Оригинальная статья

Original Paper

УДК 622.684 © Д.М. Дубинкин✉, Д.И. Закрасовский, 2025

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

UDC 622.684 © D.M. Dubinkin✉, D.I. Zakrasovsky, 2025

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Анализ дефектов картера заднего моста карьерного самосвала БелАЗ 7530*

Analysis of defects in the crankcase of the rear axle of the BELAZ 7530 dump truck

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-58-62

ДУБИНКИН Д.М.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ЗАКРАСОВСКИЙ Д.И.
Младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru

В статье представлены результаты анализа дефектов картера заднего моста БелАЗ 7530. Эксплуатация карьерных самосвалов в сложных условиях разработки полезных ископаемых требует применения более точных подходов к проектированию. Один из этапов проектирования заключается в изучении специфики эксплуатации существующих аналогичных машин. Картер заднего моста является силовым элементом заднего моста. Согласно статистике отказов, затраты на ремонт картера могут составлять 35% и более от общего ремонтного фонда времени, а частота возникновения трещиноподобных дефектов картера может составлять 30%, поэтому конструкция представляет большую опасность потери ресурса в процессе эксплуатации. На текущий момент авторы ведут разработку вновь проектируемой техники, поэтому необходимо уделить особое внимание проектированию картера, и один из этапов – анализ условий эксплуатации и дефекты аналогичных машин, наиболее близким в таком случае является БелАЗ 7530. Согласно результатам осмотра, опроса и другим исследованиям, для картера наиболее характерны трещиноподобные дефекты сварных соединений, намного реже возникают прогибы. Разрушение сварных соединений происходит в местах, через которые передаются нагрузки на поперечину рамы, а именно: между барабаном и фланцами; между барабаном и изделиями, на которые устанавливаются элементы подвески заднего моста. При этом дефекты сварных соединений в конструкции обычно возникают спустя

** 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») утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.*

несколько лет работы машины при соблюдении условий эксплуатации, на их скорость развития оказывают влияние как технологические, так и технические причины. При последующей разработке картера для проверки надежности необходим расчет усталостной долговечности конструкции. Кроме расчета усталостной долговечности необходимо проведение модального анализа для предупреждения уже резонанса конструкции.

Ключевые слова: *карьерный самосвал, мост, картер моста, дефекты, условия эксплуатации.*

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Закрасовский Д.И. Анализ дефектов картера заднего моста карьерного самосвала БелАЗ 7530 // Уголь. 2025;(12):58-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-58-62.

Abstract

The article presents the results of the analysis of defects in the BelAZ 7530 rear axle crankcase. The operation of mining dump trucks in difficult mining conditions requires the use of more precise design approaches. One of the design stages is to study the specifics of the operation of existing similar machines. The rear axle crankcase is the power element of the rear axle. According to failure statistics, the cost of repairing the crankcase can be 35% or more of the total repair time, and the frequency of crack-like defects in the crankcase can be 30%, so the design poses a great risk of resource loss during operation. At the moment, the authors are developing newly designed equipment, so it is necessary to pay special attention to the design of the crankcase, and one of the stages is the analysis of the operating conditions and defects of similar machines, the closest in this case is the BelAZ 7530. According to the results of the inspection, survey and other studies, crack-like defects in welded joints are most characteristic of the crankcase, and deflections are much less common. The destruction of welded joints occurs in places through which loads are transmitted to the frame crossbar, namely: between the drum and the flanges; between the drum and the products on which the suspension elements of the rear axle are installed. At the same time, defects in welded joints in the structure usually occur after several years of operation of the machine, subject to operating conditions, and their rate of development is influenced by both technological and technical reasons. During the subsequent development of the crankcase, a calculation of the fatigue life of the structure is necessary to verify reliability. In addition to calculating the fatigue life, it is necessary to conduct a modal analysis to prevent the resonance of the structure.

Keywords

Dump truck, bridge, bridge crankcase, defects, operating conditions.

Acknowledgements

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 with the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev's "Comprehensive scientific and technical program for a full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to the life of the population" (KNTP "Clean coal – Green Kuzbass") approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022. No. 1144-r within the framework of the event "Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a lifting capacity of 220 tons" in terms of carrying out research and development work.

For citation

Dubinkin D.M., Zakrasovsky D.I. Analysis of defects in the crankcase of the rear axle of the BELAZ 7530 dump truck. *Ugol'*. 2025;(12):58-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-58-62.

ВВЕДЕНИЕ

Карьерные самосвалы (КС) эксплуатируются в сложных горно-геологических и горно-технологических условиях, которые зависят от месторождений полезных ископаемых [1, 2]. Данные условия в границах определенного месторождения влияют на выбор основных элементов конструкции КС (подвеска, трансмиссия, грузовая платформа и т.д.). К горно-геологическим и горно-технологическим условиям относятся: колебания при движении КС, расстояние транспортирования, уклон технологической дороги, состояние технологических дорог, скорость движения по технологическим дорогам, масса перевозимой горной породы и т.д.

С целью обеспечения требуемых надежности и эффективности при различных условиях эксплуатации требуется применение более точных подходов к проектированию КС. Например, отказы основных элементов конструкции машины должны проявляться только после заданного ресурса, при этом на одном уровне с надежностью необходимо достичь минимальной массы для повышения эффективности КС [3].

Одним из классических этапов проектирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, с целью совершенствования нового продукта, является изучение условий эксплуатации существующих аналогичных технических решений изделий. Таким образом, при проектировании новых КС стоит учитывать условия эксплуатации аналогичных существующих КС, при этом особое внимание необходимо уделять взаимосвязям процесса эксплуатации и отказам (возникновению дефектов) основных элементов конструкции машины, а также удовлетворению в перспективе потребительским свойствам в отношении заданного ресурса [3, 4].

Задний мост является несущей системой КС, в состав которого входит картер заднего моста (КЗМ). Согласно статистике отказов КС, эксплуатирующихся на разрезах Кузбасса, из основных металлоконструкций КС затраты на ремонт КЗМ могут составлять 35% и более от общего ремонтного фонда времени, а частота возникновения трещиноподобных дефектов КЗМ может составлять 30% от общего числа [5, 6].

КузГТУ совместно с ПАО «КАМАЗ» и МГТУ им. БАУМАНА ведут работы по разработке и созданию беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемно-

стью 220 т, поэтому необходимо уделить особое внимание проектированию КЗМ, и один из этапов – анализ условий эксплуатации и дефектов аналогичных машин. За аналог принят БелАЗ 7530.

Целью работы является анализ дефектов картера заднего моста карьерного самосвала БелАЗ 7530.

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ КЗМ БЕЛАЗ 7530

КЗМ является силовым элементом заднего моста и предназначен для передачи на поперечину рамы через компоненты задней подвески различных усилий, действующих на задние колеса, которые устанавливаются на редукторы мотор-колес.

Элементы подвески воспринимают следующие нагрузки [6]:

– пневмогидравлические рессоры – вертикальные нагрузки;

– поперечная штанга подвески – поперечные нагрузки;

– центральный шарнир – вертикальные, поперечные и продольные нагрузки.

По несущим системам модель БелАЗ 7530 (в том числе КЗМ) можно считать одной из относительно надежных в сравнении с моделями БелАЗ грузоподъемностью свыше 130 т, однако и у этой модели имеются проблемы прочности и долговечности несущих систем [3, 7, 8].

По результатам визуального осмотра самосвалов и отзывов сотрудников ремонтной службы, для КЗМ БелАЗ 7530 наиболее характерны трещиноподобные дефекты сварных соединений (или иначе, разрушение сварных соединений), намного реже – прогибы. Дефекты сварных соединений чаще всего возникают между барабаном и фланцами, на которые устанавливаются электромотор-колеса (*рис. 1*), а также между барабаном и изделиями (опора пневмогидравлической рессоры задней подвески и опора реактивной штанги), на которые устанавливаются элементы подвески заднего моста (*рис. 2, 3*), именно в тех местах, через которые передаются различные усилия на поперечину рамы.

Рис. 1. Усиления на сварном шве барабана и фланца

Fig. 1. Reinforcements on the weld seam of the drum and flange

Рис. 2. Заваренная трещина между барабаном и опорой пневмогидравлической рессоры задней подвески

Fig. 2 Welded crack between the drum and the support of the pneumatic hydraulic spring of the rear

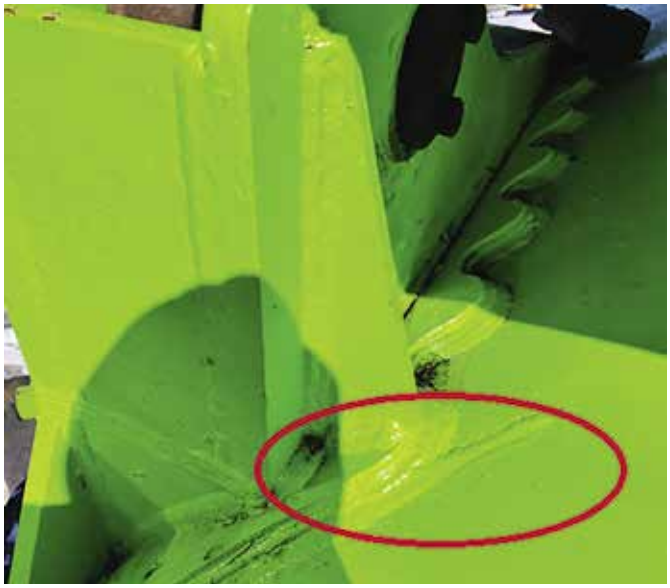

Рис. 3. Заваренная трещина между барабаном и опорой реактивной штанги

Fig. 3. Welded crack between drum and reaction rod support

Дефекты сварных соединений обычно возникают спустя несколько лет работы машины при соблюдении условий эксплуатации, что подтверждается другим исследованием [3], где отказы для КЗМ БелАЗ 7530 связаны с разрушением сварных соединений и в худшем случае возникают через 225000 км пробега. При этом исследователи обращают внимание на то, что ресурс в км (ходимость) до отказа зависит от условий эксплуатации (отношением количества циклов погрузки-разгрузки к расстоянию транспортировки), и для одной и той же модели машины он может составлять как 225000 км (БелАЗ 7530 «породовоз»), так и 500000 км (БелАЗ 7530 «углевоз»).

Стоит отметить, что аналогичные трещиноподобные дефекты характерны и в машинах меньшей грузоподъемности БелАЗ 7513 [6]. Прогибы возникают в результате ударов картера заднего моста о препятствия (например, камни) на дороге, однако это не так беспокоит эксплуатационников, как дефекты сварных соединений.

ПРИЧИНЫ ТРЕЩИНОПОДОБНЫХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КЗМ

Чаще всего выходы из строя КЗМ БелАЗ 7530 связаны с трещиноподобными дефектами сварных соединений вследствие накопления усталостных повреждений. Различают малоцикловую и многоцикловую усталостные повреждения.

Малоцикловая усталость возникает при напряжениях, которые превышают предел текучести материала, число циклов до образования трещины не превышает 10^4.

Многоцикловая усталость возникает при напряжениях ниже предела текучести материала, число циклов до образования трещины – свыше 10^5-10^6.

По исследованию [6], эксплуатация заднего моста БелАЗ 7530, в том числе и КЗМ, осуществляется на границе между малоцикловой и многоцикловой усталостями, при этом максимально допустимые уклоны технологической дороги по критерию прочности для машины составили 82-102‰, превышение данного значения приводит к значительному снижению ресурса.

Усталостные повреждения КЗМ возникают из-за действия статических и динамических нагрузок на конструкцию в процессе эксплуатации машины [6].

К статическим нагрузкам можно отнести веса собственной машины и перевозимой горной породы, а также крутящие моменты от редукторов мотор-колес.

К динамическим нагрузкам можно отнести: внешние силы, которые возникают в результате изменения режимов движения машины, а также в результате движения по неровностям дороги; вибрации редукторов мотор-колес и электродвигателей; внешние силы при загрузке машины горной массой экскаватором.

Установлено, что наибольшие и наиболее опасные напряжения в металлоконструкциях КС, в том числе и в КЗМ, возникают при загрузке экскаватором и в режиме движения, при прохождении машиной участка трассы на подъем с поворотом [3, 5, 9, 10].

Выделяют как технологические, так и технические причины статических и динамических нагрузок. К технологическим относятся горно-геологические и горно-технологические условия. К техническим – вибрации от редукторов мотор-колес и применяемых электродвигателей.

В последнее время из динамических нагрузок особый интерес у исследователей вызывают вибрации, которые неизбежно возникают при движении КС, что приводит к отклику заднего моста [6, 11, 12]. Когда частота вибрации дороги равна или кратна собственной частоте заднего моста, то данная несущая система, в том числе и КЗМ, будет резонировать. Резонанс порождает сложное напряженно-деформированное состояние, которое приводит не только к неупругим деформациям или повреждению самой несущей системы, но и создает значительный механический шум, что может нарушить нормальное функционирование заднего моста.

Можно выделить как технологические, так и технические причины возникновения вибраций [6].

Техническая причина вибраций связана с качеством изготовления редукторов мотор-колес: наличие дисбаланса масс компонентов планетарной передачи, качества изготовления и степени износа подшипников. Вибрационная нагрузка, передаваемая от редукторов мотор-колес, зависит и от мощности применяемого электродвигателя.

Технологические причины связаны с эксплуатацией груженого КС по технологическим дорогам, состояние которых не соответствует требованиям стандартов. Помимо этого, на величину «технологических» вибраций оказывают влияние: глубина разработки, расстояние транспортирования, полезный объем грузовой платформы, скорость движения машины.

Таким образом, при последующей разработке вновь проектируемой техники, а именно в части КЗМ, конструкция должна быть одновременно надежной и относительно легкой по массе, что является компромиссным требованием. Для проверки надежности необходим расчет усталостной долговечности конструкции, на которую действуют различные статические и динамические нагрузки. Кроме расчета усталостной долговечности необходимо проведение модального анализа для расчета собственных частот КЗМ моста и сравнения с частотами вибрации дороги с целью определения – приведет ли задний мост к резонансу в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные дефекты КЗМ БелАЗ 7530 связаны с трещиноподобными дефектами (разрушение сварных соединений) вследствие накопления усталостных повреждений в местах, через которые передаются нагрузки на поперечину рамы, а именно: между барабаном и фланцами; между барабаном и изделиями, на которые устанавливаются элементы подвески заднего моста (опора пневмогидравлической рессоры задней подвески и опора реактивной штанги).

Разрушение сварных соединений КЗМ БелАЗ 7530 возникает спустя несколько лет при соблюдении условий эксплуатации, вследствие статических и динамических нагрузок, на их скорость развития оказывают влияние как технологические, так и технические причины.

Эксплуатация заднего моста БелАЗ 7530, в том числе и КЗМ, осуществляется на границе между малоцикловой и многоцикловой усталостями.

При последующей разработке КЗМ конструкция должна быть одновременно надежной и относительно легкой по массе. Для проверки надежности необходим расчет усталостной долговечности конструкции. Кроме расчета усталостной долговечности необходимо проведение модального анализа для предупреждения резонанса конструкции.

Целью дальнейших исследований являются:

– определение параметров КЗМ с целью их последующего обоснования, которые влияют на его прочностные характеристики;

– изучение существующих методов оценки долговечности металлоконструкций КС;

– изучение существующих методов проведения модального анализа металлоконструкций КС;

– определение НДС КЗМ БелАЗ 7530 при различных режимах движения машины.

Список литературы • References

1. Пашков Д.А., Закрасовский Д.И., Дубинкин С.Д. Технические решения автономных карьерных самосвалов // Техника и технология горного дела. 2023. № 3(23). С. 51-70. DOI:10.26730/2618-7434-2023-3-51-70.
   Pashkov D.A., Zakrasovsky D.I., Dubinkin S.D. Technical solutions for autonomous mining dump trucks. *Mining engineering and technology*. 2023;3(23):51-70. (In Russ.). DOI:10.26730/2618-7434-2023-3-51-70.
2. Обоснование эффективности эксплуатации большегрузных автосамосвалов на разрезах по критерию долговечности заднего моста / И.А. Паначев, Г.В. Широколобов, И.В. Кузнецов и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6(118). С. 106-114.
   Panachev I.A., Shirokolobov G.V., Kuznetsov I.V., Shirokolobova A.G. Justification of the efficiency of operation of heavy-duty dump trucks on sections according to the criterion of durability of the rear axle. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016;6(118):106-114. (In Russ.).
3. Статистика отказов высоконагруженных узлов карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн / А.И. Бокарев, В.А. Дианов, А.Б. Карташов и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4(164). С. 23-31. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-23-31.
   Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Statistics of failures of highly loaded components of dump trucks with a lifting capacity of 220 tons // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;4(164):23-31. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-23-31. (In Russ.).
4. Паначев И.А., Кузнецов И.В. К методике сохранения ресурса металлоконструкций заднего моста подвески большегрузных автосамосвалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. С. 82-90.
   Panachev I.A., Kuznetsov I.V. On the methodology for preserving the resource of metal structures of the rear suspension axle of heavy-duty dump trucks. *Physico-technical problems of mining*. 2015;(2): 82-90. (In Russ.).
5. Паначев И.А., Кузнецов И.В. О трещинообразовании в металлоконструкциях большегрузных автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 3(36). С. 14-21.
   Panachev I.A., Kuznetsov I.V. On cracking in metal structures of heavy-duty dump trucks during operation in the Kuzbass mines. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2018;3(36):14-21. (In Russ.).
6. Кузнецов И.В. Оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса: специальность 05.05.06 «Горные машины»: дис. … канд. техн. наук / Кузнецов Илья Витальевич, 2015. 138 с.
7. Паначев И.А., Кузнецов И.В. Анализ ресурса несущих элементов задних мостов карьерных самосвалов в процессе их эксплуатации при различных значениях руководящего уклона трассы // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2019. № 3(40). С. 13-20.
   Panachev I.A., Kuznetsov I.V. Resource analysis of the bearing elements of the rear axles of mining dump trucks during their operation at various values of the steering slope of the highway. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2019;3(40): 13-20. (In Russ.).
8. Разработка методики определения основных геометрических параметров гидравлической системы рулевого управления карьерного самосвала / А.И. Бокарев, В.А. Дианов, А.Б. Карташов и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 3 (163). С. 49-64. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-3-49-64.
   Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Harutyunyan G.A., Pashkov D.A., Dubinkin S.D. Development of a methodology for determining the basic geometric parameters of the hydraulic steering system of a mining dump truck. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;3(163)49-64. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-3-49-64.
9. Паначев И.А., Кузнецов И.В. Взаимосвязь напряжений в металлоконструкциях заднего моста большегрузных автосамосвалов и удельных затрат энергии при транспортировании горной массы // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 1(101). С. 45-49.
   Panachev I.A., Kuznetsov I.V. The relationship of stresses in the metal structures of the rear axle of heavy-duty dump trucks and specific energy costs during transportation of rock mass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014;1(101):45-49. (In Russ.).
10. Mi Ch., Li Y., Zhang Ch. et al. An Energy-Based Anti-Fatigue Optimization Design Method of Welded Rear Axle Housing in a Mining Dump Truck. *Mechanika*. 2023;29(4):317-323.
11. Автотракторные колеса: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
12. Zheng B., Fu Sh., Lei J. Topology Optimization and Multiobjective Optimization for Drive Axle Housing of a Rear Axle Drive Truck. *Materials*. 2022;15(15):5268. DOI: 10.3390/ma15155268.

Authors Information

Dubinkin D.M. – PhD (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Zakrasovsky D.I. – Junior Researcher at the Scientific Center "Digital Technologies", Postgraduate Student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: zakrasovskydi@kuzstu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info

Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025