

УДК 622 + 621.22-546

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9

Ананьев Кирилл Алексеевич^{1*}, канд. техн. наук, доцент, **Ермаков Александр Николаевич¹**, канд. техн. наук, доцент, **Дубинкин Дмитрий Михайлович¹**, канд. техн. наук, доцент, **Карташов Александр Борисович²**, канд. техн. наук., **Пикалов Никита Андреевич²**, аспирант

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, 105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 1

*E-mail: aka.kgmik@kuzstu.ru

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОВОРОТА АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА



Информация о статье

Поступила:

13 сентября 2021 г.

Рецензирование:

30 сентября 2021 г.

Принята к печати:

03 октября 2021 г.

Ключевые слова:

автономные карьерные самосвалы, роботизированные самосвалы, гидравлическая система, система рулевого управления

Аннотация.

В статье рассмотрен вопрос поворота беспилотного карьерного самосвала с возможностью ручного управления, разрабатываемого в рамках проекта по 218 постановлению. Определены пути проработки данного вопроса на этапе эскизного проекта, с последующим рассмотрением в техническом проекте и при разработке конструкторской документации. Предложена принципиальная гидросхема рулевого управления.

Для цитирования: 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: 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9

В условиях цифровой трансформации горных предприятий как Кузбасса, так и России в целом все большую потребность обретают интеллектуальные производственные системы, где человек минимально задействован в циклических операциях и зонах повышенного риска. В рамках интеллектуальной производственной системы угольных разрезов в качестве средств транспортировки угля и вскрышных пород может быть использован беспилотный транспорт [1-3], а именно карьерные самосвалы как самый распространенный вид транспорта на открытых горных работах [4-6]. Помимо этого возрастающие экологические требования к горному производ-

ству делают актуальной задачу разработки и создания электрических беспилотных карьерных самосвалов.

Данная задача подходит под государственную Программу «Цифровая экономика Российской Федерации», предусматривающую тесные взаимодействия государства, бизнеса и науки [7]. В настоящее время ведутся работы в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий» [8-12]. В России на открытых горных работах для транспортировки вскрыши и полезных ископаемых применяются карьерные самосвалы следующих фирм:

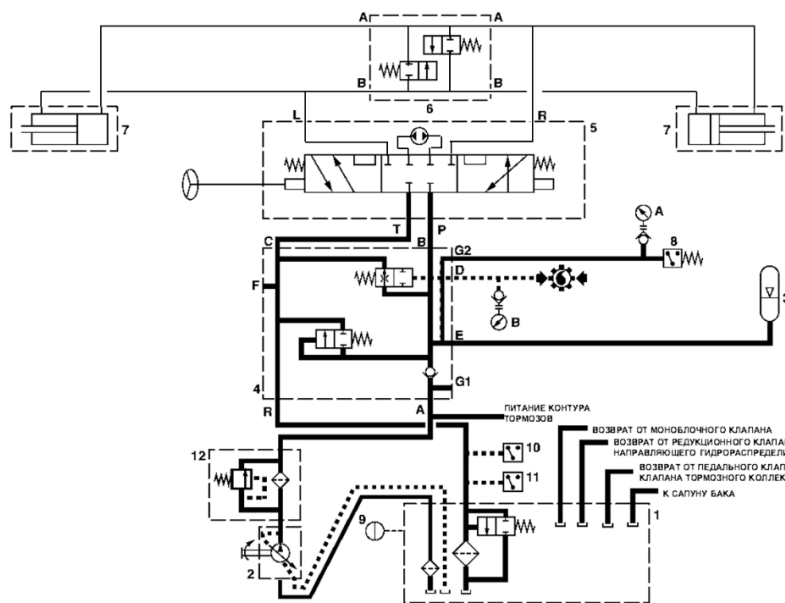


Рис. 1. Гидравлическая схема системы рулевого управления Terex TR 100: 1 – бак рабочей жидкости рулевого управления и тормозов, 2 – насос рулевого механизма; 3 – гидроаккумулятор; 4 – клапан гидроаккумулятора; 5 – клапан рулевого управления; 6 – разгрузочный клапан двустороннего действия; 7 – цилиндр рулевого механизма; 8 – реле давления масла; 9 – реле уровня масла; 10 – реле давления масла; 11 – реле температуры масла; 11 – фильтр рулевого управления

Fig. 1. Hydraulic diagram of the Terex TR 100 steering system: 1 – steering and brake working fluid tank, 2 – steering gear pump; 3 – hydraulic accumulator; 4 – hydraulic accumulator valve; 5 – steering valve; 6 – double-acting unloading valve; 7 – steering cylinder; 8 – oil pressure switch; 9 – oil level switch; 10 – oil pressure switch; 11 – oil temperature switch; 11 – steering filter

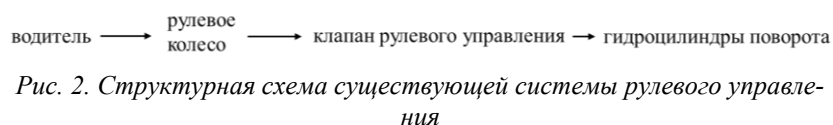


Рис. 2. Структурная схема существующей системы рулевого управления

Fig. 2. Block diagram of the existing steering system

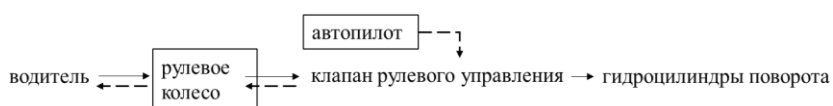


Рис. 3. Модернизированная структурная схема рулевого управления

Fig. 3. Upgraded steering block diagram

Komatsu (Япония); Hitachi (Япония); XCMG (КНР); SANY (КНР); BcmI (Индия); БелАЗ (Беларусь); Terex (UK); Liebherr (Германия); VOLVO (Швеция); Perlini (Италия); Caterpillar (США) и др. [5]. Данные карьерные самосвалы рассмотрены и проанализированы на предмет устройства и работы системы рулевого управления в рамках эскизного проекта.

Особенностью роботизированных самосвалов является возможность их управления как в ручном, так и в беспилотном режимах [13]. При этом необходимо синхронизировать управляющие воздействия водителя и автопилота, особенно при смене режима управления. Особое значение необходимо уделить системе рулевого управления.

Системы рулевого управления у эксплуатирующихся карьерных самосвалов аналогичной грузоподъемностью (80-110 т) гидравлические, имеющие для поворота колес два гидроцилиндра двустороннего действия однократной раздвижности [14-16]. В качестве примера на рис. 1 приведена гидравлическая схема системы рулевого управления Terex TR 100 [14]. Движение гидроцилиндров 7 осуществляется посредством перемещения золотника клапана рулевого управления 5, которое инициируется поворотом рулевого колеса, т.е. механически.

Существующая система рулевого управления имеет структурную схему, показанную на рисунке 2.

При этом клапан рулевого управления открывается настолько, насколько поворачивается рулевое колесо и гидроцилиндры поворота отклоняются пропорционально его повороту.

При беспилотном регулировании звенья «водитель» и «рулевое колесо» не нужны. Однако в любой момент водитель должен иметь возможность взять управление на себя. Поэтому при воздействии автопилота на клапан рулевого управления должен выдвигаться не только цилиндр, но и повернуться рулевое колесо пропорционально воздействующему сигналу от автопилота на клапан (под автопилотом понимается некий алгоритм поворота, в т.ч. задающие воздействия на гидросистему поворота). Значит, необходима обратная связь от клапана рулевого управления к рулевому колесу и водителю, и тогда структурная схема примет вид, как показано на

рис. 3.

Появившаяся обратная связь показана пунктиром.

Имеющиеся клапаны рулевого управления не могут обеспечить эту обратную связь. Наиболее наглядно работу существующей системы отражает схема на рис. 1. Поворот рулевого колеса механически смещает золотник клапана рулевого управления относительно центра. Встает задача механического поворота руля при действии автопилота. При этом еще должно обеспечиваться повышение усилия поворота руля при возрастании скорости.

На рис. 4 предложено несколько возможных схем.

На схеме а) рисунка 4 автопилот работает через гидромотор Гм, который своим валом механически

усилия поворота руля при возрастании скорости может обеспечиваться гидромотором или электромотором созданием противонагрузки, это регулируется контроллером (автопилотом).

На схеме в) непосредственной механической связи между рулевым колесом и клапаном управления нет. Рулевое колесо воздействует на клапан через преобразованный от механического вращения электрический сигнал.

Последний вариант наиболее гибок в плане настроек. При этом это самый экономичный вариант, поскольку в вариантах а) и б) на рис. 4 присутствуют дополнительные энергопотребляющие двигатели.

Важным условием безопасной эксплуатации самосвала является наличие аварийной системы питания гидросистемы поворота при отключении основной. При отключении основной системы у Terex TR 100 (см. рис. 1) работоспособность временно будет поддерживаться гидроаккумулятором 3. Такой же принцип и у БелАЗ 75131 [16].

На карьерном самосвале Komatsu HD785 (грузоподъемность 91 т) для этого используется насос аварийной системы рулевого управления, имеющий электрический привод [15].

При работе самосвала с электрической энергосилой установкой причиной отключения основной системы, питающей жидкостью цилиндры поворота, может быть отсутствие электричества (например, разряд батарей аккумулятора), поэтому для сохранения управляемости самосвала целесообразнее использовать гидроаккумуляторы.

На основании вышесказанного на рис. 5 предложена гидросхема рулевого управления роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией.

В системах рулевого управления существующих карьерных самосвалов используется регулируемый насос. В предложенной схеме (рис. 5) предлагается применять гидронасос постоянной производительности, что позволит значительно упростить гидросхему. При необходимости можно использовать регулируемый по частоте приводной электродвигатель. В контуре за обратным клапаном КО гидроаккумуляторами АК должно поддерживаться постоянное давление в определенном диапазоне от $p_{\max}$ до $p_{\min}$. Насос при этом не работает. Он включается, когда давление упадет ниже $p_{\min}$, о чем сигнализирует датчик давления через электронную систему управления. Аккумуляторы начнут заряжаться до давления

в контуре $p_{\max}$. После чего насос снова отключится. Такой режим позволит рационально использовать энергию, не теряя быстродействия системы рулевого управления за счет гидроаккумуляторов.

Клапан рулевого управления КРУ показан таким блоком условно. Возможно, внутри него требуются дополнительные элементы управления. Однако логика работы вытекает из данного обозначения.

Для последующей проработки схемы и определения типоразмеров гидравлических элементов требуется определить расход жидкости в гидросистеме рулевого управления. Расход жидкости главным образом зависит от необходимого времени поворота колес (скорости поворота) и связан с геометрическими параметрами гидроцилиндров поворота.

Для оценки времени приведена расчетная схема на рис. 6.

Из рисунка видно следующее:

Поршневая полость одного цилиндра подключена к штоковой полости другого, следовательно, рабочая площадь S_p является суммой площадей всего поршня (со стороны поршневой полости) S_n и кольца вокруг штока $S_{п.ш}$

$$S_p = S_n + S_{п.ш};$$

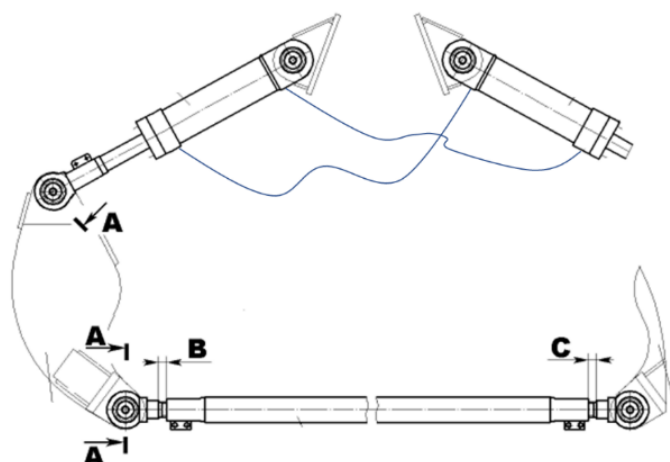


Рис. 6. Расположение и подключение гидроцилиндров поворота
Fig. 6. Arrangement and connection of swing cylinders

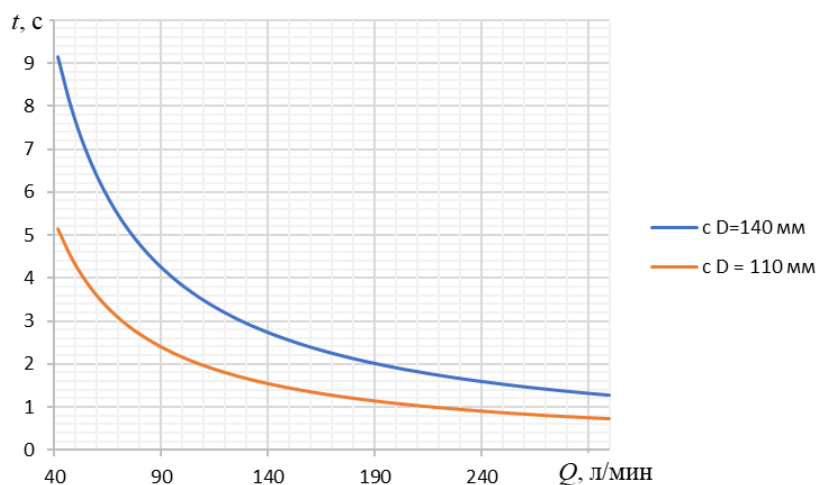


Рис. 7. График зависимости $t = f(Q)$
Fig. 7. Graph of dependence $t = f(Q)$

При отсутствии поворота колес цилиндры наполовину выдвинуты и их выдвижение L до полного поворота колес составляет половину длины хода L_x , т.е. $L = 0,5 L_x$.

Время поворота колес определяется в зависимости от расхода жидкости

$$t = \frac{\pi L(2D^2 + d^2)}{4Q}.$$

У схожих по грузоподъемности самосвалов Komatsu HD785-7 применяются гидроцилиндры поворота двустороннего действия с диаметром поршня $D = 110$ мм и ходом $L_x = 475$ мм. Приняв диаметр штока $d = 70$ мм, получаем

$$t = 0,002825/Q.$$

Для сравнения в расчет взят еще один вариант с $D = 140$ мм, $d = 70$ мм, $L_x = 475$ мм. Тогда

$$t = 0,00502/Q.$$

График зависимости $t = f(Q)$ приведен на рис. 7.

Если принять время поворота одну секунду, то для гидроцилиндра с диаметром $D = 110$ мм требуемый расход будет составлять 210-220 л/мин, а для $D = 140$ мм – более 300 л/мин, т.е. расход увеличится более, чем на 30%. При расходе 210-220 л/мин время поворота с поршнем гидроцилиндра $D = 140$ мм составит 1,8 с. Дальнейшее увеличение рабочей площади позволит либо снизить давление в системе, либо увеличить максимальное преодолеваемое усилие поворота колеса, а требуемый расход будет расти. Необходимость в этом не выявлена. Тем самым, рациональным вариантом является применение гидроцилиндров с диаметром поршня 110 мм с требуемым расходом 210-220 л/мин.

Выводы

1. Предложенная принципиальная гидросхема рулевого управления автономных карьерных самосвалов позволит совместить возможность управления поворотом как водителем, так и автопилотом. Резервное питание обеспечивается гидроаккумуляторами, а регулирование подачи – изменением частоты вращения.

2. Рациональным диаметром поршней гидроцилиндров поворота является $D = 110$ мм, при этом, обеспечивая расход 210-220 л/мин, время поворота составит 1 с.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плакиткин, Ю.А. Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «Индустрии-4.0» до «Общества 5.0» / Ю.А. Плакиткин, Л.С. Плакиткина // Горная Промышленность. – 2018. – №4 (140). – 2018. – С. 22. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-4-140-22-30>.
2. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Тюленев М.А., Марков С.О. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных самосвалов // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С. 42-69. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69
3. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов // Вестник КузГТУ. – 2021. – №1. – С. 97-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108
4. Хазин, М.Л. Роботизированные карьерные самосвалы // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – № 3 (59). – С. 123-130. DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-123-130
5. Дубинкин Д.М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 59-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64
6. Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Бузунов Н.В., Сорокин К.П., Ялышев А.В. Современное состояние техники и технологий в области карьерных самосвалов с накопителями энергии // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6 (152). – С. 31-42. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-31-42
7. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. No 1632-р [Текст]: [утв. расп. Правительства РФ от 28 июля 2017 г. No 1632-р]. – Интернет портал [http:// government.ru/](http://government.ru/) – режим доступа: <http://government.ru/govworks/614/events/>. Источники: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13932-tsifrovizatsiya-ekonomiki-ugolnoj-promyshlennosti-rossii-ot-industrii94-0-do-obshchestva-5-0>
8. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов / Д.А. Панасенков, А.П. Зайцев, Н.А. Пикалов, А.Б. Карташов, Д.М. Дубинкин // Вестник КузГТУ. – 2020. – №6. – С. 98-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108
9. D.A. Panasenkov, A.P. Zaycev, A.B. Kartashov, N.A. Pikalov, D.M. Dubinkin and A.B. Efremkov. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system // III International Scientific and Practical Conference on Innovations in Engineering and Technology 25-26 June 2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **939** (2020) 012057. doi:10.1088/1757-899X/939/1/012057

10. Костюк С.Г., Федосенков Б.А., Чичерин И.В., Дубинкин Д.М. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий // Устойчивое развитие горных территорий. Т.12. №4(46), 2020 г. С. 600-608. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608

11. Dmitry Dubinkin, Alexander Kulpin, and Dmitry Stenin. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. **174**, 03015 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017403015>

12. Патент № 2744653 Российская Федерация, СПК В60Т 7/16 (2020.08); В60Т 13/74 (2020.08). Тормозная система транспортного средства: № 2020130301 : заявлено 15.09.2020 : опубликовано 12.03.2021 / Карташов А.Б., Пикалов Н.А., Зайцев А.П., Косолапов А.С., Мякотин Д.В., Газизуллин Р.Л., Дубинкин Д.М. : заявитель Федеральное

Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования "Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)". – 11 с. – Текст : непосредственный.

13. Чичерин И.В., Федосенков Б.А., Сыркин И.С., Садовец В.Ю., Дубинкин Д.М. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 8. С. 109-120. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-109-120

14. Самосвал Terex TR 100. Руководство по эксплуатации SM 1618. Ред. 3 07–11.

15. Самосвал Komatsu HD785-7. Серийные номера 8393 и выше. Заводская инструкция SRN05476-00.

16. Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75131 и его модификации. Руководство по ремонту 7513-3902080 РС.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9

Kirill A. Ananyev^{1*}, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Aleksander N. Ermakov**¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Dmitry M. Dubinkin**¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Aleksander B. Kartashov**², C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Nikita A. Pikalov**², graduate student

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennaya street, 28

² Bauman Moscow State Technical University, 105005, Russian Federation, Moscow, 2nd Baumanskaya street, 5

e-mail: aka.kgmik@kuzstu.ru

DEVELOPMENT OF A HYDRAULIC STEERING SYSTEM OPTION AUTONOMOUS MINING DUMP TRUCK



Article info

Received:

13 September 2021

Revised:

30 September 2021

Accepted:

03 October 2021

Keywords: autonomous dump trucks, robotic dump trucks, hydraulic system, steering system

Abstract.

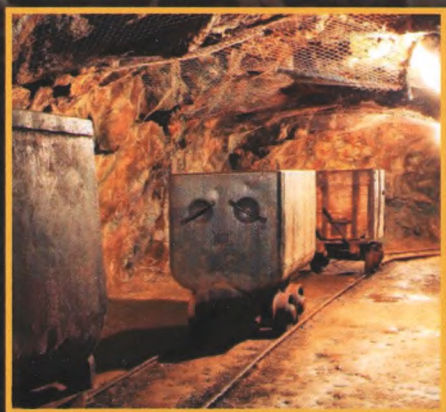
The article discusses the issue of turning an unmanned dump truck with the possibility of manual control, which is being developed within the framework of the project under Resolution 218. The ways of working out this issue at the stage of the draft design, with subsequent consideration in the technical project and in the development of design documentation, have been determined. The basic hydraulic circuit of the steering is proposed

For citation Ananyev K.A., Ermakov A.N., Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Pikalov N.A., Development of a hydraulic steering system option autonomous mining dump truck. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.5 (157), pp. 3-9. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-3-9

REFERENCES

1. Plakitkin, Yu.A. Digitization of the Russian coal sector economy – from Industry 4.0 to Society 5.0 / Yu.A. Plakitkin, L.S. Plakitkina // Mining Industry Journal, 2018, №4 (140), p. 22. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-4-140-22-30>.
2. Dubinkin D., Aksenov V., Tyulenev M., Markov S. The influence of geotechnical factors on the output of quarry autonomous haul trucks, Journal of mining and geotechnical engineering, 4(11):42. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69
3. M.A. Tyulenev, S.O. Markov, D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov. On the intensity of changing the performance of the autonomous heavy platform // Herald KuzSTU. №1(143), 2021. 97-108 (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108
4. Khazin, M.L. Autonomous mining dump trucks // News of the Ural State Mining University. 2020. Issue 3(59), pp. 123-130. DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-123-130
5. Dubinkin D.M. Justification of the need to create heavy platforms for open-pit mining. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.4 (150), pp. 59-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-59-64
6. Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Buzunov N.V., Sorokin K.P., Yalyshev A.V. Current state of the art and technologies in the field of quarry dump trucks with energy storage devices. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.6 (152), pp. 31-42. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-31-42
7. Programma «Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii», utverzhdannaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 iyulya 2017 g. No 1632-r [Tekst]: [utv. rasp. Pravitel'stva RF ot 28 iyulya 2017 g. No 1632-r]. – Internet portal <http://government.ru/> – rezhim dostupa: <http://government.ru/govworks/614/events/Istochnik:https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13932-tsifrovizatsiya-ekonomiki-ugolnoj-promyshlennosti-rossii-ot-industrii94-0-do-obshchestva-5-0>
8. 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 // Herald KuzSTU. - №6(142), 2020. 98-108 (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108
9. D.A. Panasenkov, A.P. Zaycev, A.B. Kartashov, N.A. Pikalov, D.M. Dubinkin and A.B. Efremenko. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system // III International Scientific and Practical Conference on Innovations in Engineering and Technology 25-26 June 2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **939** (2020) 012057. doi:10.1088/1757-899X/939/1/012057
10. S.G. Kostyuk, B.A. Fedosenkov, I.V. Chicherin, D.M. Dubinkin. Monitoring of the dynamic state of autonomous heavy platforms on the quarry routes of mining enterprises // Sustainable development of mountain territories. T.12. №4(46), 2020. 600-608 (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608
11. Dmitry Dubinkin, Alexander Kulpin, and Dmitry Stenin. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. **174**, 03015 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017403015>
12. Patent No. 2744653 Russian Federation, SEC B60T 7/16 (2020.08); B60T 13/74 (2020.08). Vehicle braking system : No. 2020130301 : announced 09/15/2020 : published 03/12/2021 / Kartashov A.B., Pikalov N.A., Zaitsev A.P., Kosolapov A.S., Myakotin D.V., Gazizullin R.L., Dubinkin D.M. : applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bauman Moscow State Technical University (National Research University)". - 11 p. - Text : direct.
13. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Syrkin I.S., Sadovets V.Iu., Dubinkin D.M. The concept of controlling the unmanned vehicles in open pit mining // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2020; 8: 109-120 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-109-120
14. Dump truck Terex TR 100. Operating manual SM 1618. Rev. 3 07-11.
15. Dump truck Komatsu HD785-7. Serial numbers are 8393 and higher. Factory instruction SRN05476-00.
16. Mining dump truck BELAZ-75131 and its modifications. MR 7513-3902080 RS.

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



5 ₍₁₅₇₎ ♦ **2021**

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

5(157)
2021

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

Главный редактор:

Хорешок А.А., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:

Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.

Кантович Л.И., д.т.н., проф.

Редакционный совет:

Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.

Галкин В.А., д.т.н.

Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.

Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

Редакционная коллегия:

Андреева Л.И., д.т.н.

Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.

Галкин В.И., д.т.н., проф.

Глебов А.В., к.т.н.

Егоров А.Н. (Белоруссия)

Жабин А.Б., д.т.н., проф.

Зырянов И.В., д.т.н.

Ляхомский А.В., д.т.н., проф.

Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.

Петров В.Л., д.т.н., проф.

Семькина И.Ю., д.т.н., доц.

Трифанов Г.Д., д.т.н., доц.

Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.

Юнгмейстер Д.А., д.т.н., проф.

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Кузбасский

государственный технический

университет имени Т.Ф. Горбачева»

Адрес учредителя, издателя и

редакции:

650000, Россия, Кемеровская область,

г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Технический редактор:

Останин О.А.

Дизайн обложки, компьютерная

верстка: Бородин Д.А.

Телефон редакции:

+7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Сайт: http://gormash.kuzstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Пикалов Н.А. Разработка варианта гидравлической системы поворота автономного карьерного самосвала.....	3
Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Ушаков А.Е. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн.....	10
Дубов Г.М., Трухманов Д.С., Чегошев А.А., Нохрин С.А., Ельцов И.Е. Снижение техногенного воздействия на окружающую среду посредством использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов	19
Бурый Г.Г. Исследование процесса внедрения в грунт рабочего органа горной машины.....	29
Суслев Н.М., Суслев Д.Н., Чернухин С.А., Иванов И.Ю. Математическое моделирование механизма хода экскаватора-драглайна со скользящими опорами..	35

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Захарова А.Г., Григорьев А.В., Лобур И.А., Шаулева Н.М., Магницкий Д.К., Лебедев Г.М. Автоматизация операций поверки и калибровки электроизмерительных приборов	41
Тараненко М.Е., Казанцев А.А. Разработка адаптивной системы управления сушильного барабана обогащательной фабрики АО «Лебединский ГОК»	51
Ещин Е.К. Формирование тахограммы подъемной машины средствами асинхронного электропривода.....	57
Манусов В.З., Антоненков Д.В., Орлов Д.В., Пудов Е.Ю., Кузин Е.Г. Прогнозное управление электропотреблением горного предприятия на основе векторного прогнозирования методом анализа сингулярного спектра.....	63

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте www.elibrary.ru

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям (технические науки):

- 05.02.00 - машиностроение и машиноведение (05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин, 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки)
- 05.05.00 – транспортное, горное и строительное машиностроение (05.05.06 – горные машины)
- 05.09.00 – электротехника (05.09.01 – электромеханика и электрические аппараты, 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы)

Дата подписи в печать: 19.11.2021. Дата выхода в свет: 19.11.2021. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ. Уч.-изд. л. 8,75. Тираж 70 экз. Заказ 388. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

MINING EQUIPMENT AND ELECTROMECHANICS

GORNOE OBOUROVANIYE I ELEKTROMEKHANIKA

12+

5(157)

2021

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

Editor-in-chief:

Khoreshok A. A., Dr. Sc., prof.

Deputy editor-in-chief:

Lagunova, Yu. a., prof.

Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

Editorial board:

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.

Galkin V. A., Dr. Sc.

Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.

Blumenstein V. Yu., Dr. Sc., prof.

Aksenov V. V., Akad. AMS., Dr. Sc.

Editorial Team:

Andreeva L. I., Dr. Sc.

Voronova E. Yu., Dr. Sc., prof.

Galkin V. I., Dr. Sc., prof.

Glebov A. V., Ph. D.

Egorov A. N. (Belarus)

Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.

Zyryanov I. V., Dr. Sc.

Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.

Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.

Petrov V. L., Dr. Sc., prof.

Semykina I. Yu., Ph. D.

Trifanov G. D., Dr. Sc., Assoc.

Khazanovich G. Dr. Sc., prof.

Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

Founder and publisher:

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university

Address of the founder, the publisher and the Editorial office:

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 28 Vesennaya str.

Technical editor:

Ostanin O. A.

Cover design,

computer layout: Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: http://gormash.kuzstu.ru

CONTENTS

MINING MACHINES

Ananyev K.A., Ermakov A.N., Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Pikalov N.A.,	
Development of a hydraulic steering system option autonomous mining dump truck	3
Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Ushakov A.E. Type of front suspension justification of	
an autonomous mining dump truck with a load capacity of up to 90 tons	10
Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshev A.A., Nokhrin S.A., Eltsov I.E. Reducing	
the anthropogenic impact on the environment by using alternative energy carriers when	
operating heavy dump trucks	19
Buriy G.G. Investigation of the process of penetration into the soil of the working body	
of a mining machine	29
Suslov N.M., Suslov D.N., Chernukhin S.A., Ivanov I.Yu. Mathematical modeling of	
the dragline travel mechanism with sliding supports	35

ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Zaharova A.G., Grigoriev A.V., Lobur I.A., Shauleva N.M., Magnitsky D.K.,	
Lebedev G.G. Automation of verification and calibration of electrical measuring	
instruments	41
Taranenko M.E., Kazantsev A.A. Development of adaptive control system for drying	
drum in ore-processing plant JSC «Lebedinsky GOK»	51
Eshchin E.K. Forming the tachogram of the winder by means of asynchronous electric	
drive	57
Manusov V.Z., Antonenkov D.V., Pudov E.Yu., Kuzin E.G. Preventive management	
of electric consumption of a mining enterprise based on vector forecasting by the method	
of singular spectrum analysis	63

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website www.elibrary.ru

Tax relief - All-Russian product classifier

The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - Certificate PI No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 05.02.00 - mechanical engineering and engineering science (05.02.02 - mechanical engineering, drive systems and machine parts, 05.02.07 - technology and equipment for mechanical and physical-technical processing)
- 05.05.00 - transport, mining and construction engineering (05.05.06 - mining machines)
- 09.05.00 - electrical engineering (09.05.01 - electromechanics and electrical apparatus, 09.05.03 - electrotechnical complexes and systems)

Signed for publication on 19 November 2021. Date of publication: 19 November 2021. Format 60x84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs. Published sheets 8,75. Edition 70 copies. Order 388 Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bednogo str