

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
GEOTECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 629.017:629.018+629.3.027.3

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-89-97

**ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЯ КОЛЕС
ПЕРЕДНЕЙ ОСИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ
220 ТОНН НА ИХ ПРОЧНОСТЬ****Закрасовский Дмитрий Иванович*,
Тарасюк Ирина Андреевна, Овсянников Михаил Олегович**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

*для корреспонденции: zakrasovskydi@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 сентября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

Ключевые слова:АРМ Joint, крепление колеса,
карьерный самосвал,
шпильчатое соединение**Аннотация.**

Одними из высоконагруженных узлов машины, в частности и карьерного самосвала являются элементы крепления колес. К элементам крепления относят резьбовые детали (гайки, шпильки или болты), дополнительно могут быть прижимы, которые используются для фиксации колес на ступице. Отмечается, что возможность определения влияния параметров резьбовых деталей и их количества на прочность шпильчатых (резьбовых) соединений, требуемые моменты затяжки позволяет обеспечить их оптимальный подбор, тем самым обеспечив безопасность движения машины. В предыдущем исследовании определены и рассчитаны действующие силы на переднее колесо карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн для расчетного случая для прямолинейного движения машины с боковым углом наклона. В данной статье для определения влияния применяется модуль АРМ Joint системы WinMachine. Исследование проводится в два этапа. На первом этапе задаются схемы геометрии с разным количеством шпильчатых соединений, при этом их параметры остались без изменений. На втором этапе задаются схемы с разными параметрами шпильчатых соединений, при этом их количество осталось без изменений. Результаты расчетов для каждого из этапов сводятся в таблицы. В результате исследования установлено, что увеличение количества шпильчатых соединений положительно и пропорционально влияет на распределение нагрузок между ними. При этом увеличение такого параметра резьбовых деталей, как размер резьбы, пропорционально увеличивает запас прочности шпильчатого соединения, однако повышается требуемый момент затяжки.

Для цитирования: Закрасовский Д. И., Тарасюк И. А., Овсянников М. О. Влияния параметров резьбовых деталей крепления колес передней оси карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн на их прочность // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 89-97. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-89-97, EDN: NTUMPE

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №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

Введение

Карьерные самосвалы (КС) на предприятиях являются объектами, которые создают опасные и вредные производственные факторы [1-3]. Безопасная работа КС обеспечивается работоспособностью и надежностью их узлов, систем и элементов. Одним из таких узлов являются элементы крепления колес [4-6]. К элементам крепления относят резьбовые детали (гайки, шпильки или болты), которые используются для фиксации колес на ступице. Если колесо бездисковое, то дополнительно в состав входят прижимы.

Элементы крепления колес должны обеспечивать достаточно точную установку колеса и не допускать их взаимное смещение в процессе движения [7].

На передней оси карьерных самосвалов с бездисковыми колесами точная установка в большей степени обеспечивается по конической поверхности ступицы с общепринятым в международной практике углом конуса 28 градусов (бездисковые колеса имеют соответствующую коническую поверхность) [7].

Отсутствие взаимного смещения обеспечивается фиксацией обода колеса прижимами, закрепляющимися с помощью резьбовых деталей с определенным моментом затяжки. Если неправильно подобрать резьбовые детали и их количество, высока вероятность их

разрушения в ходе эксплуатации при чрезмерном моменте затяжки либо возникновения взаимного смещения колеса и элементов крепления при минимальном моменте затяжки [7].

Для обеспечения надежности и работоспособности узла необходимо определить влияние параметров резьбовых деталей и их количества на прочность резьбовых соединений и требуемые моменты затяжки.

Проведение расчетов шпильчных соединений с различным количеством прижимов

Согласно предыдущим исследованиям с помощью описанного метода в APM Joint были определены нагрузки, действующие на элементы крепления колес передней оси карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн [8-11]. Для определения влияния количества шпилек на нагрузки, которые действуют на них и на момент затяжки, были разработаны схемы с различными количествами прижимов и с одинаковыми размерами резьбы.

Расчетный случай остается без изменений - прямолинейное движение КС при боковом угле наклона в 10 градусов [12-15]. Соответственно, из нагрузок действуют только опрокидывающий момент M_x и реакция силы R_y . Исходные данные для расчета взяты из предыдущего исследования и представлены в Таблице 1 [8, 16, 17].

В модуле APM Joint были заданы схемы для

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Table 1. Initial data for calculation

Параметр	Значение
Полезная масса машины, кг (m)	401500
Статический радиус колеса, м (r_d)	1,577
Вылет колеса, м (L)	0,4
Боковой угол наклона, град (γ)	10
Боковая сила на дополнительно нагруженном колесе, Н ($F_y^{нагр}$)	142028
Опрокидывающий момент на дополнительно нагруженном колесе, Н·м ($M_x^{нагр}$)	542846

Таблица 2. Результаты расчетов шпилек с различным количеством прижимов

Table 2. Calculation results of studs with different number of clamps

Количество прижимов, шт.	Сила затяжки, Н	Максимальная нагрузка на шпильку, Н	Момент затяжки, Н·м	Коэффициент запаса прочности под максимальной нагрузкой
9	246210	345852	1546	1,27
10	214711	301977	1348	1,45
11	202563	284606	1272	1,54
12	180411	253988	1133	1,73
13	167891	236249	1054	1,86
14	154975	154975	973	2,01
15	145652	204938	914	2,14

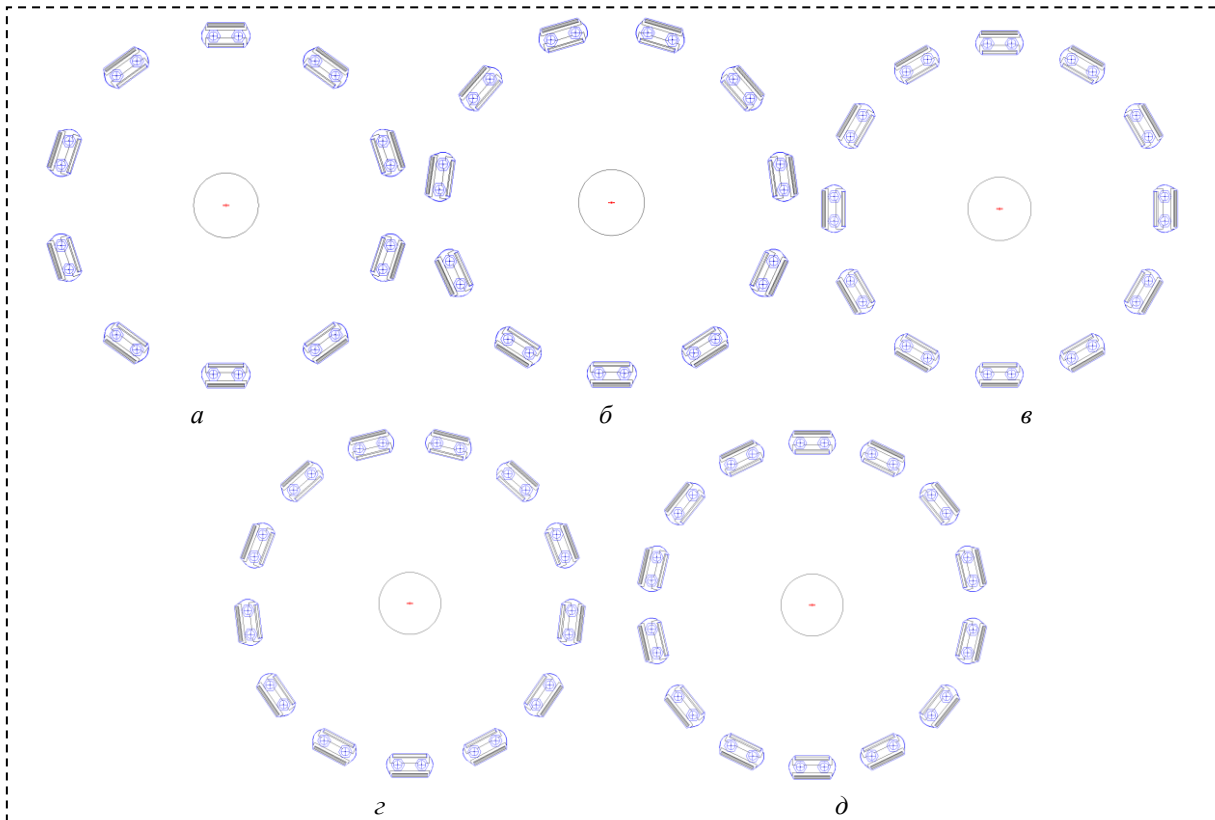


Рис. 1. Часть схем для расчета шпилек:

a – 10 прижимов (20 шпилек), *б* – 11 прижимов (22 шпильки), *в* – 12 прижимов (24 шпильки), *г* – 13 прижимов (26 шпилек), *д* – 14 прижимов (28 шпилек)

Fig. 1. Part of the schemes for calculating studs:

a – 10 clamps (20 pins), *б* – 11 clamps (22 pins), *в* – 12 clamps (24 pins), *г* – 13 clamps (26 pins), *д* – 14 clamps (28 pins)

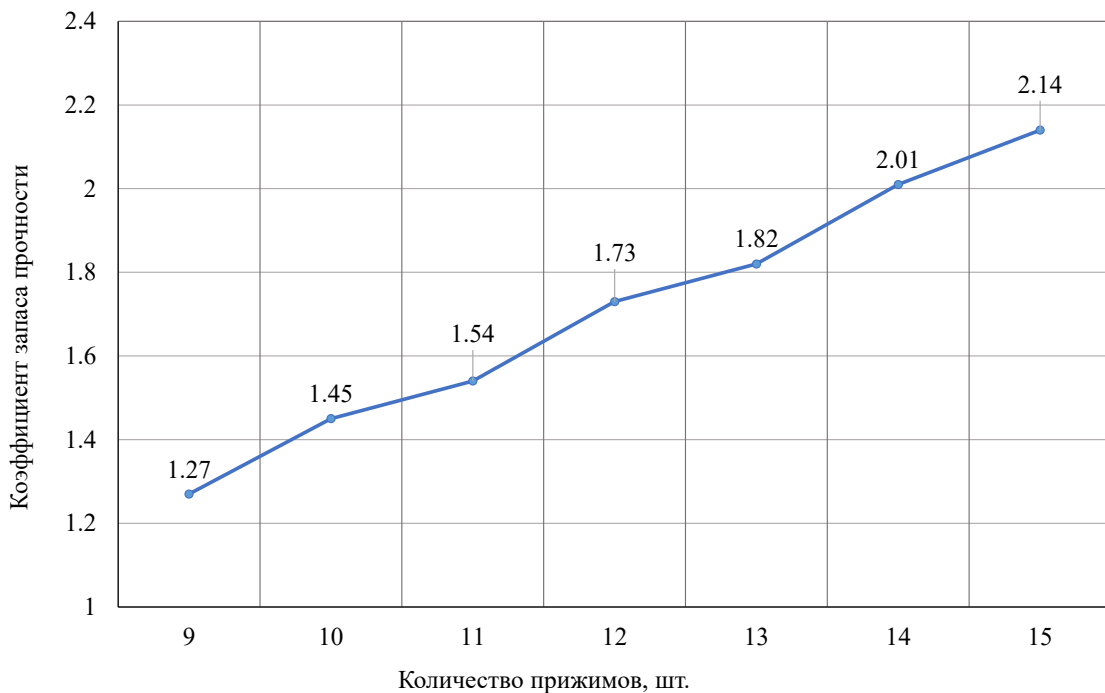


Рис. 2. Изменение коэффициента запаса прочности от количества прижимов

Fig. 2. Variation of safety factor with the number of clamps

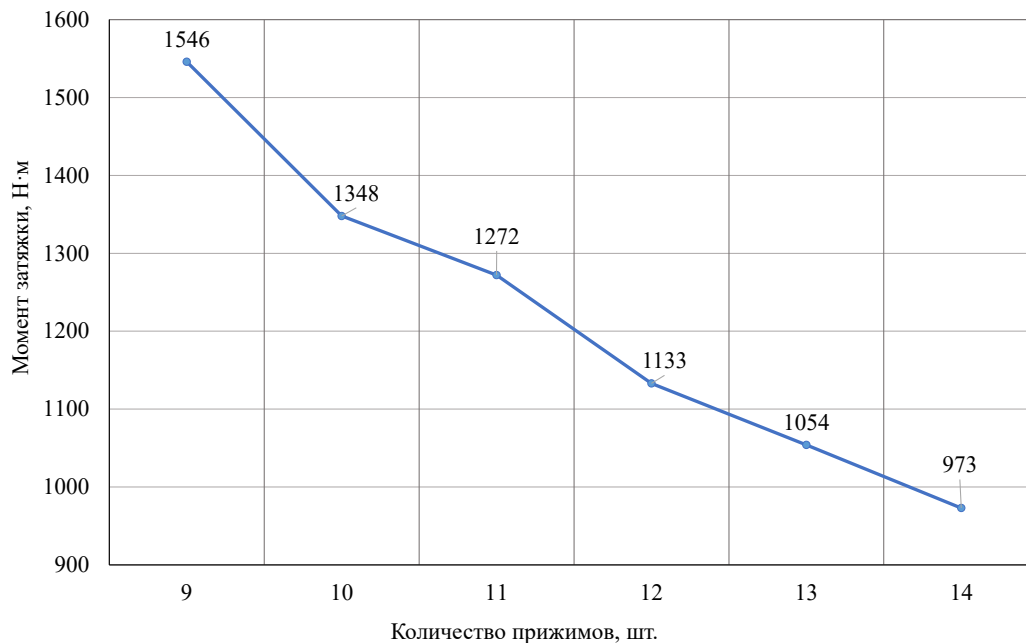


Рис. 3. Изменение момента затяжки от количества прижимов
 Fig. 3. Variation of tightening torque with number of clamps

Таблица 3. Результаты расчета шпилек с различным размером резьбы
 Table 3. Calculation results for studs with different thread sizes

Размер резьбы, мм	Сила затяжки, Н	Максимальная нагрузка на шпильку, Н	Момент затяжки, Н·м	Коэффициент запаса прочности
24	180411	253988	912	1,09
27	180411	253988	1015	1,41
30	180411	253988	1133	1,73
33	180411	253988	1236	2,14
36	180411	253988	1353	2,52

расчета количества прижимов от 9 до 15 штук (Рис. 1): размешены шпильки, указаны поверхности сопряжения прижимов с ободом, размешены реакции сил $R_y^{\text{нагр}}$ и опрокидывающие моменты $M_x^{\text{нагр}}$. Материал шпильки и дополнительные данные для расчета взяты из предыдущего исследования [8, 18]. Размер резьбы шпильки задан М30.

Результатами расчета являются отчеты по нагрузкам, данные из которых взяты для дальнейших исследований и сведены в Таблицу 2.

Согласно полученным данным, при увеличении количества шпилек уменьшается сила их затяжки для соблюдения условий нераскрытия и сдвига стыка вследствие повышения распределения нагрузки между ними. Соответственно, уменьшаются момент затяжки и максимальная нагрузка, что способствует повышению коэффициента запаса прочности шпильки под максимальной нагрузкой.

Данные коэффициентов запасов прочности при максимальной нагрузке из таблицы представлены в виде графика (Рис. 2), из

которого следует, что количество прижимов с коэффициентом запаса прочности связаны прямой зависимостью.

Аналогично представлены данные требуемых моментов затяжки из таблицы в виде графика (Рис. 3), из которого следует, что количество прижимов с требуемым моментом затяжки связаны обратной зависимостью.

Проведение расчетов шпильчатых соединений с разным размером резьбы

Параметры резьбового соединения тоже влияют на его прочность, к ним относятся: размер резьбы, материал и форма. В АРМ Joint не реализована возможность задавать форму шпилек, а рассмотрение влияния материала в подобных задачах не является приоритетным, при этом, если шпильки в элементах крепления колес используются класса прочности 8.8 [7], то в модуле были заданы схемы из 12 прижимов для расчета шпилек разных диаметров резьбы от 24 мм до 36 мм. Результатами расчета являются отчеты по нагрузкам, данные из которых взяты для дальнейших исследований и сведены в Таблицу 3.

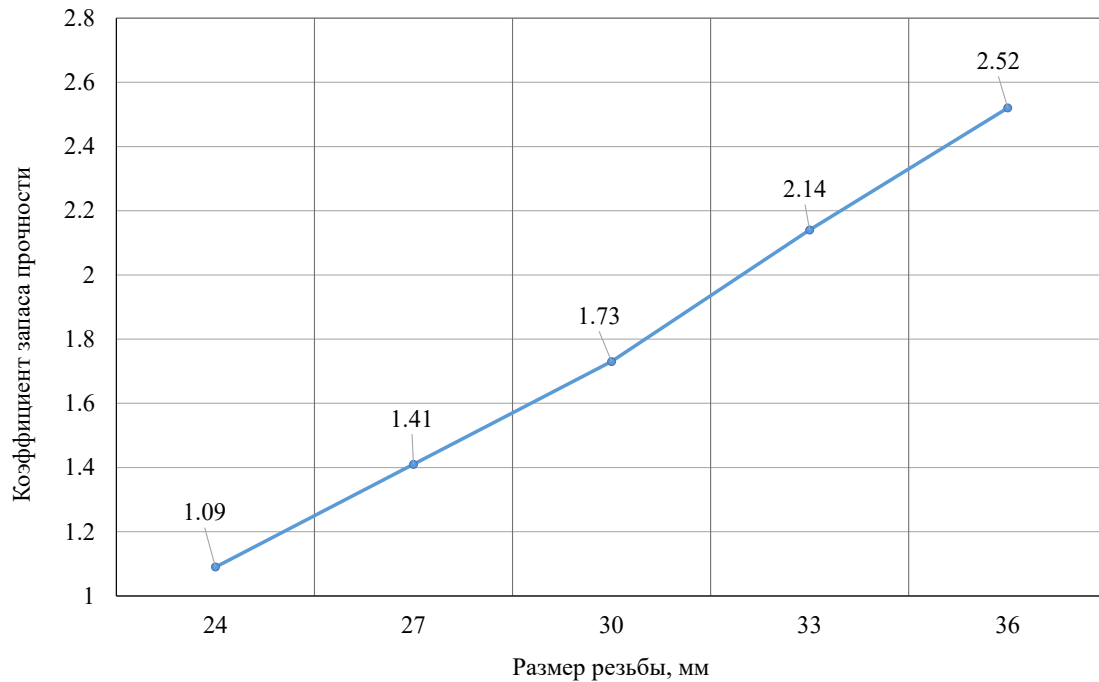


Рис. 4. Изменение коэффициента запаса прочности от размера резьбы
Fig. 4. Variation of safety factor with thread size

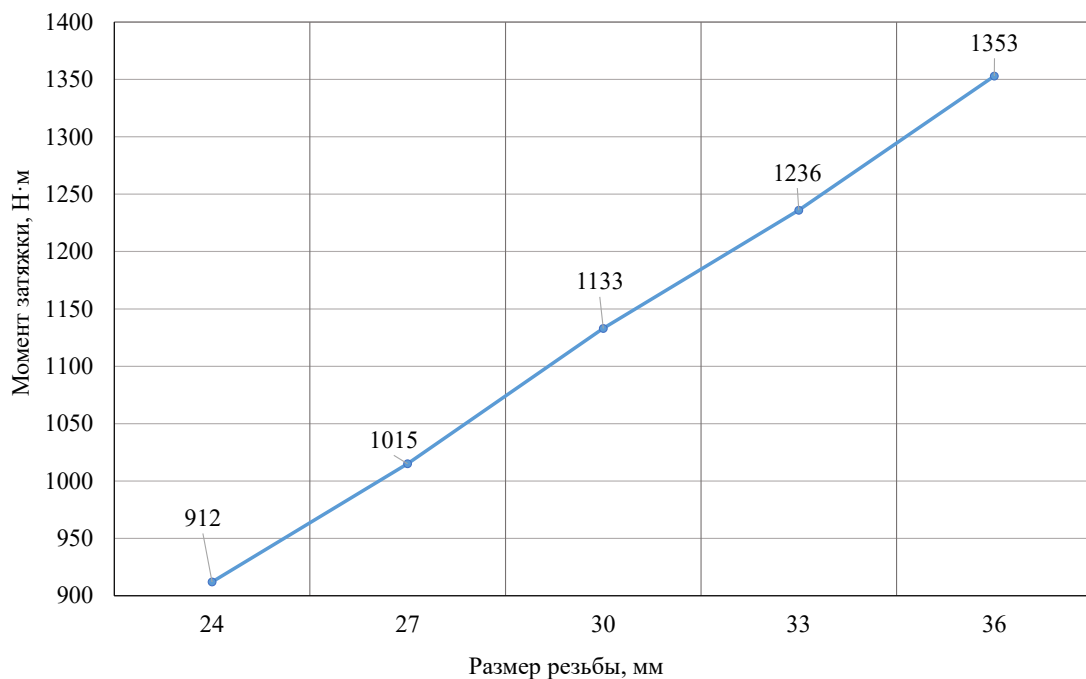


Рис. 5. Изменение момента затяжки от размера резьбы
Fig 5. Variation of tightening torque by thread size

Согласно полученным данным, увеличение диаметра резьбы шпилек способствует повышению их коэффициента запаса прочности, но при этом увеличивается их момент затяжки для соблюдения условий нераскрытия и сдвига стыка. Применение шпилек большого размера резьбы не всегда целесообразно, так как это может потребовать внесения значительных изменений в конструкцию и применения

специального инструмента для обеспечения требуемого момента затяжки [19].

Данные коэффициентов запасов прочности при максимальной нагрузке из таблицы представлены в виде графика (Рис. 4), из которого следует, что размер резьбы с коэффициентом запаса прочности связаны прямой зависимостью.

Аналогично представлены данные требуемых моментов затяжки из таблицы в виде графика (Рис. 5), из которого следует, что размер резьбы с требуемым моментом затяжки связаны прямой зависимостью.

Выводы:

С помощью описанного метода определены нагрузки, действующие на элементы крепления колес передней оси КС грузоподъемностью 220 тонн при их различном количестве и различном применяемом размере резьбы.

Увеличение количества прижимов способствует большему распределению нагрузок между шпильками, вследствие чего уменьшается сила затяжки по обратной зависимости и увеличивается коэффициент запаса прочности под максимальной нагрузкой по прямой зависимости.

При этом увеличение размера резьбы способствует повышению запаса прочности, но требует большего момента затяжки по прямым зависимостям, постановка шпилек большого размера резьбы не всегда целесообразна, так как это может потребовать внесения значительных изменений в конструкцию и применения специального инструмента для обеспечения требуемого момента затяжки.

Целью дальнейших исследований является определение:

- нагрузок на элементы крепления колеса к ступицам БелАЗ грузоподъемностью 220 тонн и 240 тонн;
- нагрузок на элементы крепления колеса к ступице при других расчетных случаях.

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. Автотракторные колеса: Справочник / Под общ. Ред. А18 И. В. Балабина. М. : Машиностроение, 1985. 272 с.
8. Любимов О. В., Закрасовский Д. И., Сафина Д. А., Овсянников М. О. Определение нагрузок на элементы крепления колес передней оси карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. №4 (164). С. 42–49.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Рахаев С. М., Газизуллин Р. Л., Карташов А. Б., Дубинкин Д. М., Зеляева Е. А. Выбор нагрузочных режимов на начальных этапах проектирования несущих систем (рам) карьерных самосвалов // Техника и технология горного дела. 2023. № 4(23). С. 41–55. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-41-55.
14. Карташов А. Б., Арутюнян Г. А., Киселев П. И., Зайцев Л. А., Попов И. П., Дубинкин Д. М., Тарасюк И. А. Синтез рациональных параметров систем телескопической подвески и рулевого управления карьерного автосамосвала грузоподъемностью до 240 тонн // Техника и технология горного дела. 2023. № 4(23). С. 56–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-56-75.
15. 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.

16. Дубинкин Д. М., Исмаилова Ш. Я. Анализ технических характеристик карьерных самосвалов грузоподъемностью от 218 т до 255 т // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23–24 ноября 2022 года / Редколлегия: А. А. Хорешок (отв. редактор), А. И. Фомин [и др.]. Кемерово : Кузбасский государственный технический

университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 4061–4066.

17. 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.

18. АРМ Winmachine // АПИМ URL: <https://apm.ru/> (дата обращения: 01.09.2024).

19. Иванов М. Н., Финогенов В. А. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. 12-е изд. испр. М.: Высш. шк.; 2008. 408 с.

© 2024 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:

Закрасовский Дмитрий Иванович – младший научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru

Тарасюк Ирина Андреевна – младший научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Овсянников Михаил Олегович – техник, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Заявленный вклад авторов:

Закрасовский Дмитрий Иванович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Тарасюк Ирина Андреевна – анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Овсянников Михаил Олегович – анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE THREADED FASTENING PARTS OF THE FRONT AXLE WHEELS OF A MINING DUMP TRUCK WITH A LOAD CAPACITY OF 220 TONS ON THEIR STRENGTH

Dmitry I. Zakrasovsky,
Irina A. Tarasyuk, Mikhail O. Ovsyannikov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

for correspondence: zakrasovskydi@kuzstu.ru



Article info
Received:

Abstract.

One of the highly loaded components of the machine, in particular, of the dump truck, are the wheel mounting elements. The fastening elements include threaded parts (nuts, studs or bolts), additionally there may be clamps that are used to fix the wheels on the hub. It is noted that the ability to determine

01 September 2024

Accepted for publication:
29 September 2024

Accepted:
10 October 2024

Published:
24 October 2024

Keywords: APM Joint, wheel
mount, dump truck, stud joint..

the influence of the parameters of threaded parts and their number on the strength of the stud (threaded) connections, the required tightening torques allows for their optimal selection, thereby ensuring the safety of the machine. In the previous study, the acting forces on the front wheel of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons were determined and calculated for the design case for rectilinear movement of a machine with a lateral tilt angle. In this article, the APM Joint module of the WinMachine system is used to determine the impact. The study is conducted in two stages. At the first stage, geometry schemes with different numbers of stud connections are set, while their parameters remain unchanged. At the second stage, schemes with different parameters of stud connections are set, while their number remains unchanged. The calculation results for each of the stages are summarized in tables. As a result of the study, it was found that an increase in the number of hairpin joints has a positive and proportional effect on the distribution of loads between them. At the same time, an increase in such a parameter of threaded parts as the thread size proportionally increases the safety margin of the stud joint, however, the required tightening torque increases

For citation: Zakrasovsky D.I., Tarasyuk I.A., Ovsyannikov M.O. The influence of the parameters of the threaded fastening parts of the front axle wheels of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons on their strength. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):89-97. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-89-97, EDN: NTUMPE

Acknowledgments

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle «Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life» (the «Clean Coal – Green Kuzbass» Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project «Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a payload of 220 tons» in terms of research, development and experimental-design work.

REFERENCES

1. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Development trends of unmanned quarry dump trucks. *Coal*. 2023; 6(1168):72–79. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2023-6-72-79.
2. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Comparative assessment of the performance quality of existing and robotic excavator-automobile complexes of open pit mines. *Coal*. 2023; 11(1173):65–71. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2023-11-65-71.
3. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M., Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-truck complexes of open pit mines. *Mining industry*. 2022; 5:92–98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
4. Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A., Aksenov V.V. Technical solutions for load-bearing systems (frames) of quarry dump trucks as an object of intellectual property. *Coal*. 2024; 5(1180):47–53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.
5. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Import independence of production of unmanned mining trucks. *Coal*. 2023; 4(1166):42–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-42-48.
6. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Influence of the process of loading coal into a cargo platform on the coefficient of utilization of the carrying capacity of the BelAZ-7530 mining dump truck (220 tons). *Coal*. 2023; S12(1175):11–19. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2023-S12-11-19.
7. Automotive and tractor wheels: Handbook / Under the general editorship of A.I.V. Balabina. M.: Mashinostroenie; 1985. 272 p.
8. Lyubimov O.V., Zakrasovsky D.I., Safina D.A., Ovsyannikov M.O. Determination of loads on the fastening elements of the front axle wheels of a quarry dump truck with a lifting capacity of 220 tons. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 4(164):42–49.
9. Syrkin I.S., Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu. Justification for the choice of a simulator for studying the autonomous control of an unmanned quarry dump truck. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems*. 2023; 48:72–97. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.4.04.
10. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Dispatching in quarry excavator-truck complexes with unmanned transport.

Coal. 2023; 9(1171):75–83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-8.

11. Khoreshok A.A., Litvin O.I., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. On the definition of a rational area of application of mining and loading equipment. *Coal*. 2023; 3(1165):91–95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-91-95.

12. Dubinkin D.M., Bokarev A.I. Development of a methodology for determining loads on the power structure of quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2023; 5(169):31–44. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-31-44.

13. Rakhaev S.M., Gazizullin R.L., Kartashov A.B., Dubinkin D.M., Zelyaeva E.A. Selection of loading modes at the initial stages of designing load-bearing systems (frames) of quarry dump trucks. *Mining Engineering and Technology*. 2023; 4 (23):41–55. DOI: 10.26730 / 2618-7434-2023-4-41-55.

14. Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Kiselev P.I., Zaitsev L.A., Popov I.P., Dubinkin D.M., Tarasyuk I.A. Synthesis of rational parameters of telescopic suspension and steering systems of a quarry dump truck with a lifting capacity of up to 240 tons. *Mining Engineering and Technology*. 2023; 4(23):56–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-56-75.

15. Ostretsov A.V., Krasavin P.A., Voronin V.V. Tires and wheels for cars and tractors: A tutorial on the

subject "Car and tractor design" for university students studying in the specialty 190201 (150100) "Car and tractor engineering". М.: MSTU "MAMI"; 2011. 85 p.

16. Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. Analysis of the technical characteristics of quarry dump trucks with a carrying capacity from 218 tons to 255 tons. *Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2022: Collection of materials of the XIX International scientific and practical conference*. Kemerovo, November 23-24, 2022 / Editorial board: A.A. Khoreshok (editor-in-chief), A.I. Fomin [et al.]. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2022. Pp. 4061-4066.

17. Kuznetsov I.V. Assessment of the resource of metal structures of rear axles of dump trucks during operation in open pits of Kuzbass: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Kuznetsov Ilya Vitalievich, 2015. 138 p.

18. APM Winmachine // APM URL: <https://apm.ru/> (date of access: 01.09.2024).

19. Ivanov M.N., Finogenov V.A. Machine parts: Textbook for mechanical engineering specialties of universities. 12th ed. corrected. M.: Higher. school; 2008. 408 p.

© 2024 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:

Dmitry I. Zakrasovsky – postgraduate student, Junior Researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru.

Irina A. Tarasyuk – Junior Researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation)

Mikhail O. Ovsyannikov – Techniques, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation)

Contribution of the authors:

Dmitry I. Zakrasovsky – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Irina A. Tarasyuk – data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Mikhail O. Ovsyannikov – data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

All authors have read and approved the final manuscript.

