

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-3-8

Дадонов Михаил Васильевич, кандидат техн. наук, доцент, Кульпин Александр Геннадьевич*, старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*E-mail: dadonovmv@kuzstu.ru

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА КОЛЕСА КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК



Информация о статье

Поступила:

11 июля 2021 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 октября 2021 г.

Принята к печати:

15 января 2022 г.

Ключевые слова:

Карьерный самосвал, крупногабаритные шины, профиль дороги, нормальные реакции, ресурс шин, распределение масс

Аннотация.

Крупногабаритные и сверхкрупногабаритные шины карьерных самосвалов эксплуатируются в очень тяжелых горнотехнических и природно-климатических условиях. Около 50% эксплуатируемых шин не эксплуатируются в пределах положенного им срока ходимости. Более ранние наши работы были выполнены в виде анализа моментов, влияющих на температурные и нагрузочные режимы работы шин карьерных автосамосвалов, а также по определению степени их воздействия. Данная статья посвящена исследованию влияния на самосвалы аэродинамических сил как главного из моментов, влияющих на динамическое перераспределение обычных нагрузок на шины, а значит, и на их температурные режимы.

Для цитирования: Дадонов М.В., Кульпин А.Г. Перераспределение нагрузок на колеса карьерных самосвалов за счет воздействия аэродинамических нагрузок // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 1 (159). С. 3-8. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-3-8

Силы и моменты аэродинамического сопротивления возникают в результате натекания на карьерный автосамосвал воздушного потока при движении. Их величина пропорциональна квадрату скорости натекающего воздушного потока, а также зависит от формы и габаритных размеров обтекаемого тела. Натекающий на автосамосвал воздушный поток является векторной суммой воздушных потоков, возникших от собственной скорости движения карьерного автосамосвала и от скорости ветра [1-5]. Собственная скорость автосамосвала довольно невысока – не более 10-12 м/с, однако скорость ветра при этом может достигать 15-20 м/с. При встречном ветре скорости карьерного автосамосвала и ветра

суммируются, однако, как правило, наблюдается косметрическое натекание воздушного потока под определенным углом. Этот угол считается положительным при натекании воздушного потока на автосамосвал справа. Кроме того, карьерные автосамосвалы относятся к числу плохообтекаемых автотранспортных средств и обладают большими значениями миделевых сечений.

На рисунке 1 изображены аэродинамические силы и моменты, действующие на карьерный автосамосвал, где C_T – центр тяжести автосамосвала; C_M – метacentр приложения полной аэродинамической силы; V_A – вектор скорости движения автосамосвала;

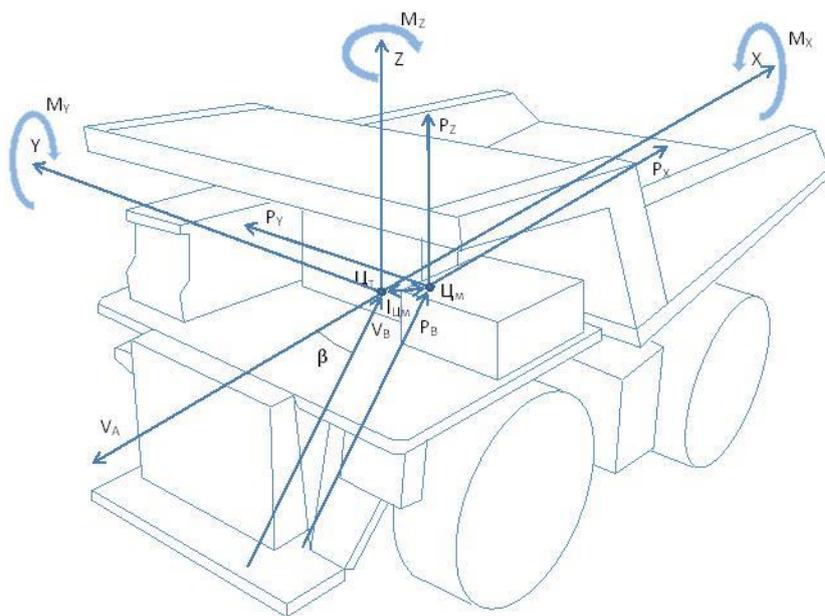


Рис. 1. Силы и моменты аэродинамического сопротивления, возникающие при натекании на карьерный автосамосвал воздушного потока
 Fig. 1. Forces and moments of aerodynamic resistance arising when air flows onto a dump truck

V_B – вектор скорости ветра; β – угол между направлениями движения автомобиля и ветра; P_B – полная аэродинамическая сила; $l_{Ц_м}$ – плечо аэродинамического момента; $M_B = P_B * l_{Ц_м}$ – полный аэродинамический момент; P_X – сила лобового аэродинамического сопротивления; P_Y – боковая аэродинамическая сила; P_Z – подъемная аэродинамическая сила; M_X – момент крена; M_Y – момент тангажа; M_Z – момент рыскания.

Воздушный поток обтекает автосамосвал, взаимодействует с ним, создавая зоны повышенного и пониженного давления. Это приводит к возникновению множества элементарных аэродинамических сил, действующих на поверхность автосамосвала. [6-10] Равнодействующая всех этих элементарных сил, полная аэродинамическая сила P_B приложена к определенной точке $Ц_м$ – метacentру приложения полной аэродинамической силы.

$$P_B = 0,5C_B F \rho V_{AB}^2, \quad (1)$$

где C_B – коэффициент полной аэродинамической силы;

F – площадь миделевого сечения;

ρ – плотность воздуха;

V_{AB} – векторная сумма скоростей автосамосвала и ветра.

Координаты расположения метacentра зависят от формы автосамосвала, величины продольного и поперечного миделевых сечений, наличия или отсутствия груза в кузове, угла натекания воздушного потока.

В случае, когда координаты метacentра не совпадают с координатами центра тяжести автосамосвала, образуется плечо, равное расстоянию между центром тяжести и метacentром. Следовательно,

полная аэродинамическая сила, приложенная к метacentру, создает полный аэродинамический момент M_B .

$$M_B = 0,5m_B F \rho V_{AB}^2 B \quad (2)$$

где m_B – коэффициент полного аэродинамического момента;

B – характерный размер, которым в нашем случае в зависимости от направления натекания воздушного потока может быть либо колея, либо база карьерного автосамосвала.

Этот момент можно векторно разложить по продольной, поперечной и вертикальной осям X , Y и Z , взаимно перпендикулярным и проходящим через центр тяжести карьерного автосамосвала. Каждый из полученных моментов M_X , M_Y , M_Z действует вокруг соответствующей оси.

В результате действия момента крена M_X происходит перераспределение нормальных реакций между шинами правой и левой стороны автосамосвала. При положительном значении угла β происходит разгрузка левой по ходу движения стороны автосамосвала и загрузка правой.

$$M_X = 0,5m_X F \rho V_{AB}^2 B, \quad (3)$$

где m_X – коэффициент аэродинамического момента крена;

B – колея задних (сдвоенных) колес карьерного автосамосвала.

Момент тангажа M_Y перераспределяет нагрузки между шинами передней и задней осей карьерных автосамосвалов. Встречный воздушный поток дополнительно нагружает заднюю ось автосамосвала и в том же объеме снижает нагрузку на переднюю. Попутный ветер приводит к обратному результату.

$$M_Y = 0,5m_Y F \rho V_{AB}^2 l_k \quad (4)$$

где m_Y – коэффициент аэродинамического момента тангажа;

l_k – колесная база карьерного автосамосвала.

Момент рыскания M_Z стремится развернуть автосамосвал перпендикулярно направлению воздушного потока. При этом в пятне контакта колес с поверхностью дороги за счет трения возникают поперечные реакции, которые препятствуют уводу автосамосвала с заданного направления. Данный момент не оказывает влияния на перераспределение нормальных реакций между колесами автосамосвала, поэтому в дальнейшем нами рассматриваться не будет.

Таким образом,

$$M_B = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2} \quad (5)$$

$$m_B = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} \quad (6)$$

Рассмотрим два граничных случая.

1. $\beta=0$, т.е. вектор скорости ветра направлен строго навстречу вектору скорости движущегося автосамосвала:

В этом случае $M_X=0$, $V_{AB}=V_A+V_B$, а в качестве площади миделевого сечения выступает площадь проекции автосамосвала на плоскость YZ .

$$F = B_A(H_A - h) + 4hb_{ш} \quad (7)$$

где B_A – габаритная ширина автосамосвала;

H_A – габаритная высота автосамосвала;

h – расстояние от бампера до поверхности дороги;

$b_{ш}$ – ширина колеса с шиной.

Тогда величина нормальных реакций на колеса задней оси автосамосвала увеличится на

$$\begin{aligned} \Delta Z_{зад} &= \frac{M_Y}{l_k - a} = \\ &= \frac{0.5m_Y[B_A(H_A - h) + 4hb_{ш}]\rho(V_A + V_B)^2 l_k}{l_k - a} \quad (8) \end{aligned}$$

а на колеса передней оси уменьшится на

$$\begin{aligned} \Delta Z_{пер} &= \frac{M_Y}{l_k - b} = \\ &= \frac{0.5m_Y[B_A(H_A - h) + 4hb_{ш}]\rho(V_A + V_B)^2 l_k}{l_k - b} \quad (9) \end{aligned}$$

где a – расстояние от центра тяжести автосамосвала до передней оси;

b – расстояние от центра тяжести автосамосвала до задней оси.

2. $\beta=90^\circ$, т.е. вектор скорости ветра направлен строго перпендикулярно вектору скорости движущегося автосамосвала:

В этом случае перенапряжение колес передней и задней осей автосамосвала будет обусловлено воздушным напором от его скорости движения, а скорость ветра будет оказывать влияние только на распределение нормальных нагрузок по его сторонам. Площадь миделевого сечения в этом случае определится проекцией автосамосвала на плоскость XZ .

$$F = 0.8L_A H_A \quad (10)$$

$$\Delta Z_{л,пр} = \frac{2M_X}{B} = \frac{2 * 0.5m_X[0.8L_A H_A]\rho V_B^2 B}{B}$$

$$\Delta Z_{л,пр} = 0,8m_X L_A H_A \rho V_B^2 \quad (12)$$

где L_A – габаритная длина автосамосвала.

При изменениях значения угла $0 < \beta < 90$ будут изменяться значения скорости натекания воздушного потока и площади миделевого сечения.

$$F = [B_A(H_A - h) + 4hb_{ш}] \cos \beta + (0.8L_A H_A) \sin \beta \quad (13)$$

Суммарная скорость воздушного потока для определения $\Delta Z_{зад}$ и $\Delta Z_{пер}$ определится как

$$V_{AB} = V_A + V_B \cos \beta \quad (14)$$

А для определения $\Delta Z_{л,пр}$ необходимо $(V_B \sin \beta)$.

Практическое определение и учет влияния аэродинамических нагрузок на перераспределение нормальных реакций шин карьерных автосамосвалов в динамике – довольно трудоемкий и сложный процесс. [11-15] Однако очевидно весомость этого фактора в процессе формирования температурных режимов работы крупногабаритных и сверхкрупногабаритных шин карьерных автосамосвалов, поэтому данный вопрос требует дальнейшего всестороннего изучения и оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лель Ю. И., Глебов И. А., Мусихина О. В., Ганиев Р.С., Хардик Н. В. Энергетический метод оценки и систематизации условий эксплуатации карьерного автотранспорта // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 8. С. 14-25.
2. Дубинкин Д. М., Карташов А. Б., Арутюнян Г. А. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 3 (149). С. 25-33.
3. Таразанов И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2019 года // Уголь. 2020. № 3. С. 54-69.
4. Зеночкин М. Ю. Система учета и отслеживания крупногабаритных шин как важнейшее условие эффективного управления шинным хозяйством в горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 11. С. 56-64.
5. Янцижин В. М., Челомбиев Е. А. Роль производственной службы ООО «Суэк-Хакасия» в части контроля эксплуатации крупногабаритных шин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S39. С. 197-200.
6. Stenin D., Stenina N. Dependence of reliability and resource of the elements of the design of quarry automatics with the degrees of their downloads // E3S Web of Conferences 21. 2017. 03002.
7. Kulpin A. G., Stenin D. V., Kultayev E. E., Kulpina E. E., Borovtsov V. A. Influence of service conditions of quarry dump trucks on the thermal state large-size tires // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. 2016. P. 116-119.
8. Grinchuk P. S., Fisenko S. P. Heat exchange with air and temperature profile of a moving oversize tire // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. T. 89. № 6. P. 1369-1373.
9. Toskunin I., Tyagunin A., Lagunov A., Kutinov Y., Chistova Z. Study of the features of the operation of a dump truck BELAZ-75131 at the enterprise of JSC "AGD DIAMONDS" in the conditions of the far north // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. P. 042042.
10. Задворнов В. Н., Балакина Е. В., Мищенко В. А. Прогнозирование износа протектора по жестким характеристикам шин // Трение и износ. 2020. Т. 41. № 4. С. 485-490.

11. Goryunov S., Khoreshok A., Grigoryeva N., Preis E., Alitkina O. The research of operational temperatures of dump trucks tires // E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. 2019.

12. Никифоров К. Влияние водителя автосамосвала и других факторов на износ крупногабаритных шин карьерной и шахтной техники // Простое.НЕТ. 2016. № 4 (9). С. 26-31.

13. Dadonov M., Kulpin A., Borovtsov V., Zhunusbekova A. Effect of aero-dynamic loads on redistribution of normal reactions of quarry dump trucks

tires // E3S Web of Conferences Electronic edition. 2020.

14. Лель Ю. И., Глебов И. А., Буднев А. Б., Исаков С. В., Ганиев Р. С. К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 7. С. 21-32.

15. Bochkaryov Y., Ishkov Y. The operational reliability of quarry dump trucks BELAZ-7540 in the placer deposits // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2020. 2020. С. 325-332.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Об авторах:

Дадонов Михаил Васильевич, доцент кафедры эксплуатации автомобилей, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент, dadonovmv@kuzstu.ru

Кульпин Александр Геннадьевич, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобилей, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), kag.ea@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

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

Кульпин А.Г. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-3-8

Mikhail V. Dadonov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Alexander G. Kulpin** *, Senior Lecturer

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: kag.ea@mail.ru

REDISTRIBUTION OF LOADS ON THE WHEELS OF QUARRY DUMP TRUCKS DUE TO THE IMPACT OF AERODYNAMIC LOADS



Article info

Received:

11 July 2021

Accepted for publication:

20 October 2021

Accepted:

15 January 2022

Abstract.

Oversized and oversized tires of advanced mining dump trucks are used in extremely difficult mining and technical and weather conditions. Above 50% of the tires in use do not achieve their tire life limit. Our earlier work was focused on the analysis of the moments that affect the temperature and load operating conditions of the tires of mining dump trucks, as well as the determination of the degree of their impact. This article is devoted to the study of the influence of aerodynamic forces on a service dump truck, as one of the moments affecting the dynamic redistribution of normal loads on tires, and therefore on their temperature regimes.

Keywords: Dump truck, oversized tires, road profile, normal reactions, tire life, mass distribution.

For citation: Dadonov M.V., Kulpin A.G. Redistribution of loads on the wheels of quarry dumps due to the impact of aerodynamic loads. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2022; 1(159):3-8 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-3-8

REFERENCES

1. Lel' Yu. I., Glebov I. A., Musihina O. V., Ganiev R. S., Hardik N. V. Energeticheskiy metod ocenki i sistematizacii usloviy ekspluatatsii kar'ernogo avtotransporta. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*. 2020; 8:14-25.
2. Dubinkin D. M., Kartashov A. B., Arutyunyan G. A. Justification of the number and type of tire size for unmanned mining dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 3(149):25-33.
3. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. The results of the work of the coal industry in Russia for January-December 2019. *Coal*. 2020; 3:54-69.
4. Zenochkin M. Yu. Accounting system and tracking of large-sized tires as the most important condition for effective management of the tire industry in the mining industry. *Mining information and analytical bulletin*. 2009; 11:56-64.
5. Yantsizhin V. M., Chelombiev E. A. The role of the production service of Suek-Khakassia LLC in terms of monitoring the operation of large-size tires. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 39:197-200. doi: 10.25018 / 0236-1493-2017-12-39-197-200
6. Stenin D., Stenina N. Dependence of reliability and resource of the elements of the design of quarry automatics with the degrees of their downloads. *E3S Web of Conferences 21*, 2017; 03002
7. Kulpin A. G., Stenin D. V., Kultayev E. E., Kulpina E. E., Borovtsov V. A. Influence of service conditions of quarry dump trucks on the thermal state large-size tires. *Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety*. 2016; P. 116-119.
8. Grinchuk P. S., Fisenko S. P. Heat exchange with air and temperature profile of a moving oversize tire. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. 89(6):1369-1373.
9. Toskunin I., Tyagunin A., Lagunov A., Kutinov Y., Chistova Z. Study of the features of the operation of a dump truck BELAZ 75131 at the enterprise of JSC "AGD DIAMONDS" in the conditions of the far north. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience"*. 2020; 042042.
10. Zadvornov V. N., Balakina E. V., Mishchenkov N. A. Prediction of tread wear based on the stiffness characteristics of tires. *Friction and wear*. 2020; 41(4):485-490.
11. Goryunov S., Khoreshok A., Grigoryeva N., Preis E., Alitkina O. The research of operational temperatures of dump trucks tires. *E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition*. 2019.
12. Nikiforov K. Vliyanie voditelya avtosamosvala i drugih faktorov na iznos krupnogabaritnyh shin kar'ernoj i shahthnoj tekhniki / K. Nikiforov. *ProstoEv.Net*. 2016; 4(9):26-31.
13. Dadonov M., Kulpin A., Borovtsov V., Zhunusbekova A. Effect of aerodynamic loads on redistribution of normal reactions of quarry dump trucks tires. *E3S Web of Conferences Elektronik edition*. 2020.
14. Lel' Yu. I., Glebov I. A., Budnev A. B., Isakov S. V., Ganiev R. S. To substantiation of the parameters of steeply inclined auto-ramps when opening deep horizons of kimberlite quarries. *News of higher educational institutions. Mining Journal*. 2020; 7:21-32.
15. Bochkaryov Y., Ishkov A. The operational reliability of quarry dump trucks belaz-7540 in the placer deposits. 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia. 2020. 325-332.

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

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Mikhail V. Dadonov, Associate Professor of the Department of Automobile Operation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, Associate Professor, dadonovmv@kuzstu.ru

Alexander G. Kulpin, Senior Lecturer of the Department of Automobile Operation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), kag.ea@mail.ru

Contribution of the authors:

Mikhail V. Dadonov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Alexander G. Kulpin – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.