



УДК 629.3.027.3

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ КОЛЕС ПЕРЕДНЕЙ ОСИ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 240 ТОНН И БЕЛАЗ-7531

Закрасовский Д.И., Тарасюк И.А., Сафина Д.А., Овсянников М.О.,
Недобежкин В.Г.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

В статье представлены результаты сравнения нагрузок на элементы крепления колес передней оси разрабатываемого автономного карьерного самосвала (АКС) грузоподъемностью 240 тонн и БелАЗ-7531. При проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ проводится поиск и анализ существующих технических решений конструкций карьерных самосвалов, в том числе элементов крепления колес к ступице. Для подтверждения и сравнения результатов проведенных исследований нагрузок элементов крепления колеса к ступице для разрабатываемого АКС грузоподъемностью 240 тонн принято провести аналогичные расчеты БелАЗ-7531 как наиболее близкого аналога. Для проведения расчетов шпильчатых соединений колес АКС и БелАЗ-7531 разработаны твердотельные модели. Определение нагрузок на элементы крепления колес проведено в ПО APM Joint. Из расчетов для выполнения условий нераскрытия стыка с 15 прижимами для АКС потребуется сила затяжки 145652 Н, для БелАЗ-7531 это значение составляет 145610 Н. При этом коэффициенты запаса прочности составили соответственно 2,14 и 2,65. Схема для АКС из 15 прижимов по результатам расчетов почти соответствует схеме БелАЗ-7531, разница только в коэффициентах запаса прочности и моментах затяжки, обусловленные отличиями размера резьбы. При этом достичь схожих значений коэффициента запаса прочности можно выбором шпилек повышенного класса прочности. Меньший момент затяжки является преимуществом схемы для АКС.



Информация о статье

Поступила:
21 сентября 2024 г.

Рецензирование:
31 октября 2024 г.

Принята к печати:
11 ноября 2024 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, элементы
крепления колеса, ступица,
шпилька, прижим, APM Joint.

Для цитирования: Закрасовский Д.И., Тарасюк И.А., Сафина Д.А., Овсянников М.О., Недобежкин В.Г. Сравнительная оценка нагрузок на элементы крепления колес передней оси автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 тонн и БелАЗ-7531 // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 4(27). – С. 99-113. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-4-99-113

Введение

Проектирование карьерных самосвалов (КС) сопровождается прочностными расчетами всех узлов, систем и элементов. Одним из высоконагруженных узлов КС являются элементы крепления колес к ступице. Колеса обеспечивают контакт с дорожным покрытием, участвуют в создании и изменении направления движения, а также передают нагрузку от массы автомобиля к дороге. Таким образом, элементы крепления колес к ступице воспринимают нагрузки, приходящие на колеса от дорожного покрытия, и наоборот – от КС к дороге [1-3].

Элементами крепления колес на ступицу являются гайки, шпильки или болты, а при бездисковом колесе еще необходимо учитывать прижимы. Рассматриваемые элементы должны обеспечивать надежность, точность и простоту установки колеса на ступицу. Нарушение точной установки колеса на ступице может привести к нарушению балансировки, появлению



повышенных вибраций, неравномерному и интенсивному изнашиванию шины. Относительно шин КС, стоимость которых составляет миллионы рублей, их интенсивный износ недопустим. Поэтому для жесткой фиксации колеса на ступице определяются нагрузки, действующие на элементы крепления колеса и необходимый момент затяжки.

Помимо определения момента затяжки присутствует необходимость подбора резьбовых деталей и их количества, иначе высока вероятность их разрушения в ходе эксплуатации КС при чрезмерном моменте затяжки либо возникновения взаимного смещения колеса и элементов крепления при малом моменте затяжки.

При разработке автономного карьерного самосвала (АКС) грузоподъемностью 240 т в рамках реализации проекта на тему: «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом» [4-6] актуально определение нагрузок на элементы крепления колес к ступице.

При научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах необходимо проводить поиск и анализ существующих технических решений конструкций КС [5-7], в том числе элементов крепления колес к ступице, для решения следующих задач:

- подтверждения результатов проведенных исследований путем расчета нагрузок на элементы крепления колес к ступице на аналогичной технике, выпускаемой серийно;
- проведение сравнения результатов исследований с расчетами нагрузок на элементы крепления колес к ступице на аналогичной технике, выпускаемой серийно.

Для продолжения разработки элементов крепления колес к ступице для АКС необходимо не только определить нагрузки на элементы крепления колес, но и сравнить результаты с нагрузками на аналогичной технике, выпускаемой серийно.

Действующие нагрузки на колеса и выбор режима работы колеса

В ходе эксплуатации КС на колесо воздействуют следующие нагрузки (Рис. 1, а):

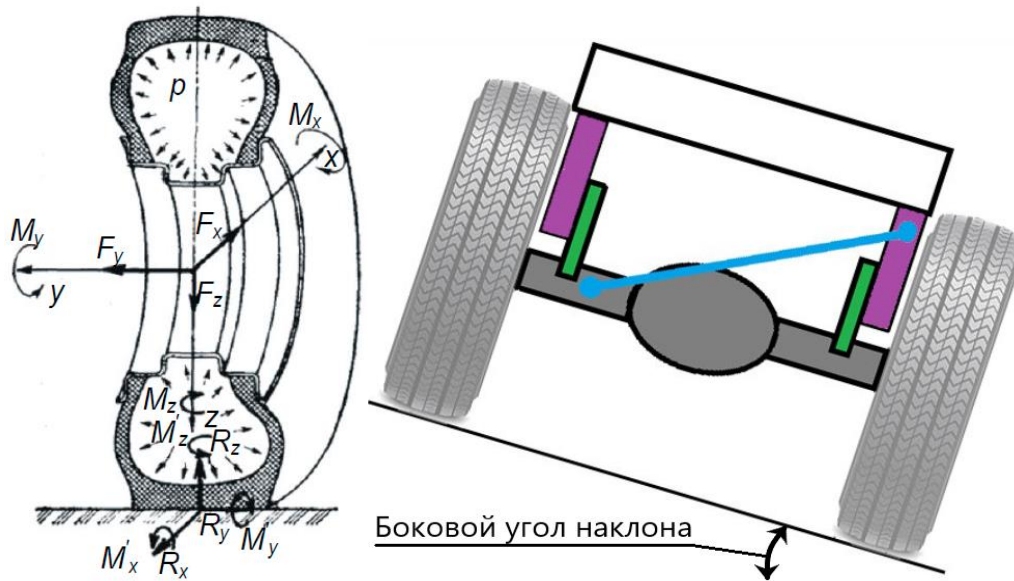
- Продольная сила F_x , направленная горизонтально в плоскости вращения колеса. Направление силы определяется режимом работы колеса.
- Боковая сила F_y , направленная горизонтально вдоль оси вращения колеса. Боковая сила является следствием действия центробежной силы, которая возникает при повороте автомобиля, и силы составляющей веса, которая возникает при боковом угле наклона автомобиля (Рис. 1, б).
- Нормальная сила F_z , направленная вертикально к оси вращения колеса. Нормальная сила представляет собой часть веса автомобиля с грузом, приходящегося на колесо.
- опрокидывающий момент M_x , возникающий вследствие бокового наклона автомобиля.
- Крутящий момент M_y , определяющийся крутящим моментом, передаваемым от двигателя автомобиля к ведущему колесу через трансмиссию. В случае КС это крутящий момент, который передается от электродвигателя через редуктор-мотор колеса на колесо.
- Поворачивающий момент M_z , возникающий при повороте автомобиля в результате увода шин.

Между шиной колеса и дорогой от действия внешних сил и моментов возникают реакции дороги, которые распределяются по пятну контакта:

- Реакция R_x является проекцией равнодействующей сил в направлении оси X .
- Реакция R_y является проекцией равнодействующей сил в направлении оси Y .
- Реакция R_z является проекцией равнодействующей сил в направлении оси Z [8].

По результатам исследования [9] под наиболее нагруженным режимом работы колеса принят режим, при котором осуществляется поворот машины при движении на подъем. Увеличение нагрузки на элементы крепления в таком режиме может достигать более 100%. Однако наиболее существенным источником динамических нагрузок является неровность дорожного полотна.

Исследования по определению нагрузок на элементы крепления колес и сравнения с нагрузками на аналогичную технику будут проведены для расчетного случая, при котором КС движется прямолинейно, угол бокового наклона составляет 10 градусов (максимально допустимый угол) [10-12].



а б

Рис. 1. Особенности работы колеса: а – схема внешних сил, действующих на колесо; б – боковой наклон автомобиля

Fig. 1. Features of the wheel operation: а – diagram of the external forces acting on the wheel; б – the lateral tilt of the car

Проведение расчетов шпилечных соединений

Элементы крепления колеса к ступице, такие как гайки, шпильки или болты, являются резьбовыми соединениями. Для определения нагрузок резьбовых соединений существует широкий спектр программного обеспечения. Одно из них – модуль АРМ Joint системы WinMachine, который предназначен для расчета и проектирования соединений.

С учетом результатов исследований на этапе технического проектирования [13-23] при разработке АКС была создана твердотельная модель (3D-модель) переднего колеса (Рис. 2).

В качестве объекта для сравнения с разработанной твердотельной моделью выбран КС БелАЗ из серии 7531 грузоподъемностью 240 тонн. Данный КС является наиболее подходящим по характеристикам аналогом АКС.

В рамках исследования, проведенного ранее, была осуществлена поездка на горнодобывающее предприятие, где произведены замеры размеров ступицы и элементов крепления на КС БелАЗ-7531. В результате измерений была создана твердотельная модель колеса КС БелАЗ-7531 (Рис. 3).

Были определены параметры элементов крепления колеса к ступице передней оси АКС и БелАЗ-7531 для проведения расчетов, которые представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Параметры элементов крепления колеса на ступицу передней оси АКС и БелАЗ-7531

Table 1. Parameters of the wheel mounting elements on the hub of the front axle of the ADT and BelAZ-7531

Параметр	АКС	БелАЗ-7531
Количество прижимов	15	15
Количество шпилек	30	30
Размер резьбы шпилек	M30x2	M33x2
Конструкция колеса	Без диска	Без диска
Материал шпилек	Сталь 40Х	Сталь 40Х

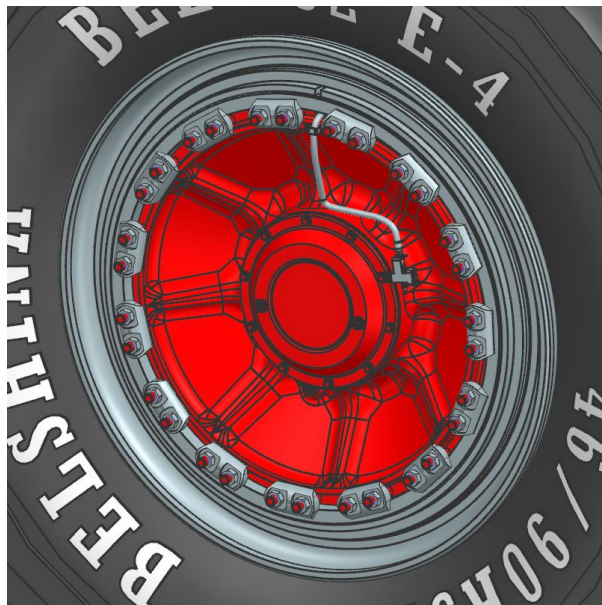


Рис. 2. Твердотельная модель переднего колеса АКС
Fig. 2. Solid-state model of the front wheel of the ADT

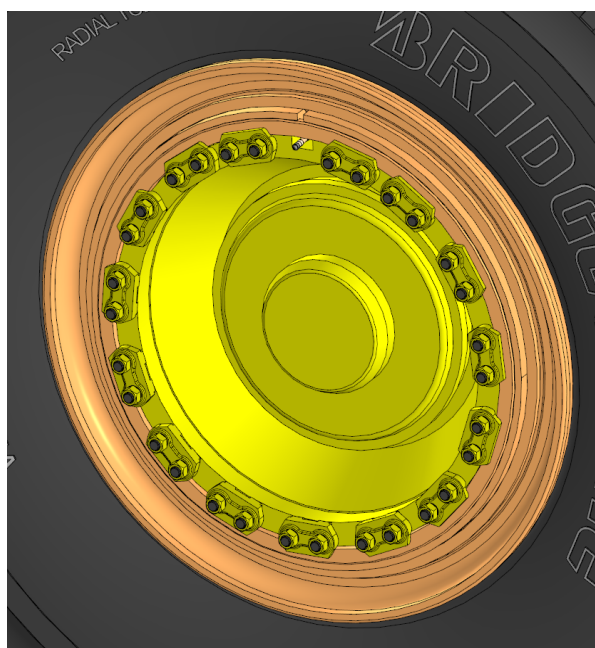


Рис. 3. Твердотельная модель переднего колеса БелАЗ-7531
Fig. 3. Solid-state model of the front wheel BelAZ-7531

В моделях для переднего колеса используется конструкция обода колеса без диска, поэтому шпильчатые соединения воспринимают от колес на раскрытие только реакцию силы R_y , опрокидывающий M_x и поворачивающий M_z моменты. Реакции сил R_x и R_z не влияют на условия сдвига и раскрытия, потому что данные нагрузки приходятся на поверхность ступицы. Крутящий момент M_y влияет только на условие сдвига, однако переднее колесо КС является ведомым, поэтому он отсутствует. Исходя из этого, нагрузки действуют только на раскрытие стыка деталей (в данном случае – обод колеса и прижимы).



Исходные данные для определения нагрузок на элементах крепления колеса к ступице АКС и БелАЗ-7531 представлены в Таблице 2. Для БелАЗ-7531 они взяты согласно характеристикам КС из каталога.

Таблица 2. Исходные данные для определения нагрузок на элементах крепления колеса к ступице АКС и БелАЗ-7531

Table 2. Initial data for determining the loads on the wheel mounting elements to the hub of the ADT and BelAZ-7531

Параметр	АКС	БелАЗ-7531
Полезная масса машины (m), кг	401500	401500
Статический радиус колеса (r_d), м	1,577	1,577
Вылет колеса (L), м	0,4	0,4
Боковой угол наклона (γ), град	10	10

В связи с одинаковой массой АКС и БелАЗ-7531, а также одинаковым размером применяемых колес нагрузки, действующие на колесо, будут одинаковыми.

Сила, действующая на передние колеса при движении по горизонтальному участку [24]:

$$F_{\text{гор}} = \frac{0,33 \cdot m \cdot g}{2} = \frac{0,33 \cdot 401500 \cdot 9,8}{2} = 649226 \text{ Н.}$$

При боковом наклоне КС движение самосвала приведет к неравномерному распределению нагрузок на колеса. Одно колесо разгружается, а другое – дополнительно нагружается. Согласно исследованиям [24] и пренебрегая параметрами подвески, коэффициент перераспределения нагрузок составляет приблизительно 1,26.

Сила, которое действует на дополнительно нагруженное колесо [24]:

$$F_{\text{гор}}^{\text{нагр}} = F_{\text{гор}} \cdot 1,26 = 649226 \cdot 1,26 = 818024 \text{ Н.}$$

Смещенная нормальная сила при боковом угле наклона в 10 градусов [24]:

$$F_z^{\text{нагр}} = R_z^{\text{нагр}} = F_{\text{гор}}^{\text{нагр}} \cdot \cos(\gamma) = 818024 \cdot 0,98 = 805597 \text{ Н.}$$

Боковая сила на дополнительно нагруженном колесе [24]:

$$F_y^{\text{нагр}} = R_y^{\text{нагр}} = F_{\text{гор}}^{\text{нагр}} \cdot \sin(\gamma) = 818024 \cdot 0,17 = 142028 \text{ Н.}$$

Опрокидывающий момент возникающий вследствие бокового наклона автомобиля [24]:

$$M_x^{\text{нагр}} = R_z^{\text{нагр}} \cdot [r_d \cdot \sin(\gamma) + L] = 805597 \cdot [1,577 \cdot 0,17 + 0,4] = 542846 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для проведения прочностных расчетов в модуле APM Joint были заданы схемы расположения прижимов на ступице, представленные на Рис. 4. Размеры резьбы и материал шпилек приняты согласно Таблице 1.

Для проведения прочностного расчета элементов крепления колеса на ступицу приняты дополнительные данные, представленные на Рис. 5. Коэффициент запаса на нераскрытие принят как среднее значение между рекомендуемыми 2,5 и 4 при переменной нагрузке. Коэффициент запаса сдвига принят как среднее значение между рекомендуемыми 1,8 и 2 при переменных нагрузках. Коэффициент основной нагрузки (или коэффициент внешней нагрузки) принят как среднее значение от рекомендуемых 0,2 и 0,3. Коэффициенты трения приняты минимальные от рекомендуемых [25]. Остальные параметры указаны для стали 40Х.

Результатами расчета являются отчеты по нагрузкам на шпильки, данные из которых взяты для дальнейших исследований и сведены в Таблицу 3.

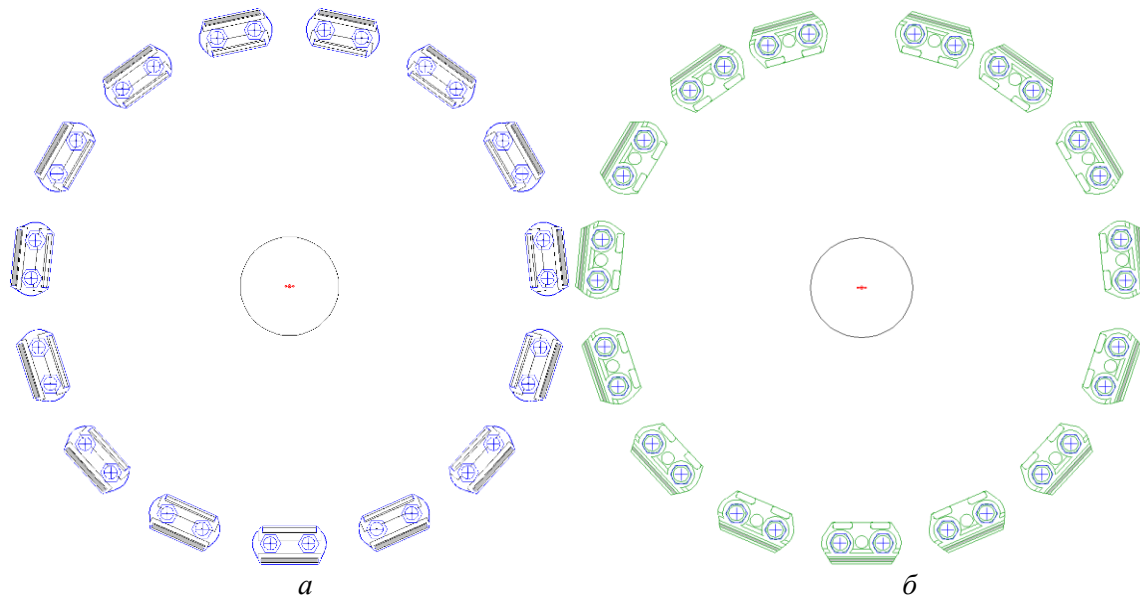


Рис. 4. Схемы для расчета шпилек: а – АКС; б – БелАЗ-7531
Fig. 4. Schemes for calculating studs: a – ADT; b – BelAZ-7531

Таблица 3. Результаты расчетов шпильчных соединений в модуле APM Joint
Table 3. Calculation results of stud connections in the APM Joint module

Параметр	АКС	БелАЗ-7531
Сила затяжки, Н	145652	145610
Максимальная нагрузка на шпильку, Н	204938	204985
Максимальное давление, МПа	251	255
Момент затяжки, Н·м	914	997
Коэффициент запаса прочности под максимальной нагрузкой	2,14	2,65

Коэффициент запаса на нераскрытие	3.25
Коэффициент запаса сдвига	1.9
Коэффициент основной нагрузки	0.25
Коэффициент запаса текучести деталей крепления	1.5
Предел текучести материала деталей крепления [МПа]	785
Коэффициент трения сопряженных	0.15
Коэффициент трения в резьбе и на торце	0.15
Предел прочности материала деталей крепления [МПа]	980
Количество поверхностей среза/трения	1

Рис. 5. Дополнительные данные для прочностного расчета
Fig. 5. Additional data for strength calculation



Дополнительно к отчетам по нагрузкам строятся карты давлений и нагрузок (Рис. 6, 7), согласно которым возникающие давления и нагрузки в шпильках на обеих схемах распределяются неравномерно: максимальные нагрузки приходятся на одну часть прижимов, в то время как другая часть разгружена. Таким образом, элементы крепления колес на ступицу работают в условиях нестационарного динамического нагружения.

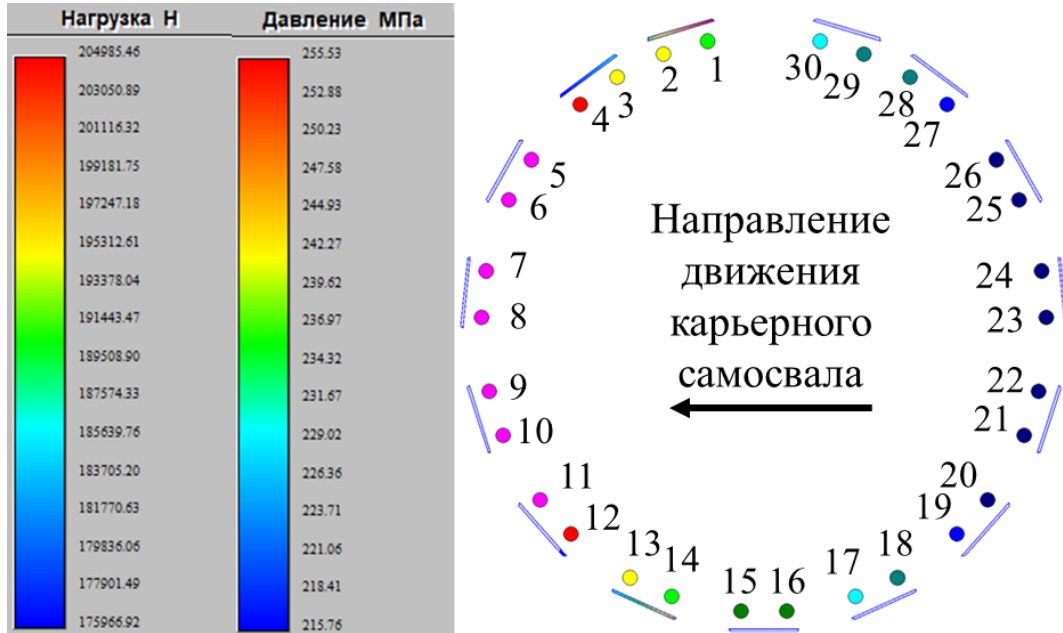


Рис. 6. Карта давлений и нагрузок для схемы БелАЗ-7531
Fig. 6. Map of pressures and loads for the BelAZ-7531 circuit

Шпильки, условно расположенные в передней части шины по направлению движения КС, испытывают большие нагрузки (окрашены розовым цветом на Рис. 6 и 7), чем шпильки, расположенные с задней части (окрашены темно-синим цветом). Нагрузка на шпильки, расположенные в нижней части колеса, также приходится меньше, чем на верхние шпильки.

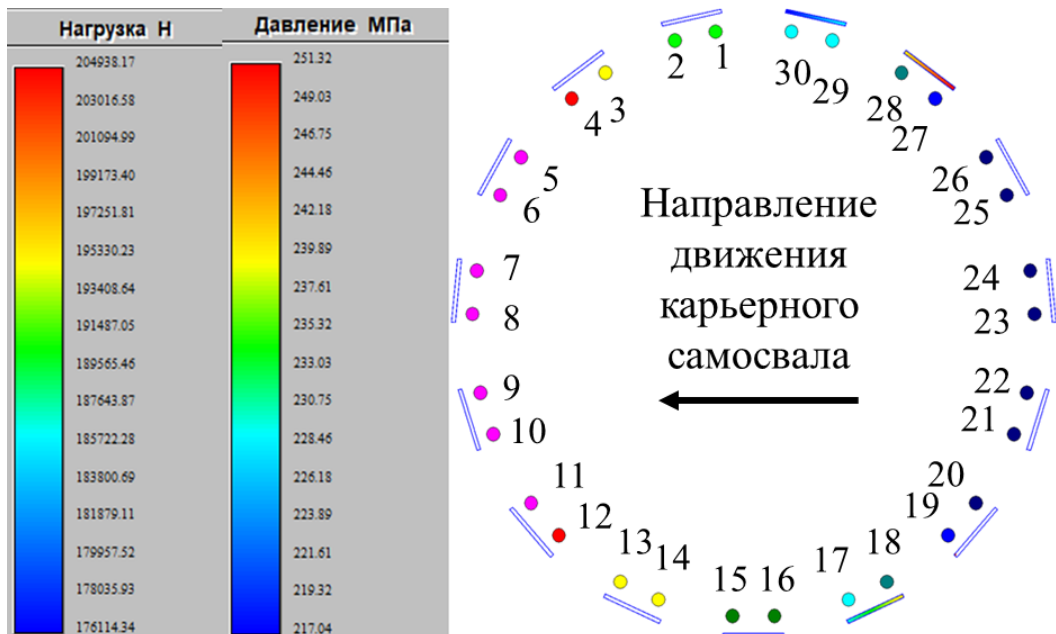


Рис. 7. Карта давлений и нагрузок для схемы АКС
Fig. 7. Map of pressures and loads for the ADT



С полученных карт были взяты значения нагрузок, которые возникают в каждой шпильке для АКС и БелАЗ 7531 взяты из и представлены в таблице 4. Номера позиций в таблице 4 соответствуют позициям на картах давлений и нагрузок на рисунках 6, 7.

Таблица 4. Распределение возникающих нагрузок в шпильках по позициям
Table 4. Distribution of emerging loads in studs by position

	Нагрузка на шпильку, Н·10 ⁵									
№ поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АКС	1,92	1,96	1,97	2,01	2,02	2,04	2,05	2,05	2,05	2,03
БелАЗ-7531	1,92	1,95	1,97	2	2,02	2,04	2,05	2,05	2,05	2,04
№ поз.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
АКС	2,02	2	1,98	1,94	1,92	1,88	1,86	1,83	1,81	1,79
БелАЗ-7531	2,02	2	1,98	1,96	1,93	1,88	1,85	1,83	1,81	1,79
№ поз.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
АКС	1,77	1,76	1,76	1,77	1,77	1,79	1,81	1,84	1,86	1,9
БелАЗ-7531	1,77	1,76	1,76	1,76	1,77	1,79	1,81	1,84	1,86	1,89

Для визуализации данных Таблицы 4 были построены лепестковые диаграммы распределения нагрузок по шпилькам для АКС и БелАЗ-7531:

- вдоль горизонтальной оси, которая расположена по окружности, проставлены значения позиций шпилек на колесе;
- вдоль вертикальной оси указаны возникающие нагрузки в каждой шпильке.

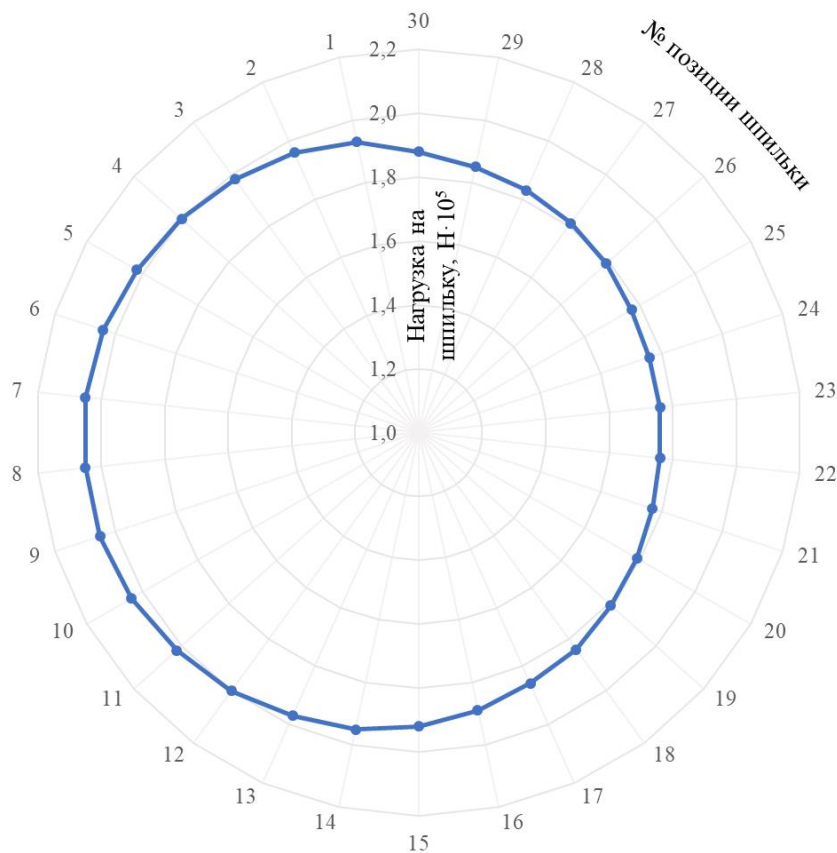


Рис. 8. Лепестковая диаграмма распределения нагрузок по шпилькам для БелАЗ-7531
Fig. 8. Radar diagram of load distribution on studs for BelAZ-7531

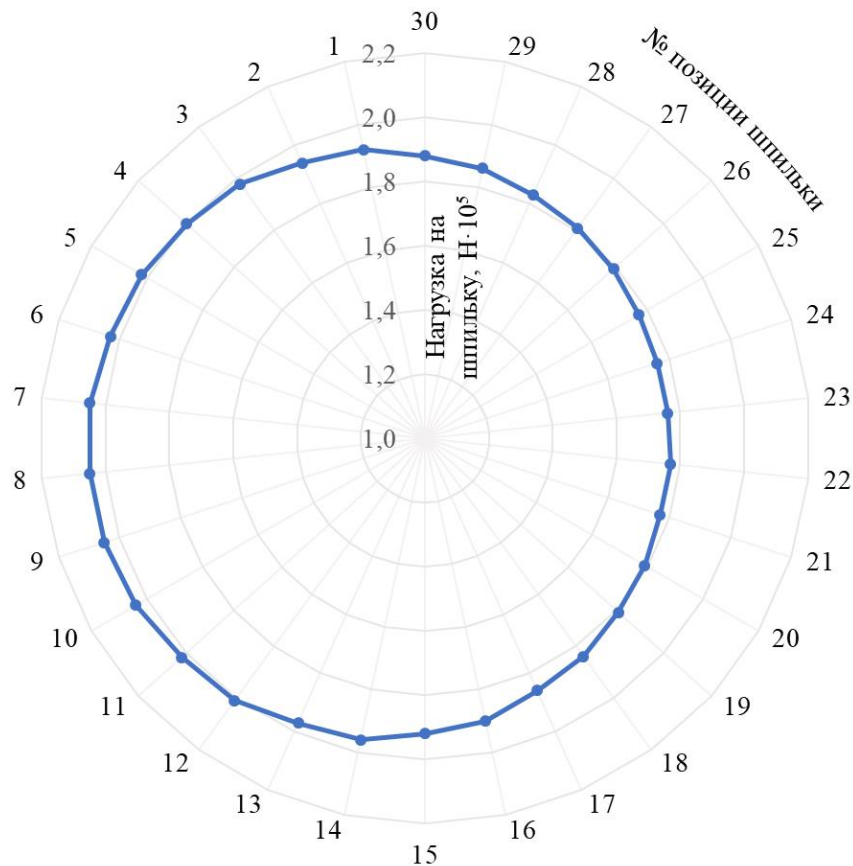


Рис. 9. Лепестковая диаграмма распределения нагрузок по шпилькам для АКС
Fig. 9. Radar diagram of load distribution on studs for ADT

По данным таблицы 4 и диаграммам на рисунках 8 и 9 можно отметить:

- одинаковые значения нагрузок на шпильках для АКС и БелАЗ 7531;
- разница между наибольшей и наименьшей нагрузками шпилек для каждой из схем составила 15%.
- наблюдается гладкая динамика значений без особых точек с резкими скачками значений для каждой из схем.

Для выполнения условий нераскрытия стыка для АКС потребуются моменты затяжки 914 Н·м и 997 Н·м для БелАЗ-7531 (силы затяжки, соответственно, 145652 Н и 145610 Н). Максимальные нагрузки на одну из шпилек составили 204938 Н и 204985 Н. Коэффициенты запасов прочности составили 2,14 и 2,65. Максимальные давления на поверхностях сопряжения прижимов с ободом составили 251 МПа и 255 МПа соответственно.

Требуемые моменты затяжки и максимальные нагрузки одинаковые, отличие составляет менее 1%. Разница в максимальном давлении на поверхностях сопряжения прижимов с ободом составила 2%. При этом требуемый момент затяжки и коэффициент запаса прочности у БелАЗ-7531 выше, обусловлено это большим диаметром резьбы, который при одинаковых силах затяжки требует большего момента затяжки и имеет больший коэффициент запаса прочности [25]. У обеих шпилек условия по прочности выполняются, есть значительный запас.

В АРМ Joint при расчете коэффициента запаса прочности шпилечных соединений учитывается именно предел текучести задаваемого материала, что, согласно литературе по расчетам болтовых и шпилечных соединений, не дает полностью оценить выбранные параметры шпильки. Обусловлено это тем, что ключевое влияние оказывает не только выбор материала, но и класс прочности резьбовой детали. Например, согласно ГОСТ 1759.0-87 шпильки с резьбой М30 и класса прочности 10.9 не уступают по выдерживаемым нагрузкам шпилькам М33 класса прочности 8.8.



Согласно руководству по эксплуатации БелАЗ-7531, требуемый момент затяжки для передних колес находится в пределах 1300-1600 Н·м. Отличие от рассчитанного момента затяжки в статье составляет почти в 1,5 раза. Такая разница может быть связана с выбором расчетного случая: в текущих исследованиях рассматриваются нагрузки на элементы крепления колес при прямолинейном движении, в то время как производителем учтен самый нагруженный режим – поворот машины. При этом подтверждается актуальность проведения дальнейших исследований в части определения нагрузок на элементы крепления колеса к ступице для других расчетных случаев.

Выводы

С помощью описанного метода определены нагрузки, действующие на элементы крепления колес передней оси АКС и КС БелАЗ-7531. Установлено, что:

- значения нагрузок на шпильках для АКС и БелАЗ-7531 практически одинаковые;
- разница между наибольшим значением нагрузки на шпильке и наименьшим для каждой из схем составила 15%;
- наблюдается гладкая динамика значений без особых точек с резкими скачками значений для каждой из схем;
- шпильки, расположенные в передней части шины по направлению движения КС, испытывают большие нагрузки, чем шпильки, расположенные с задней части;
- нагрузка на шпильки, расположенные в нижней части колеса также приходится меньше, чем на верхние шпильки.

Из расчетов для выполнения условий нераскрытия стыка с 15 прижимами для АКС потребуется сила затяжки – 145652 Н, для БелАЗ-7531 это значение составляет 145610 Н. При этом коэффициенты запаса прочности составили, соответственно, 2,14 и 2,65. Схема для АКС из 15 прижимов по результатам расчетов почти соответствует схеме БелАЗ-7531, разница только в коэффициенте запаса прочности и моменте затяжки, обусловленных отличием размеров резьбы. При этом достичь схожих значений коэффициента запаса прочности можно выбором шпилек повышенного класса прочности. Меньший момент затяжки является преимуществом схемы для АКС.

Поэтому данную схему можно применить для дальнейших разработок элементов крепления колес к ступице АКС.

Целью дальнейших исследований является определение нагрузок на элементы крепления колеса к ступице при других расчетных случаях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2022-016 от 07.04.2022 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Информация об авторах

Закрасовский Дмитрий Иванович, аспирант, младший научный сотрудник
e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru



Тарасюк Ирина Андреевна, младший научный сотрудник
e-mail: homutovaia@kuzstu.ru

Сафина Диана Александровна, младший научный сотрудник
e-mail: safinada@kuzstu.ru

Овсянников Михаил Олегович, техник
e-mail: ovsyannikovmo@kuzstu.ru

Недобежкин Вадим Германович, младший научный сотрудник
e-mail: nedobezhkinvg@kuzstu.ru

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

Список литературы

1. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. – 2023. – № 6(1168). – С. 72-79. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79.
2. Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С. Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Уголь. – 2023. – № 11(1173). – С. 65-71. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.
3. 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 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
4. Дубинкин Д.М., Зеляева Е.А., Аксенов В.В. Технические решения несущих систем (рам) карьерных самосвалов как объект интеллектуальной собственности // Уголь. – 2024. – № 5(1180). – С. 47-53. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.
5. Дубинкин Д.М., Пашков Д.А. Импортонезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. – 2023. – № 4(1166). – С. 42-48. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
6. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т) // Уголь. – 2023. – № S12(1175). – С. 11-19. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19.
7. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Литвин Я.О., Марков С.О., Тюленев М.А. Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные самосвалы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 4. – С. 26-34. – DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34.
8. Острецов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В. Шины и колеса для автомобилей и тракторов: Учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности 190201 (150100) «Автомобиле- и тракторостроение». – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 85 с.
9. Автотракторные колеса: Справочник / Под общ. ред. И. В. Балабина. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
10. Дубинкин Д.М., Бокарев А.И. Разработка методики определения нагрузок на силовую структуру карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 5(169). – С. 31-44. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.
11. 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: VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, October 19-21, 2021. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.
12. Литвин О.И., Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Стенин Д.В., Тюленев М.А. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 112-120. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
13. Сыркин И.С., Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю. Обоснование выбора симулятора для исследования автономного управления беспилотного карьерного самосвала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 48. – С. 72-97. – DOI 10.15593/2224-9397/2023.4.04.



14. Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом // Уголь. – 2023. – № 9(1171). – С. 75-83. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-9-75-8.
15. Хорешок А.А., Литвин О.И., Кацубин А.В., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. К определению рациональной области применения выемочно-погрузочного оборудования // Уголь. – 2023. – № 3(1165). – С. 91-95. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-3-91-95.
16. Some prerequisites for the use of autonomous heavy platforms in open-pit mining / D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok [et al.] // AIP Conference Proceedings : IV International Scientific And Practical Conference On Innovations In Engineering And Technology (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, 28–29 июня 2021 года. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040003. – DOI 10.1063/5.0105989.
17. 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: IV International scientific and practical conference on innovations in engineering and technology (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040009. – DOI 10.1063/5.0106051.
18. 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: IV International scientific and practical conference on innovations in engineering and technology (ISPCIET 2021), Veliky Novgorod, Russia, June 28-29, 2021. Vol. 2486. – Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 040017. – DOI 10.1063/5.0106089.
19. Dubinkin, D. Design development of autonomous mining dump trucks // E3S Web of Conferences : International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, May 16-19, 2023. Vol. 402. – Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 10022. – DOI 10.1051/e3sconf/202340210022.
20. Dubinkin D., Turgenev I. Choice of traction battery for mining dump trucks on electric draft // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 259-266. – DOI 10.31407/ijees13.134.
21. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В., Исмаилова Ш.Я. Тенденции развития грузовых платформ карьерных самосвалов // Горная промышленность. – 2023. – № 3. – С. 72-76. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.
22. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 11. – С. 8-12. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
23. 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 10.26160/2658-3305-2022-17-159-169.
24. Кузнецов, И.В. Оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Илья Витальевич, 2015. – 138 с.
25. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 12-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 408 с.



COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE LOADS ON THE FRONT AXLE WHEEL MOUNTING ELEMENTS OF AN AUTONOMOUS MINING DUMP TRUCK WITH A PAYLOAD CAPACITY OF 240 TONS AND BELAZ-7531

Dmitry I. Zakrasovsky, Irina A. Tarasyuk, Diana A. Safina, Mikhail O. Ovsyannikov, Vadim G. Nedobezhkin

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
21 September 2024

Revised:
31 October 2024

Accepted:
11 November 2024

Keywords: dump truck, wheel fasteners, hub, stud, clamp, APM joint

Abstract.

The article presents the results of comparing the loads on the front axle wheel mounting elements of the developed autonomous mining dump truck (ADT) with a load capacity of 240 tons and BelAZ-7531. During the research and development work, the search and analysis of existing technical solutions for the construction of mining dump trucks, including wheel mounting elements to the hub, is carried out. To confirm and compare the results of the studies of the loads of the wheel-to-hub mounting elements for the developed ADT with a load capacity of 240 tons, it was decided to carry out similar calculations of BelAZ-7531, as the closest analogue. Solid-state models have been developed to calculate the stud connections of the wheels of the ADT and BelAZ-7531. The determination of the loads on the wheel mounting elements was carried out in the APM Joint software. From the calculations, in order to meet the conditions of non-opening of the joint with 15 clamps, the ADT will require a tightening force of 145652 N, for BelAZ-7531 this value is 145610 N. At the same time, the safety margin coefficients were 2.14 and 2.65, respectively. According to the calculation results, the scheme for the ADT of 15 clamps almost corresponds to the BelAZ-7531 scheme, the difference is only in the safety factors and tightening torques due to differences in thread size. At the same time, it is possible to achieve similar values of the safety factor by choosing studs of an increased strength class. A smaller tightening torque is an advantage of the circuit for the ADT.

For citation Zakrasovsky D.I., Tarasyuk I.A., Safina D.A., Ovsyannikov M.O., Nedobezhkin V.G. Comparative assessment of the loads on the front axle wheel mounting elements of an autonomous mining dump truck with a payload capacity of 240 tons and BelAZ-7531. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2024;4(27):99-113. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-4-99-113

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 07.04.2022 № 075-11-2022-016 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons with a domestic traction drive for operation in an open-source digital mining system", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

References

1. Dubinkin D. M. M., Aksenov V. V., Pashkov D. A. Development trends of unmanned dump trucks. *Ugol'*. 2023;6(1168):72-79. DOI 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79. [In Russ.].
2. Voronov Y.E., Voronov A.Y., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Comparative assessment of the functioning quality of operating and robotized excavator-vehicle complexes of open-pit mines. *Ugol'*. 2023;11(1173):65-71. DOI 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71. [In Russ.].
3. Voronov A.Y., Khoreshok A. A., Voronov Y. E., Dubinkin D. M., Voronov A. Yu. Optimization of the parameters of excavator-automobile complexes of open-pit mines. *Russian mining industry*. 2022;5:92-98. DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-92-92-98. [In Russ.].



4. Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A., Aksenov V.V. Technical solutions of bearing systems (frames) of dump trucks as an object of intellectual property. *Ugol'*. 2024;5(1180):47-53. - DOI 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53. [In Russ.].
5. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import-independence of production of unmanned dump trucks. *Ugol'*. 2023;4(1166):42-48. - DOI 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48. [In Russ.].
6. Dubinkin D.M., Yalyshev A.B. Influence of the process of coal loading into the cargo platform on the load capacity utilization factor of the dump truck BelAZ-7530 (220 t). *Ugol'*. 2023;S12(1175):11-19. - DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19. [In Russ.].
7. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Litvin Y.O., Markov S.O., Tyulenev M.A. On the change in the productivity of hydraulic backhoes at different schemes of overburden loading into dump trucks // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal = Mining and Mineral Engineering*. 2024;4:26-34. DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34. [In Russ.].
8. Ostretsov A.V., Krasavin P.A., Voronin V.V. Tires and wheels for automobiles and tractors: Textbook on the discipline "Construction of automobile and tractor" for students of universities studying on specialty 190201 (150100) "Automobile and tractor engineering". – Moscow: Moscow State Technical University "MAMI" Publishing House, 2011, 85 p. [In Russ.].
9. Auto-tractor wheels: Reference book. I.V. Balabin (Ed.). Moscow: Mashinostroenie Publishing House, 1985, 272 p. [In Russ.].
10. Dubinkin D.M., Bokarev A.I. Development of the methodology for determining the loads on the force structure of the quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2023;5(169):31-44. DOI 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44. [In Russ.].
11. 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;315:03021.
12. Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V., Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of quarry hydraulic excavators. *Russian mining industry*. 2022;5:112-120. DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120. [In Russ.].
13. Syrkin I.S., Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu. Justification of the choice of simulator for the study of autonomous control of unmanned dump truck. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technologies, control systems*. 2023;48:72-97. DOI 10.15593/2224-9397/2023.4.04. [In Russ.].
14. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Dispatching in the quarry excavator-automobile complexes with unmanned transport. *Ugol'*. 2023;9(1171):75-83. DOI 10.18796/0041-5790-2023-9-75-8. [In Russ.].
15. Khoreshok A.A., Litvin O.I., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. To determination of the rational application area of excavation-loading equipment. *Ugol'*. 2023;3(1165):91-95. DOI 10.18796/0041-5790-2023-3-91-95. [In Russ.].
16. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A. et al. Some prerequisites for the use of autonomous heavy platforms in open-pit mining. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2486:040003. DOI 10.1063/5.0105989.
17. 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;2486:040009. DOI 10.1063/5.0106051.
18. 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;2486:040017. DOI 10.1063/5.0106089.
19. Dubinkin D. Design development of autonomous mining dump trucks. *E3S Web of Conferences*. 2023;402:10022. DOI 10.1051/e3sconf/202340210022.
20. Dubinkin D., Turgenev I. Choice of traction battery for mining dump trucks on electric draft. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2023;13(1):259-266. DOI 10.31407/ijeec13.134. [In Russ.].
21. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. Tendencies of development of cargo platforms of quarry dump trucks. *Russian mining industry*. 2023;3:72-76. DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76. [In Russ.].
22. Dubinkin D.M., Golofastova N.N. Engineering solutions in increasing the environmental safety of quarry transportation. *Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(11):8-12. DOI 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12. [In Russ.].
23. Dubinkin D.M., Turgenev I.A., Shakhmanov V.N. Features of creation of the battery-powered quarry dump truck on electric traction. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2022;17(1):159-169. DOI 10.26160/2658-3305-2022-17-159-169. [In Russ.].



24. Kuznetsov I.V. Estimation of the resource of metal structures of rear axles of dump trucks during operation at the Kuzbass open-pit mines. PhD thesis. Kemerovo, 2015, 138 p. [In Russ.].
25. Ivanov M.N., Finogenov V.A. Machine parts: Textbook for engineering specialties of universities: 12th edition. Moscow: Higher Institution Publishing House, 2008, 408 p. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Dmitry I. Zakrasovsky, Junior Researcher
e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru

Irina A. Tarasyuk, Junior Researcher
e-mail: homutovaia@kuzstu.ru

Diana A. Safina, Junior Researcher
e-mail: safinada@kuzstu.ru

Mikhail O. Ovsyannikov, Technician
e-mail: ovsyannikovmo@kuzstu.ru

Vadim G. Nedobezhkin, Junior Researcher
e-mail: nedobezhkinvg@kuzstu.ru

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