25. Карьерные самосвалы серии 7518 [Электронный ресурс]. – URL: <https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hydrmechanical-transmission/dumpers-series-7518/>
26. Российский рынок карьерных самосвалов [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03\\_2013\\_samosvaly.pdf](https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_samosvaly.pdf)
27. Ушаков Ю.Ю. Обоснование параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов специальность: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – Екатеринбург, 2017. – 139 с.
28. Xiaojian Sun. Multiple Criteria Decision Analysis Techniques in Aircraft Design and Evaluation Processes – Vom Promotion sausschuss der Technischen Universitat Hamburg-Harburgzur Erlangung des akademischen Grades, 2012. – 199 p.
29. Hwang C.L., Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications. – Heidelberg, Berlin: Springer, 1981. – 280 p.
30. Ishizaka A., Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. – John Wiley & Sons, 2013. – 296 p.

### References

1. The main indicators of the Kuzbass coal industry [Electronic resource]. URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli>.
2. Chicherin I.V., Fedosenkov B., Dubinkin D.M., Zhenbo W. The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, pp. 03022. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503022.
3. Panasenkov D.A., Zaitsev A.P., Kartashov A.B., Pikalov N.A., Dubinkin D.M. Calculation of hydromechanical losses and modeling of cavitation in the channels of the hydraulic block of a dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2021, no. 3(155), pp. 3-11. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-3-11.
4. Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Kolyako A.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Development of the program and methodology of preliminary tests of an autonomous mining dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2021, no. 6(158), pp. 59-65. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.
5. Buzunov N.V., Pirozhkov R.D., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Efremkov A.B. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020, vol. 939, pp. 012017. doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012017.
6. 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, no. 3(14), pp. 61-78. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
7. Ananyev K.A., Ermakov A.N., Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Pikalov N.A. Development of a variant of the hydraulic rotation system of an autonomous dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2021, no.5(157), pp. 3-9. DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9.
8. Dubinkin D.M., Golofastova N.N. Prospects of high-tech production of quarry dump trucks // Competitiveness in the global world: economics, science, technology. 2022, no. 5, pp. 180-184.
9. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 2(160), pp. 39-50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
10. Pashkov D.A., Kozlov R.D., Moiseev M.V. Variants of brake systems of quarry dump trucks with a lifting capacity from 218 to 255 tons // Technique and technology of mining. 2022, no. 2(17), pp. 37-52. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-37-52.



11. Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 3(161), pp. 31-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
12. Muravyev A.S., Shishkina V.A., Buzunov N.V., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Nozirezoda S. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 2052, pp. 012028. doi.org/10.1088/1742-6596/2052/1/012028.
13. Horeshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. On the change in the effective productivity of excavators when using quarry dump trucks with different body capacity // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2021, no. 6(148), pp. 85-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
14. Dubinkin D.M., Chichekin I.V., Levenkov Ya.Yu., Harutyunyan G.A. Development of a simulation model of the dynamics of a quarry dump truck for determining the loads acting on the load-bearing system and cargo platform when loading and unloading dispersed cargo // Mining industry. 2021, no. 6, pp. 117-126. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-117-126.
15. Dubinkin D., Kartashov A., Muraviev A., Buzunov N., Khlobystov I. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, p. 03021. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503021.
16. 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 quarry dump trucks // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2020, no. 6(142), pp. 98-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
17. Dubinkin D., Golofastova N. Engineering solutions in improving the environmental safety of quarry transport // Ecology and industry of Russia. 2022, no. 26(11), pp. 8-12. doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
18. Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Ushakov A.E. Substantiation of the type of front suspension of an autonomous mining dump truck with a lifting capacity of up to 90 tons // Mining equipment and electromechanics. 2021, no. 5(157), pp. 10-18. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.
19. Panasenkov D.A., Zaycev A.P., Kartashov A.B., Pikalov N.A., Dubinkin D.M., Efremenkov A.B. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020, vol. 939, p. 012057. – doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012057.
20. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Dubinkin D.M., Zhenbo W. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, p. 03023. doi.org/10.1051/e3sconf/202131503023.
21. Kuzin E.G., E.Yu., Dubinkin D.M. Failure analysis of mining dump truck units under operating conditions // Mining equipment and Electromechanics. 2021, no. 2(154), pp. 55-61. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.
22. Volvo Dump Trucks [Electronic resource]. URL: [https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure\\_r100e\\_t2\\_ru\\_41\\_20055964\\_c.pdf?v=OYIAPw](https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochures/brochure_r100e_t2_ru_41_20055964_c.pdf?v=OYIAPw)
23. Hitachi Eh 4000 Mining Dump Truck [Electronic resource]. URL: <http://www.mining-portal.ru/uploads/catalog/92a983f72a3617b2.pdf>.
24. Belaz Dump Truck Suspensions [Electronic resource]. URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060115.htm>.
25. Quarry Dump Trucks Of The 7518 Series [Electronic resource]. URL: <https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hydronechanical-transmission/dumpers-series-7518/>
26. The Russian Market Of Quarry Dump Trucks [Electronic resource]. URL: [https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03\\_2013\\_samosvaly.pdf](https://www.zepelin.ru/upload/iblock/2b7/03_2013_samosvaly.pdf)
27. Ushakov Yu.Yu. Justification of the parameters of the system of maintenance and repair of dump trucks specialty: Diss. ... cand. of tech. sc.: 05.05.06. – Yekaterinburg, 2017. – 139 p.
28. Xiaoqian Sun. Multiple Criteria Decision Analysis Techniques in Aircraft Design and Evaluation Processes – Vom Promotion sausschuss der Technischen Universitat Hamburg-Harburgzur Erlangung des akademischen Grades, 2012. – 199 p.
29. Hwang C.L., Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications. – Heidelberg, Berlin: Springer, 1981. – 280 p.
30. Ishizaka A., Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. – John Wiley & Sons, 2013. – 296 p.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

|   |   |
|---|---|
| <b>Пашков Дмитрий Алексеевич</b> – кандидат технических наук, научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии» | <b>Pashkov Dmitry Alekseevich</b> – candidate of technical sciences, researcher at the Research Center «Digital Technologies» |
| <b>Тарасюк Ирина Андреевна</b> – инженер I категории научного центра «Цифровые технологии»<br>pashkovda@kuzstu.ru     | <b>Tarasjuk Irina Andreevna</b> – engineer of the Research center «Digital Technologies»                                      |

Получена 10.11.2022