Оригинальная статья

Original Paper

УДК 681.518.5 © Б.Л. Герике✉, С.А. Швыдкин, 2025

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», 650065, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: gbl_42@mail.ru

UDC 681.518.5 © B.L. Gericke✉, S.A. Shvydkin, 2025

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650056, Russian Federation
✉ e-mail: gbl_42@mail.ru

К вопросу создания системы мониторинга технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов*

To the issue of creating a system for monitoring the technical condition of a mine dump truck's bearing metal structures

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-68-71

ГЕРИКЕ Б.Л.
Доктор техн. наук, главный научный сотрудник Института угля ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», 650065, г. Кемерово, Россия, e-mail: gbl_42@mail.ru

ШВЫДКИН С.А.
Ведущий инженер Института угля ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», 650065, г. Кемерово, Россия

Существующая система планово-предупредительных ремонтов не обеспечивает требуемых показателей рентабельности транспортных услуг при открытой добыче угля, поэтому остро встают проблемы оценки технического состояния карьерных автосамосвалов на основе методов функциональной диагностики. На основе анализа существующих методов диагностики для оценки живучести несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов в статье предлагается метод акустико-эмиссионного (АЭ) контроля образования и развития трещиноподобных дефектов, который, как показали результаты промышленной апробации, пригодны для их мониторинга. Внедрение системы предиктивного (упреждающего) обслуживания карьерных автосамосвалов позволит не только обнаруживать трещиноподобные дефекты в несущих металлоконструкциях на ранней стадии и следить за их развитием под действием эксплуатационных факторов, но и оперативно принимать управленческие решения, направленные на сохранение ресурса металлоконструкций и предотвращение аварийных отказов.

Ключевые слова: *карьерный транспорт, несущие металлоконструкции, мониторинг, техническое состояние, акустико-эмиссионный контроль.*

** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0024 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы. 2024-2025 гг.» (рег. № 124041100071-9).*

Для цитирования: Герике Б.Л., Швыдкин С.А. К вопросу создания системы мониторинга технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов // Уголь. 2025;(12):68-71. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-68-71.

Abstract

The existing system of scheduled preventive maintenance does not provide the required indicators of transport services profitability in open-pit coal mining, which is why the problems of assessing the technical condition of mine dump trucks based on functional diagnostics methods are becoming acute. To assess the working life of mine dump trucks bearing metal structures the article on the basis of the analysis of the existing diagnostic methods offers acoustic emission (AE) method of controlling the development and formation of crack-like defects. As the industrial testing results shown, the method is well applicable for fulfilling monitoring. The introduction of a predictive (anticipatory) system for mine dump trucks maintenance will not only detect crack-like defects in bearing metal structures at an early stage and monitor their development under the influence of operational factors, but will also allow making prompt management decisions aimed at preserving the operation resource of metal structures and preventing emergency failures.

Keywords

Open put transport, bearing metal structures, monitoring, technical condition, acoustic emission method.

Acknowledgements

The work has been fulfilled in the framework of FSBSO "Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" state assignment, the project "The development of efficient coal production technologies by robotic mining complexes without permanent presence of people in mining areas, of management systems and methods for the assessment of technical condition and diagnosing their resource and to justification of providing mineral raw material base reproduction.

For citation

Gericke B.L., Shvydkin S.A. To the issue of creating a system for monitoring the technical condition of a mine dump truck's bearing metal structures. *Ugol'*. 2025;(12):68-71. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-68-71.

Введение

Анализ показателей работы карьерного автотранспорта, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) автосамосвалов, свидетельствует о наибольшем влиянии на величину затрат, связанных с устранением последствий отказов. Гистограмма трудоемкости ремонта хорошо описывается распределением Вейбулла с математическим ожиданием 410 чел.×ч и средним квадратическим отклонением 491 чел.×ч [1]. При этом около 80% вероятности приходится на диапазон трудозатрат (0-350) чел.×ч, а на крупные ремонты, связанные с заменой двигателей внутреннего сгорания, редукторов мотор-колес и др. продолжительностью более 1000 чел.×ч – не более 7%.

Стоимость перемещения горной массы зависит от выбора формы технического обслуживания и эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов [2]. С одной стороны, объемы перевозок должны увеличиваться, что приводит к совершенствованию конструкции машин, а с другой стороны, должны быть выполнены все возрастающие требования безопасности эксплуатации технологического оборудования и охраны окружающей среды.

Действующая система ТОиР основана на «Положении о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ», которое регламентирует периодичность и набор технических воздействий на узлы и агрегаты независимо от их технического состояния, т.е. система планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Результаты обследования парка технологических автомобилей показали [3], что карьерные автосамосвалы 20-30% календарного времени находятся в техническом обслуживании и ремонте, а трудозатраты на эту работу достигают 50-60%.

Переход на систему профилактического обслуживания по фактическому техническому состоянию, обеспечивающую наименьшие экономические затраты и максимальный коэффициент готовности машин в данных конкретных условиях, могут быть реализованы лишь с помощью эффективных диагностических средств. Наиболее перспективным нам видится направление по созданию и применению бортовых диагностических систем, основанных на дистанционных методах диагностики, с помощью которых можно не только оценивать состояние отдельных узлов и агрегатов, но и управлять их техническим состоянием [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В руководстве по ремонту карьерного самосвала БелАЗ-75306 для обнаружения дефектов рекомендуется использовать следующие методы неразрушающего контроля: визуально-измерительный контроль, метод цветной дефектоскопии, магнитный метод и ультразвуковой контроль. Из-за большого объема работы при обследовании самосвала, наличия труднодоступных мест, большого интервала между обследованиями, а также влияния человеческого фактора часть дефектов не удается своевременно обнаружить. Применение указанных методов помогает значительно снизить количество отказов оборудования, но полную гарантию на безаварийную работу не дает, особенно на самосвалах большой грузоподъемности [5]. Практика показывает, что применяемые методы неразрушающего контроля в целом не позволяют оценить техническое состояние металлоконструкций автосамосвала [6]. Нередки случаи, когда дефекты достигают значительных размеров и в дальнейшем приводят к аварии.

Поэтому для повышения качества обследования подключаются методы функциональной диагностики, позволяющие дистанционно получать информацию о техническом состоянии автосамосвала.

К методам функциональной диагностики можно отнести: тензометрический контроль, ультразвуковую дефек-

тоскопию на фазированных решетках, контроль смазочного материала и тепловизионный контроль, шумовой (акустический), вибрационный и акустико-эмиссионный (АЭ) контроль.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из перечисленных методов для обнаружения дефектов во время непосредственной работы автосамосвала в карьере наиболее подходят последние три, относящиеся к акустическим (пассивным и активным) методам, поэтому рассмотрим их подробнее.

Шумовой контроль. Метод шумовой диагностики основан на регистрации и анализе акустических шумов, которые позволяют судить о возникновении и развитии дефектов. Он позволяет оценивать техническое состояние работающего оборудования на основе субъективных ощущений обслуживающего персонала. Сегодня оценка технического состояния на основе прослушивания все еще широко используется, поскольку субъективные ощущения человека отражают особо важные признаки неисправностей.

Современные цифровые приборы разрешают более точно определять характеристики шумов и проводить анализ в различных частотных диапазонах. Путем сравнения характеристик шума от исправного и неисправного оборудования вполне возможно определять техническое состояние мотор-редукторов и подшипников электродвигателей автосамосвала [7, 8].

Вибродиагностика позволяет оценить техническое состояние по параметрам виброакустических сигналов, генерируемых взаимодействием различных узлов и деталей работающего оборудования. Этот метод позволяет обследовать объект без вывода из эксплуатации, выполнять контроль качества изготовления и ремонта машинного оборудования. Исключение операции «демонтаж–монтаж» не только экономит время на ремонт, но и предотвращает нанесение механизму повреждений, связанных с монтажно-демонтажными работами, нарушающими приработку деталей. На автосамосвалах вибродиагностический метод применяется в основном для оценки состояния редукторов мотор-колеса и другого динамического оборудования [9, 10].

Метод акустической эмиссии основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в объекте под воздействием нагрузки во время роста дефектов. Без нагрузки нет и эмиссии, а при эксплуатации самосвала в качестве нагрузки выступают динамические воздействия на несущие элементы металлоконструкций, возникающие при движении самосвала по неровной дороге. Кроме этого, АЭ метод также позволяет проводить анализ шумов в ультразвуковом диапазоне, поэтому с его помощью вполне возможно будет определять техническое состояние мотор-редукторов и подшипников электродвигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате ранее выполненных работ [11, 12] была доказана возможность проведения АЭ контроля на экскаваторах в производственных условиях, а также обнаружены дефекты, впоследствии подтвержденные другими методами неразрушающего контроля.

Однако по прошествии времени можно констатировать, что в угольной отрасли применение АЭ-контроля до сих пор остается крайне редким. Такая ситуация сложилась из-за особенности эксплуатации оборудования на непрерывных циклах, с редкими и короткими остановками на ТОиР. А при необходимом условии невмешательства в производственный процесс применение АЭ-контроля становилось экономически неэффективным, то есть использование АЭ метода приводило либо к простоям оборудования, либо к «простоям» специалистов, ожидающих очередного ТОиР оборудования.

При мониторинге технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов метод АЭ-контроля оказывается единственно возможным, поскольку обладает высокой чувствительностью к обнаружению трещиноподобных дефектов и дистанционной передачей информации на диспетчерский пульт, что позволит снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Как показывает опыт применения метода АЭ-контроля при диагностике технического состояния энергетического оборудования [13], наиболее эффективно дефекты обнаруживаются на последних стадиях их развития, когда количество импульсов возрастает на 1-2 порядка. На начальных стадиях зарождения и стабильного роста трещин в металлоконструкциях требуется проведение дополнительных фундаментальных научных исследований для определения критериев живучести для различных материалов.

Внедрение системы АЭ-мониторинга карьерных автосамосвалов на угольных разрезах позволит:

– обнаруживать дефекты в несущих металлоконструкциях на ранней стадии и следить за их развитием в зависимости от внешних условий эксплуатации;

– количественно определять влияние эксплуатационных факторов (профиля и уклонов трассы, погодно-климатических, социально-физиологических и т.п.) на скорость развития дефектов;

– определять гамма-процентную наработку между отказами;

– оперативно принимать управленческие решения, направленные на сохранение ресурса металлоконструкций и предотвращение аварийных отказов;

– сравнивать техническое состояние автосамосвалов и, в зависимости от него, направлять их на участки с легкими или тяжелыми условиями эксплуатации;

– выполнять ремонт по техническому состоянию несущих металлоконструкций.

Список литературы • References

1. Тотьмянин С.В. Анализ интенсивности отказов и динамики простоев автомобилей БелАЗ горнодобывающего предприятия // Недропользование и транспортные системы. 2022. Т. 12. № 2. С 12-24.
Totmyanin S.V. Analysis of the failure rate and downtime dynamics of BELAZ truck at a mining enterprise. *Nedropol'zovanie i transportnye sistemy.* 2022;12(2):12-24. (In Russ.).

2. Потапенко В.В., Олейник Д.А. Усовершенствование технического обслуживания, диагностирования и ремонта карьерных самосвалов БЕЛАЗ // Горный вестник. 2013. № 96. С. 249-254.
Potapenko V.V., Oleynik D.A. Improvement of maintenance, diagnostics and repair of BELAZ mining dump trucks. *Gornyj vestnik*. 2013;(96):249-254. (In Russ.).
3. Швыдкин С.А., Герике Б.Л. Факторы эксплуатации карьерных автосамосвалов, влияющие на развитие дефектов. В сборнике статей: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т, 2025. № 11. С. 104-108.
4. Швыдкин С.А., Герике Б.Л. Методика проведения постоянного акустико-эмиссионного мониторинга для диагностики металлоконструкций карьерных автосамосвалов. В сборнике статей: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т, 2023. № 9. С. 130-134.
5. 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. С. 23-31.
Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B. et al. Statistics of failures of high-loaded mining dump truck units with a load capacity of 220 tons. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024;(4):23-31. (In Russ.).
6. Горюнов С.В., Хорешок А.А. Оценка системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях Кузбасса / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XXI Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 06–07 апреля 2023 года / Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. С. 358-362.
7. Методы диагностирования фактического технического состояния редуктора мотор-колеса БелАЗ / А.В. Кудреватых, А.С. Фурман, А.С. Ащеулов и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С. 23-28.
Kudrevatykh A.V., Furman A.S., Ashcheulov A.S. et al. Methods for diagnosing the actual technical condition of the BELAZ wheel motor gearbox. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021;(2):23-28. (In Russ.).
8. Компаиди Ю.К., Кудреватых А.В. Акустическая диагностика как инструмент повышения надежности и эффективности работы редукторов мотор-колеса карьерных автосамосвалов // Вестник науки. 2024. Т. 2. № 10. С. 528-533.
Compaidi Yu.K., Kudrevatykh A.V. Acoustic diagnostics as tool to improve reliability and efficiency of gearboxes of motor wheels of dump trucks. *Vestnik nauki*. 2024;2(10):528-533. (In Russ.).
9. Gerike B., Kuzin Ye., Gerike P. New Approach to Mining Machines Reducing Gear Box Maintenance. The 11st China-Russia Academic Conferences. Shandong University of Science and Technology, 2023. P. 537-552.
10. Обеспечение эксплуатационной безопасности большегрузных карьерных автомобилей / Б.Л. Герике, В.И. Клишин, Ю.В. Дрозденко и др. В сборнике статей: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т, 2019. № 5. С. 148-153.
11. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций шагающих экскаваторов по параметрам акустико-эмиссионного сигнала. / А.В. Менчугин, Б.Л. Герике, С.И. Протасов и др. // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 5. С. 25-30.
Menchugin A.V., Gericke B.L., Protasov S.I. et all Estimation of the technical state of the bearing metal structures of the walking excavators by the parameters of the acoustic-emission signal. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika*. 2009;(5):25-30. (In Russ.).
12. Barat V., Marchenkov A., Bardakov V. et al. Structural Health Monitoring of Walking Dragline Excavator Using Acoustic Emission. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021;11(8).
13. Барат В.А. Основы статистического анализа диагностической информации. М.: Изд-во МЭИ, 2020. 53 с.

Authors Information
Gericke B.L. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Research Scientist of Institute of Coal of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650056, Russian Federation, e-mail: gbl_42@mail.ru
Shvydkin S.A. – Leading Engineer of Institute of Coal of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650056, Russian Federation

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