

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 629.353

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-12-24

Герике Борис Людвигович ^{1,2*}, Швыдкин Сергей Анатольевич ¹

¹ Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*E-mail: gbl_42@mail.ru

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Аннотация.

В процессе эксплуатации карьерных автосамосвалов под воздействием динамических нагрузок в металлоконструкциях образуются дефекты, которые в дальнейшем развиваются по усталостному типу. Наличие дефектов приводит к необходимости оценки живучести металлоконструкций, т. е. способности конструкций автосамосвала выполнять свои функции, несмотря на повреждения.

Современные оценки живучести сводятся в основном к определению критериев, характеризующих переход от стабильного развития дефекта к его критической стадии, т. е. к внезапному разрушению. Традиционно критерии живучести разрабатываются в результате лабораторных механических испытаний образцов, а также промышленных испытаний, в которых исследуется влияние различных эксплуатационных факторов на скорость развития дефектов и определяются критические размеры дефектов. Полученные в результате этих исследований критерии живучести довольно сложно применять в реальных производственных условиях, потому что получить информацию о размерах дефектов и оценить динамику их роста возможно только после визуального осмотра, который проводится довольно редко.

Поэтому для повышения качества оценки живучести металлоконструкций карьерных автосамосвала, мы предлагаем использовать акустико-эмиссионный (АЭ) метод контроля. Разработка критериев живучести на основе АЭ метода является более эффективным способом, потому что позволяет автоматически применять критерии живучести непосредственно в реальных производственных условиях. АЭ метод дает возможность, во-первых, по изменению интенсивности сигналов АЭ, излучаемых дефектом при его росте, косвенно судить об изменениях скорости развития дефекта, а во-вторых, при резком увеличении интенсивности сигналов АЭ говорить о достижении критических размеров дефекта, после которого возможно разрушение элемента.

В статье приводятся результаты применения АЭ метода для оценки живучести участка рамы автосамосвала и представлены сведения об обнаруженных дефектах в результате диагностики. Кроме этого, обоснована необходимость определения технического состояния металлоконструкций автосамосвалов с помощью постоянного АЭ мониторинга, позволяющего осуществлять диагностику во время непосредственной работы автосамосвала в карьере, а также автоматизировать процесс диагностики.

В результате применения АЭ метода установлены критерии живучести на одном из несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов.



Информация о статье

Поступила:

11 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

22 ноября 2024 г.

Опубликована:

11 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

живучесть, акустико-эмиссионный мониторинг, техническое состояние, диагностика, самосвал, рама

Введение.

Основным методом определения критериев живучести являются лабораторные механические испытания образцов с надрезами, в результате которых были получены зависимости критериев, характеризующих стадию внезапного разрушения, от таких параметров, как раскрытие трещины, ее длина, уровень приложенной нагрузки, расположение в пространстве, температура окружающей среды и др. [1]. Результаты этих испытаний используются при проектировании металлоконструкций автосамосвалов и проверке качества деталей. Однако оценка живучести металлоконструкций карьерных

автосамосвалов на основе классических инженерных методов усталостной прочности не учитывает того момента, что при наличии дефектов естественные усталостные процессы протекают во много раз быстрее [2], приводя к преждевременным разрушениям несущих конструкций.

Кроме этого, чтобы на производстве применить полученные в лабораторных испытаниях критерии живучести, необходимо сначала своевременно обнаружить дефекты. Но практика показывает, что с помощью визуального осмотра [3-4] не все дефекты удастся найти. Связано это как с человеческим фактором, так и с тем, что осмотр проводится в

Этапы разработки критериев живучести на основе АЭ метода

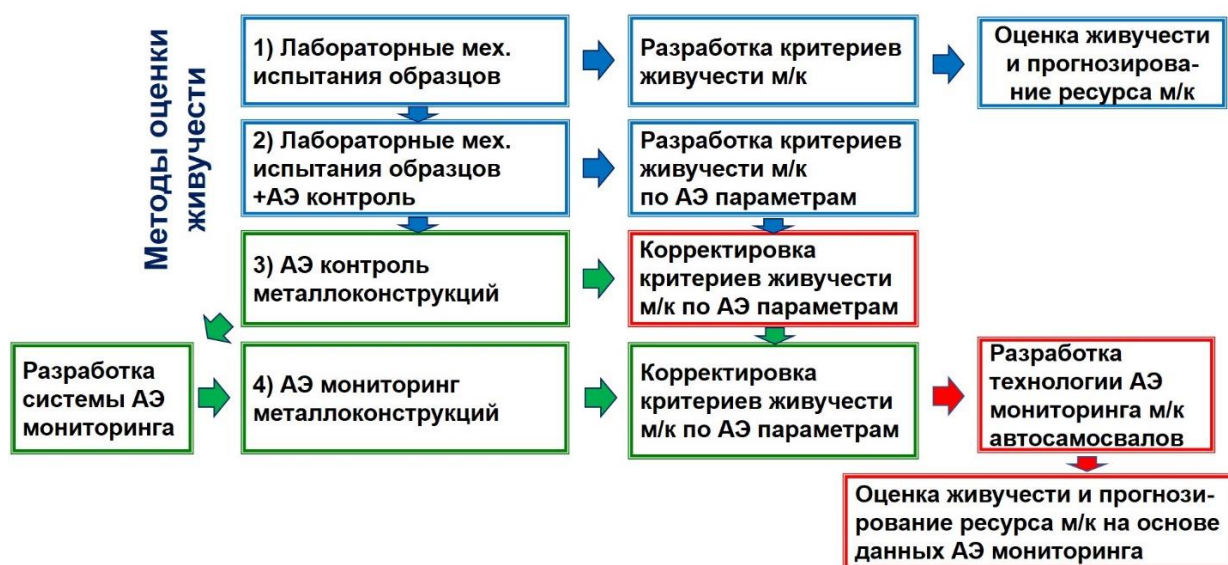


Рис. 1. Этапы разработки критериев живучести на основе АЭ метода

Fig. 1. Stages of developing survivability criteria based on the AE method

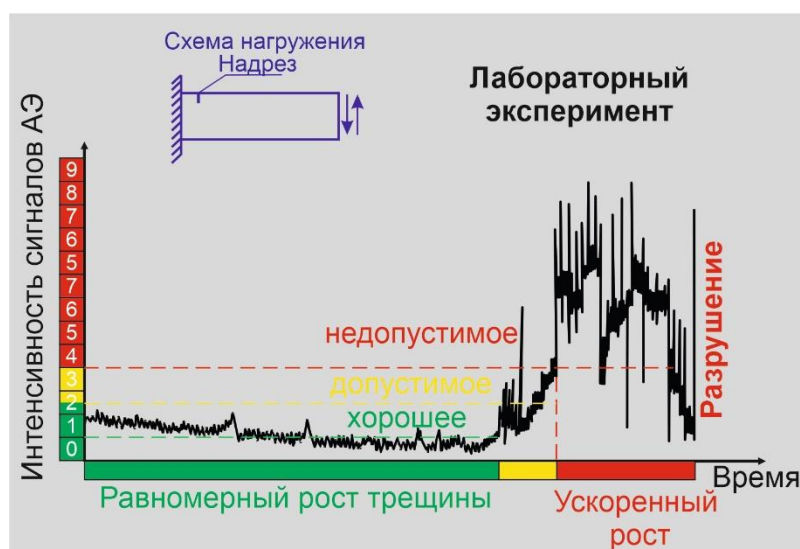


Рис. 2. Испытания с АЭ контролем при циклическом изгибе надрезанного образца

Fig. 2. Tests with AE control during cyclic bending cut sample

основном по пробегу автосамосвала, то есть довольно редко. Поэтому, несмотря на проделанную работу, на производстве случаются аварии, связанные с разрушением несущих элементов металлоконструкций автосамосвалов, а применяемые методы диагностики не позволяют оценить техническое состояние автосамосвала в целом [5].

В качестве альтернативы визуальному осмотру для обнаружения дефектов было предложено использовать метод акустической эмиссии (АЭ) [6-11], позволяющий проводить диагностику непосредственно во время эксплуатации автосамосвала в карьере. Также была поставлена задача разработки критериев живучести на основе сигналов аку-

стической эмиссии, излучаемых дефектами в процессе эксплуатации. Дальнейшая работа представлена на схеме (Рис. 1), где показаны этапы разработки критериев живучести на основе АЭ метода диагностики.

Лабораторные механические испытания + АЭ контроль.

Были изучены результаты работы [12], в которой описывались лабораторные механические испытания в сопровождении АЭ контроля. Отмечалось, что с помощью АЭ контроля вполне возможно как следить за развитием усталостных трещин, так и оценивать степень их опасности. При проведении испытаний с циклическими изгибами надре-

3) АЭ контроль металлоконструкций



БелАЗ 75131



Корпус РМК БелАЗа



Система АЭ контроля Vulcan

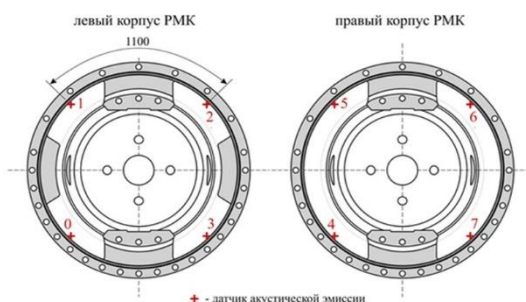


Схема расстановки датчиков АЭ на корпусах РМК

Рис. 4. АЭ контроль корпусов РМК

Fig. 4. AE control of RMK housings

3) АЭ контроль м/к

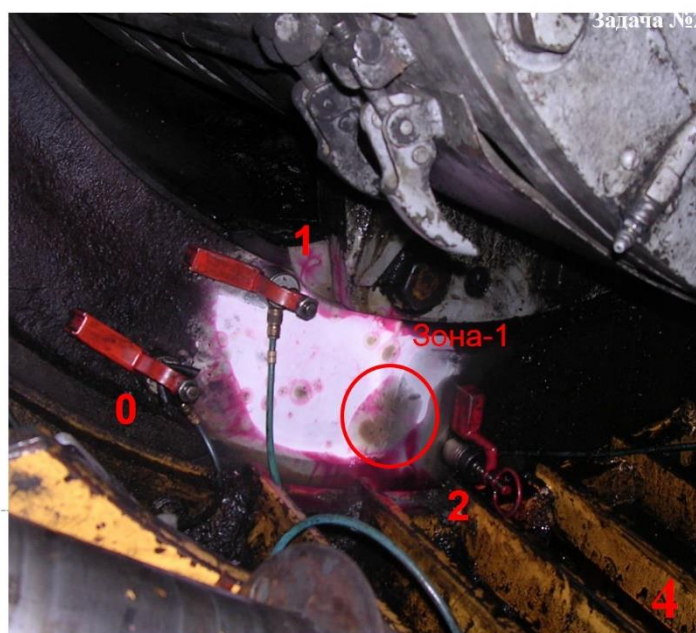
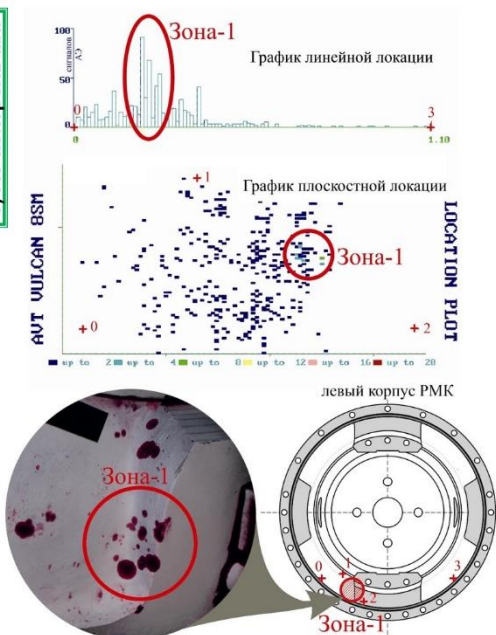


Рис. 5. Зоны повышенной активности АЭ сигналов на корпусах РМК

Fig. 5. Zones of increased activity of AE signals on RMK buildings

занных образцов стало возможным по параметрам сигналов АЭ определять момент перехода от равномерного роста трещины к ускоренному. Как видно из графика (Рис. 2), при возрастании интенсивности сигналов АЭ в 4 раза и более можно говорить о наступлении этапа ускоренного роста дефекта.

Еще одним примером, подтверждающим возможность определения этапа ускоренного роста дефектов по АЭ сигналам, является лабораторный эксперимент (Рис. 3), в котором было проведено испытание балки ведущего моста большегрузного автомобиля при циклическом нагружении [13]. В результате оказалось, что интенсивность сигналов АЭ на этапе ускоренного роста дефектов (17,4 имп./с) выше в 4,6 раза, чем при равномерном росте (3,8 имп./с), что также подтверждает выводы предыдущих испытаний.

Таким образом, в ходе лабораторных экспериментов были получены новые критерии оценки живучести на основе изменения интенсивности АЭ сигналов при росте дефектов. На следующем этапе необходимо было подтвердить возможность вы-

полнения АЭ контроля на карьерном автосамосвале.

АЭ контроль металлоконструкций в производственных условиях на карьерном автосамосвале. Была проведена серия испытаний по диагностике корпусов мотор-редукторов (РМК) на автосамосвале БелАЗ 75131 (Рис. 4) грузоподъемностью 130 т.

В результате АЭ контроля корпусов РМК были обнаружены дефекты (Рис. 5), проведен ремонт и повторный АЭ контроль (Рис. 6), подтвердивший качество проведенного ремонта.

Таким образом, была подтверждена возможность проведения АЭ диагностики на работающем автосамосвале. Однако подготовка к проведению АЭ контроля при условии невмешательства в текущий производственный процесс предприятия потребовала значительных временных затрат. Поэтому разовый АЭ контроль металлоконструкций автосамосвала, как и в случае с АЭ диагностикой шагающих экскаваторов [14-15], не нашел широкого применения на производстве. С учетом этого

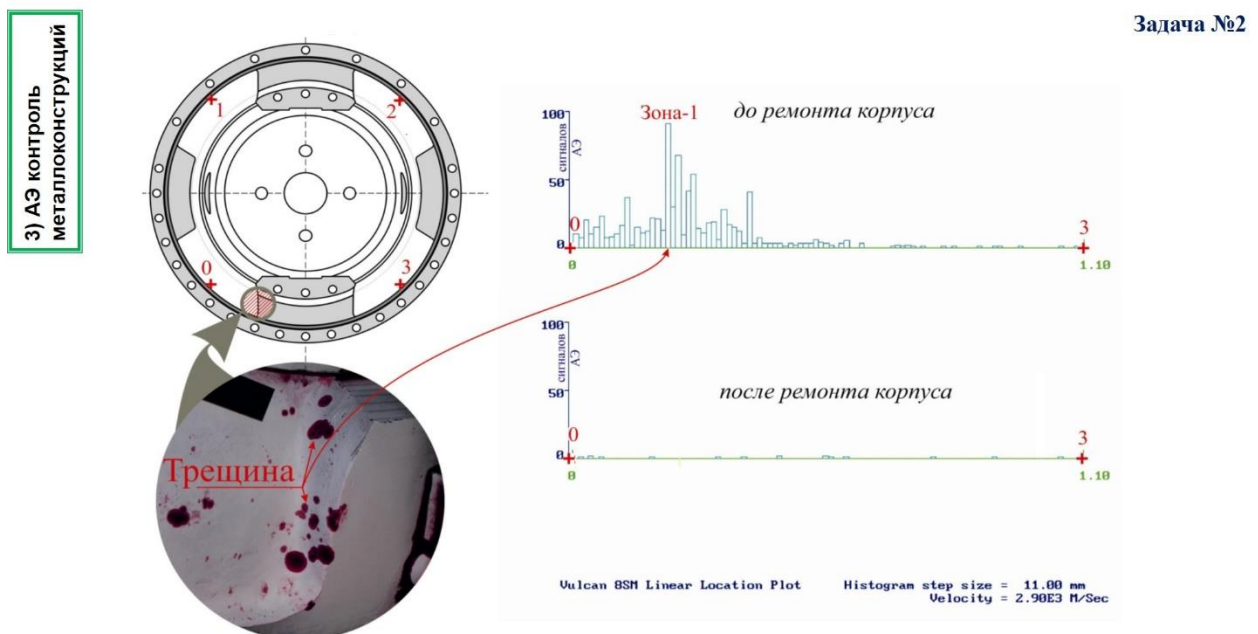


Рис. 6. Зоны повышенной активности АЭ сигналов до и после ремонта
Fig. 6. Zones of increased activity of AE signals before and after renovation



Рис. 7. Системы АЭ диагностики
Fig. 7. AE diagnostic systems

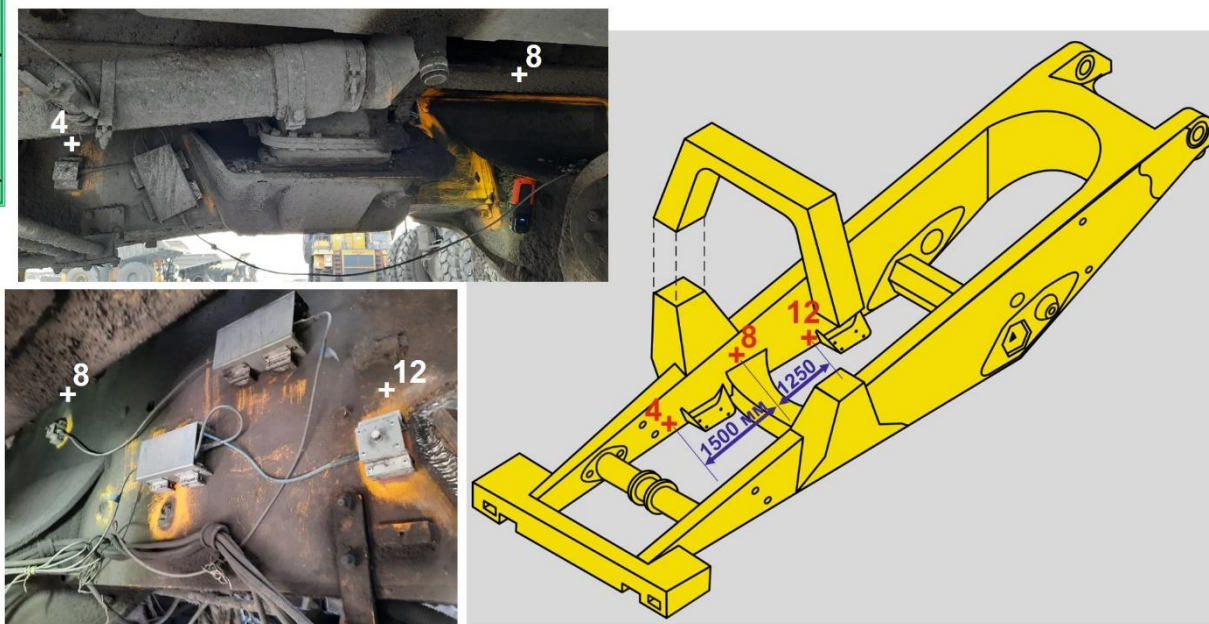


Рис. 8. Схема установки датчиков АЭ
Fig. 8. AE sensor installation diagram

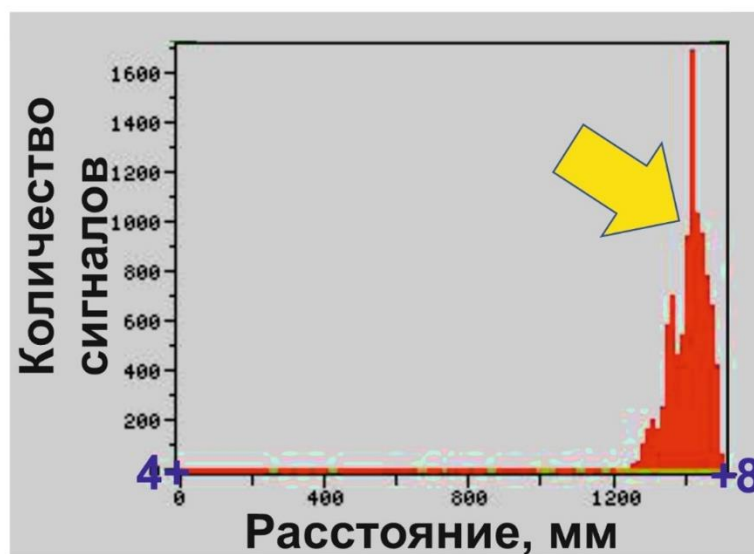
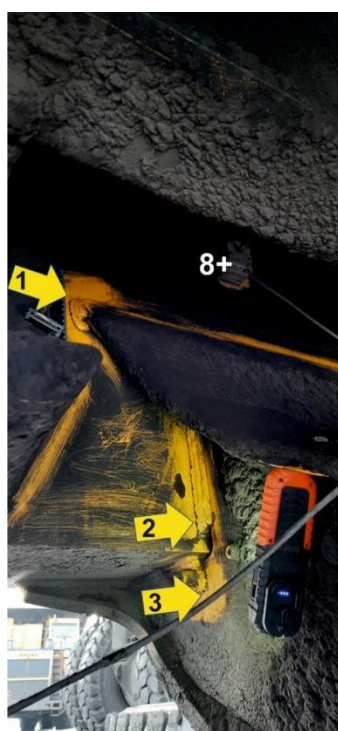


Рис. 9. Локационный график (датчики №4 и 8)
Fig. 9. Location graph (sensors No. 4 and 8)

единственно правильным вариантом применения АЭ метода виделся постоянный АЭ мониторинг [16-22].

АЭ мониторинг металлоконструкций в производственных условиях.

АЭ мониторинг позволяет в автоматическом режиме обнаруживать дефекты, следить за их развитием, оценивать живучесть элементов и передавать эти данные по сети интернет в соответствующие службы.

Однако применение АЭ мониторинга для диагностики карьерных автосамосвалов с использова-

нием профессиональных систем было экономически нецелесообразным из-за высокой стоимости оборудования, поэтому встал вопрос о необходимости разработки системы с меньшей производительностью, но достаточной для выполнения поставленных задач (Рис. 7).

В результате проведенной работы была собрана 4-х канальная система АЭ мониторинга с возможностью поочередного опроса каналов и разработаны преобразователи АЭ. У нас появился инструмент, с помощью которого можно проводить исследования на автосамосвалах, чтобы скорректиро-

вать результаты, полученные на образцах в лабораторных условиях, и перенести их на реальный объект. Затем была выполнена промышленная апробация системы АЭ мониторинга, в ходе которой выполнялась диагностика участка рамы карьерного автосамосвала БелАЗ 75306 (г/п 220т).

На правый лонжерон рамы автосамосвала в районе 2-ой перемычки были установлены три датчика АЭ: № 4, 8 и 12 (Рис. 8).

В результате проведенного мониторинга во время работы автосамосвала в карьере на раме рядом с датчиками № 8 и 12 были обнаружены дефекты. Данные с автосамосвала круглосуточно передавались по сети интернет с использованием мобильного usb-модема.

Ниже представлен локационный график (Рис. 9), полученный за сутки проведения мониторинга, и фотографии дефектов (Рис. 10), обнаруженных рядом с датчиком №8.

У датчика № 8 трещина достигла критической величины, что требует незамедлительного ремонта.

Как видно из фотографий (Рис. 10), размер трещин составлял до 140 мм.

Ниже представлен локационный график (Рис. 11), полученный за сутки проведения мониторинга и, фотографии дефектов (Рис. 12), обнаруженных рядом с датчиком №12.

АЭ мониторинг позволяет построить график зависимости количества сигналов АЭ от времени (Рис. 13), из которого следует, что при работе автосамосвала в течение суток рост дефектов происходит неравномерно. Пики на графике указывают на то, что на определенных участках дорог скорость роста дефектов выше. Анализ результатов позволяет отследить и влияние квалификации водителя. Так, например, квалификация водителя, работающего в дневную смену, оказалась ниже, чем у водителя ночной смены, потому что при одинаковом

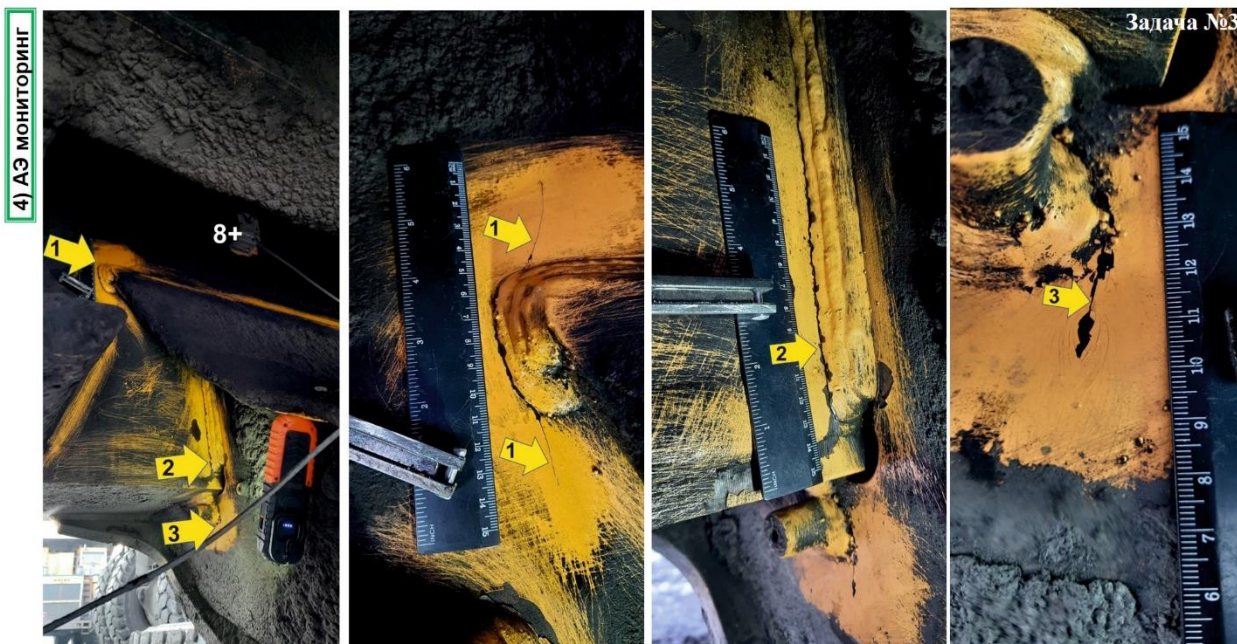


Рис. 10. Дефекты рамы, в районе 2-ой перемычки (датчик № 8)
Fig. 10. Frame defects, in the area of the 2nd jumper (sensor No. 8)

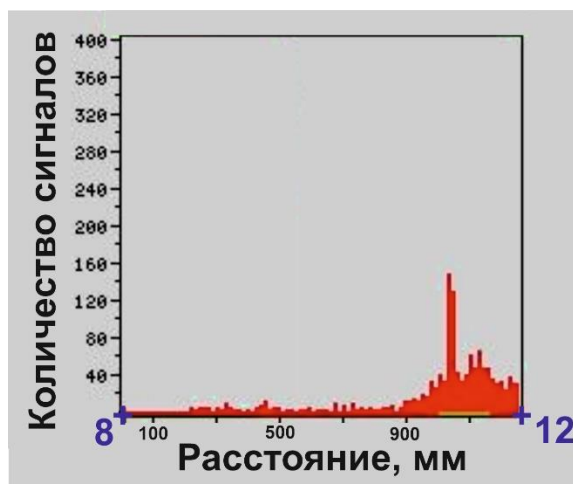


Рис. 11. Локационный график (датчики №8 и 12)
Fig. 11. Location graph (sensors No. 8 and 12)

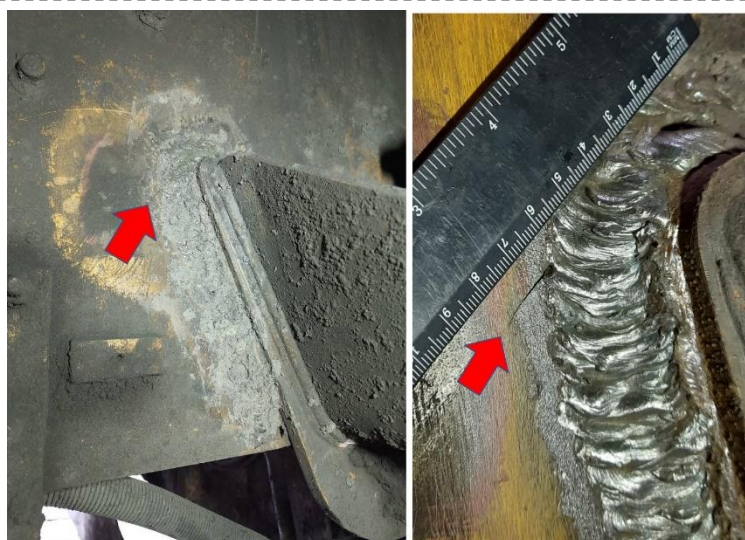


Рис. 12. Дефект в сварном шве опоры двигателя (датчик № 12)
Fig. 12. Defect in the weld seam of the engine mount (sensor No. 12)

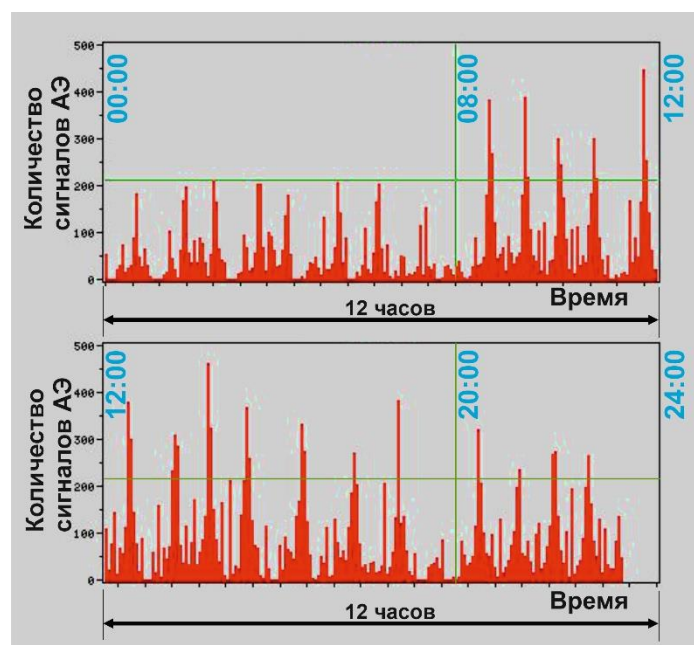


Рис. 13. Активность АЭ сигналов за сутки (датчик № 8)
Fig. 13. Activity of AE signals per day (sensor No. 8)

числе рейсов количество сигналов АЭ, регистрируемых в дневное время, практически в два раза больше.

Кроме сигналов от дефектов также записывалась информация об уровне шумов, что позволило сопоставить время регистрации сигналов АЭ от дефектов с режимом работы автосамосвала. На графике (Рис. 13) показаны собранные данные по шумам и сигналам АЭ за 1 час работы автосамосвала, из которых следует, что наиболее интенсивный рост дефектов происходит на участках с неровной дорогой, в основном на подъезде к отвалу.

Собранные данные за 1 месяц непрерывного мониторинга позволили построить следующий график активности сигналов АЭ (Рис. 15).

Для оценки полученных данных необходимо воспользоваться результатами, полученными при лабораторных механических испытаниях с АЭ кон-

тролем (Рис. 3), в которых было установлено, что интенсивность сигналов АЭ на этапе ускоренного роста дефектов в 4 и более раз выше, чем при равномерном росте.

Учитывая, что среднее значение интенсивности АЭ сигналов у 8-го (221 имп.) и 12-го (34 имп.) датчиков отличается в 6,5 раз, можно сделать вывод о том, что интенсивность сигналов АЭ у датчика №8 соответствует этапу ускоренного роста дефектов. Таким образом, установлено, что трещина у датчика 8 достигла критической величины (140 мм) и требует незамедлительного ремонта.

С помощью АЭ мониторинга можно обнаруживать трещины на начальных стадиях образования и определять скорость их роста, а к наиболее интенсивно развивающимся дефектам применять метод «остановочного сверления», описанный в руководстве по ремонту карьерного самосвала БелАЗ-

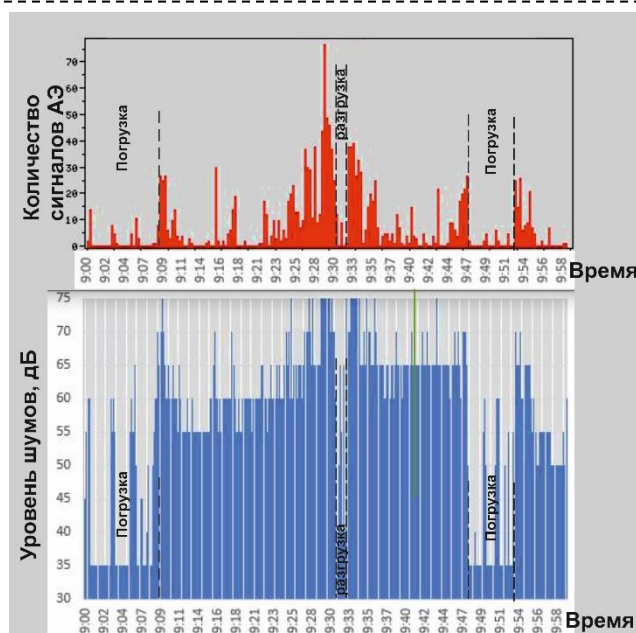


Рис. 14. Активность АЭ сигналов и уровень шумов за 1 час (датчик № 8)

Fig. 14. AE signal activity and noise level in 1 hour (sensor no. 8)



Рис. 15. Активность АЭ сигналов за месяц (датчики № 8 и 12)

Fig. 15. Activity of AE signals per month (sensors No. 8 and 12)

75306, чтобы в результате уменьшить повреждения на интервалах между плановыми ремонтами.

Стоит отметить, что благодаря способности выполнять диагностику удаленно АЭ мониторинг может быть интегрирован в уже действующие на предприятиях угольной отрасли системы диспетчеризации горнотранспортного комплекса (ГТК) (Рис. 16).

Это позволит отслеживать информацию о состоянии несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов в режиме реального времени (Рис. 17).

Выводы

Таким образом, в результате проведенной работы были получены следующие результаты:

1. Доказана возможность проведения АЭ диагностики во время непосредственной работы авто-

самосвала в карьере, что позволяет оценить интенсивность сигналов АЭ в движении. Благодаря этому удалось оценить квалификацию водителей, при работе которых интенсивность сигналов АЭ отличалась практически в 2 раза.

2. Установлены критерии живучести несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов, заключающиеся в том, что повышение интенсивности сигналов АЭ в 4 раза и более свидетельствует о нарушении живучести металлоконструкций.

3. Постоянный АЭ мониторинг является наиболее достоверным методом оценки живучести несущих элементов металлоконструкций автосамосвалов. При 90%-й доверительной вероятности достоверность результатов увеличивается в 1,5 раза.

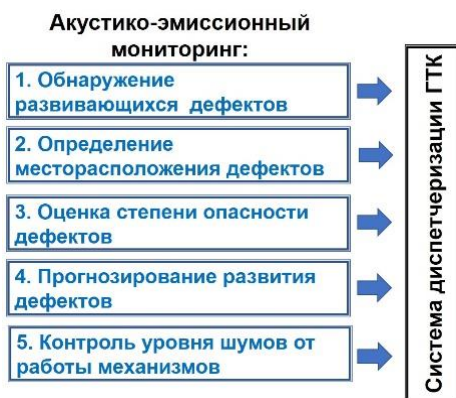


Рис. 16. Интеграция АЭ мониторинга в систему диспетчеризации ГТК

Fig. 16. Integration of AE monitoring into the system dispatching of the State Customs Committee



Рис. 17. Результат интеграции АЭ мониторинга в систему диспетчеризации ГТК

Fig. 17. The result of integrating AE monitoring into the system dispatching of the State Customs Committee

4. Проведение диагностики несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с использованием АЭ мониторинга позволяет обеспечить их безаварийную эксплуатацию.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского федерального университета» 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. № 124041100072-6)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moskvichev, V.V. Metody i kriterii mekhaniki razrusheniya pri opredelenii zhivuchesti i nadezhnosti metallokonstrukcii kar'ernyh ekskavatorov: special'nost' 01.02.06 "Dinamika, prochnost' mashin, priborov i apparatury": avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Moskvichev Vladimir Viktorovich. – Chelyabinsk, 1993. – 39 s.

2. Doronin, S. V. Proektnye ocenki dolgovernosti i zhivuchesti ram kar'ernyh samosvalov / S. V. Doronin, T. V. Doncova // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. – 2012. – T. 5, № 7. – S. 760-765. – EDN PUMSSV.

3. Kalinichenko, N. P. Vizual'nyj i izmeritel'nyj kontrol': uchebnoe posobie dlya podgotovki specialistov I, II i III urovnya / N. P. Kalinichenko, A. N. Kalinichenko; Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet, 2009. – 300 s. – (Innovacionnaya obrazovatel'naya programma). – ISBN 978-5-98298-709-9. – EDN QMGZHX.

4. Pozdnyakov, V. F. Pribory i metody vizual'nogo i opticheskogo kontrolya / V. F. Pozdnyakov, E. V. Pozdnyakova, A. N. Prudnikov; Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus' Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii Belorussko-Rossijskij universitet. – Mogilev: Mezhsosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Belorussko-Rossijskij universitet", 2022. – 288 s. – ISBN 978-985-492-281-2. – EDN AXAVYM.

5. Goryunov, S.V. Ocenka sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'ernyh avtosamosvalov na ugledobyvayushchih predpriyatiyah Kuzbassa / S.V. Goryunov, A.A. Horeshok // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i

neftegazovoj promyshlennosti : Sbornik trudov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, provedennoj v ramkah Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady, Ekaterinburg, 06–07 aprelya 2023 goda / Pod obshchey redakciej Yu.A. Lagunovoj. Orgkomitet: Yu.A. Lagunova, A.E. Kalyanov. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet, 2023. – S. 358-362. – EDN UTHHMI.

6. Ivanov V.I. Aktual'nye problemy AE diagnostirovaniya, NIIN MNPO «Spektr», Moskva, RF // Vserossijskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy metoda akusticheskoy emissii» (APMAE-2021) Sankt-Peterburg, Rossiya, Sbornik materialov, - 2021.- S. 3.

7. Ivanov V.I., Barat V.A. Akustiko-emissionnaya diagnostika: sprav. M.: ID «Spektr», 2017. 368 s.

8. Stepanova, L. N. Acoustic Emission Diagnostics of Freight Car Bogie Cast Pieces / L. N. Stepanova, S. I. Kabanov, E. Y. Lebedev // Transportation Research Procedia : 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 06–08 oktyabrya 2021 goda. – Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022. – P. 547-555. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.089. – EDN IFMLZT.

9. Isychko, V. E. Akustiko-emissionnyj kontrol' / V. E. Isychko, R. M. Zhantuev, M. G. Prihod'ko // Nauka. Novoe pokolenie. Uspekhi : Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnodar, 28 aprelya 2023 goda. – Krasnodar: Individual'nyj predprinimatel' Kabanov Viktor Boleslavovich (Izdatel'stvo "Novaciya"), 2023. – S. 246-248. – EDN VPFWZ.

10. Computerized system of acoustic-emission control of metal structures / M. Sagatov, Kh. Komilova, R. Maksudov, O. Kucharov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 365. – P. 02018. – DOI 10.1051/e3sconf/202336502018. – EDN YOUTKF.

11. Diagnostics of Defect Detection in the Initial Stages of Structural Failure Using the Acoustic Emission Method of Control / S. Grazion, V. Spiriyagin, M. Erofeev [et al.] // Applied Engineering Letters. – 2022. – Vol. 7, No. 2. – P. 45-53. – DOI 10.18485/aeletters.2022.7.2.1. – EDN FWQRUA.

12. Greshnikov V.A. Akusticheskaya emissiya / V.A. Greshnikov, Yu. B. Drobot. - M.: Izd-vo standartov, 1976. - 272 s.

13. Borodin Yu.P. Akustiko-emissionnyj kontrol' balki vedushchego mosta bol'shegruznoy avtomobilya / Yu.P. Borodin, V.G. Harebov, V.V. Moskovskih // Kontrol'. Diagnostika. – 2004. – № 4. – S. 20-24.

14. Menchugin, A. V. Primenenie akustiko-emissionnogo kontrolya dlya ocenki tekhnicheskogo

sostoyaniya odnokovshovyh shagayushchih ekskavatorov. /A. V. Menchugin, S.I. Protasov, G.D. Stenin. // Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiyu ugol'noj promyshlennosti: Trudy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii - Kemerovo: NNC GPIGD im. A. A. Skochinskogo, IJU SO RAN, KuzGTU, ZAO KVK «EkspoSibir», 2005. - S.79-82.

15. Menchugin A. V. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya nesushchih metallokonstrukcij shagayushchih ekskavatorov po parametram akustiko-emissionnogo signala. / A. V. Menchugin, B. L. Gerike, S. I. Protasov, P. V. Buyankin.// M. - Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. - № 5. — 2009. — S. 25-30.

16. Shemyakin V.V., Strizhkov S.A. Aspekty primeneniya metoda akusticheskoy emissii dlya monitoringa opasnyh promyshlennyh ob'ektov // V mire nerazrushayushchego kontrolya. 2004. №4. S. 16-19.

17. AE kak kompleksnyj metod monitoringa ob'ektov. Zadachi i perspektivy. / Petersen T.B., Shemyakin V.V., Samohvalov A.B., Kurnosov D.A., Chernigovskij V.Yu., OOO «DIAPAK», Moskva, RF // Vserossijskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy metoda akusticheskoy emissii» (APMAE-2021) Sankt-Peterburg, Rossiya, Sbornik materialov, - 2021.- S. 5-6.

18. Ono K. Structural Health Monitoring of Large Structures Using Acoustic Emission—Case Histories. Applied Sciences. 2019; 9(21):4602. <https://doi.org/10.3390/app9214602>

19. Nuñez, A., & Kattis, S. (2023). Effective approaches to remote asset monitoring with acoustic emission. EWGAE35 & ICAE10 Conference on Acoustic Emission Testing, Ljubljana, Slovenia, September 2022. e-Journal of Nondestructive Testing Vol. 28(1). <https://doi.org/10.58286/27600>

20. Structural health monitoring of walking dragline excavator using acoustic emission / V. Barat, A. Marchenkov, V. Bardakov [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. – Vol. 11, No. 8. – DOI 10.3390/app11083420. – EDN TFRJSC.

21. Prokofyev, M. Acoustic emission monitoring for industrial pressure vessels and infrastructure / M. Prokofyev, H. Marhart, G. Lackner // The e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics. – 2024. – Vol. 29, No. 7. – DOI 10.58286/29708. – EDN VMNMF.

22. Shvydkin, S. A. Akustiko-emissionnyj monitoring nesushchih elementov metallokonstrukcij kar'ernykh avtosamosvalov / S. A. Shvydkin, B. L. Gerike // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov. – 2022. – № 8. – S. 153-157. – EDN GYVRRW.

© 2024 Автор. 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:

Герике Борис Львович – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Института угля ФИЦ УУХ СО РАН (650065, Российская федерация, г. Кемерово, проспект Ленинградский, 10); профессор кафедры горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (650000, Российская федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: gbl_42@mail.ru

Швыдкин Сергей Анатольевич – вед. инженер Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, (650065, Российская федерация, г. Кемерово, проспект Ленинградский, 10);

Заявленный вклад авторов:

Герике Борис Людвигович – постановка задачи исследования, разработка методики исследования и формулировка выводов;

Швыдкин Сергей Анатольевич – разработка методики исследования, проведение исследований, обработка результатов и формулировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-12-24

Boris L. Gericke^{1,2*}, Sergey A. Shvydkin¹

¹ Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: gbl_42@mail.ru

ASSESSMENT OF SURVIVABILITY OF BEARING ELEMENTS OF METAL STRUCTURES OF MINE DUMP TRUCKS

Abstract.

In the process of operation of dump trucks under the influence of dynamic loads defects are formed in metal structures, which further develop by fatigue type. The presence of defects leads to the need to assess the survivability of steel structures, i.e. the ability of dump truck structures to fulfill their functions despite damage.

Modern assessments of survivability are mainly reduced to the definition of criteria characterizing the transition from stable development of a defect to its critical stage, i.e. to sudden destruction. Traditionally, survivability criteria are developed as a result of laboratory mechanical tests of samples, as well as industrial tests, in which the influence of various operational factors on the rate of defect development is investigated and critical defect sizes are determined. The survivability criteria obtained as a result of these studies are rather difficult to apply in real production conditions, because it is possible to obtain information on the size of defects and assess the dynamics of their growth only after visual inspection, which is carried out quite rarely.

Therefore, we propose to use acoustic emission (AE) method of control to improve the quality of life assessment of metal structures of dump trucks. Development of survivability criteria on the basis of AE method is more effective way, because it allows to automatically apply survivability criteria directly in real production conditions. The AE method makes it possible, firstly, to indirectly judge about changes in the rate of defect development by changes in the intensity of AE signals emitted by the defect during its growth, and secondly, in case of a sharp increase in the intensity of AE signals, to speak about reaching the critical size of the defect, after which it is possible to destroy the element.

The article presents the results of application of the AE method to assess the survivability of the dump truck frame section and presents information about the defects detected as a result of diagnostics. In addition, the necessity of determining the technical condition of metal structures of dump trucks with the help of permanent AE monitoring, which allows to carry out diagnostics during the direct operation of the dump truck in the quarry, as well as to automate the process of diagnostics, is substantiated.

As a result of application of the AE method, the survivability criteria were established on one of the load-bearing elements of metal structures of dump



Article info

Received:

11 October 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

22 November 2024

Published:

11 December 2024

Keywords: survivability, acoustic emission monitoring, technical condition, diagnostics, dump truck, frame.

For citation: Gericke B.L., Shvydkin S.A. Assessment of survivability of bearing elements of metal structures of mine dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2024; 5(175):12-24 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-12-24, EDN: YZIIYKF

REFERENCES

1. Moskvichev, V.V. Metody i kriterii mekhaniki razrusheniya pri opredelenii zhivuchesti i nadezhnosti metallokonstrukcii kar'ernyh ekskavatorov: special'nost' 01.02.06 "Dinamika, prochnost' mashin, priborov i apparatury": avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Moskvichev Vladimir Viktorovich. – Chelyabinsk, 1993. – 39 s.
2. Doronin, S. V. Proektnye ocenki dolgovechnosti i zhivuchesti ram kar'ernyh samosvalov / S. V. Doronin, T. V. Doncova // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. – 2012. – T. 5, № 7. – S. 760-765. – EDN PUMSSV.
3. Kalinichenko, N. P. Vizual'nyj i izmeritel'nyj kontrol': uchebnoe posobie dlya podgotovki specialistov I, II i III urovnya / N. P. Kalinichenko, A. N. Kalinichenko; Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet, 2009. – 300 s. – (Innovacionnaya obrazovatel'naya programma). – ISBN 978-5-98298-709-9. – EDN QMGZHX.
4. Pozdnyakov, V. F. Pribory i metody vizual'nogo i opticheskogo kontrolya / V. F. Pozdnyakov, E. V. Pozdnyakova, A. N. Prudnikov; Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus' Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii Belorussko-Rossijskij universitet. – Mogilev: Mezghosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Belorussko-Rossijskij universitet", 2022. – 288 s. – ISBN 978-985-492-281-2. – EDN AXAVYM.
5. Goryunov, S.V. Ocenka sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'ernyh avtosamosvalov na ugledobyvayushchih predpriyatiyah Kuzbassa / S.V. Goryunov, A.A. Horeshok // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: Sbornik trudov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, provedennoj v ramkah Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady, Ekaterinburg, 06–07 aprelya 2023 goda / Pod obshchej redakciej Yu.A. Lagunovoj. Orgkomitet: Yu.A. Lagunova, A.E. Kalyanov. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet, 2023. – S. 358-362. – EDN UTHHMI.
6. Ivanov V.I. Aktual'nye problemy AE diagnostirovaniya, NIIIN MNPO «Spektr», Moskva, RF // Vserossijskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy metoda akusticheskoy emissii» (APMAE-2021) Sankt-Peterburg, Rossiya, Sbornik materialov, - 2021.- S. 3.
7. Ivanov V.I., Barat V.A. Akustiko-emissionnaya diagnostika: sprav. M.: ID «Spektr», 2017. 368 s.
8. Stepanova, L. N. Acoustic Emission Diagnostics of Freight Car Bogie Cast Pieces / L. N. Stepanova, S. I. Kabanov, E. Y. Lebedev // Transportation Research Procedia : 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 06–08 oktyabrya 2021 goda. – Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022. – P. 547-555. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.089. – EDN IFMLZT.
9. Isychko, V. E. Akustiko-emissionnyj kontrol' / V. E. Isychko, R. M. Zhantuev, M. G. Prihod'ko // Nauka. Novoe pokolenie. Uspekhi : Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnodar, 28 aprelya 2023 goda. – Krasnodar: Individual'nyj predprinimatel' Kabanov Viktor Boleslavovich (Izdatel'stvo "Novaciya"), 2023. – S. 246-248. – EDN VPNFWZ.
10. Computerized system of acoustic-emission control of metal structures / M. Sagatov, Kh. Komilova, R. Maksudov, O. Kucharov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 365. – P. 02018. – DOI 10.1051/e3sconf/202336502018. – EDN YOUTKF.
11. Diagnostics of Defect Detection in the Initial Stages of Structural Failure Using the Acoustic Emission Method of Control / S. Grazion, V. Spiriyagin, M. Erofeev [et al.] // Applied Engineering Letters. – 2022. – Vol. 7, No. 2. – P. 45-53. – DOI 10.18485/aeletters.2022.7.2.1. – EDN FWQRUA.
12. Greshnikov V.A. Akusticheskaya emissiya / V.A. Greshnikov, Yu. B. Drobot. - M.: Izd-vo standartov, 1976. - 272 s.
13. Borodin Yu.P. Akustiko-emissionnyj kontrol' balki vedushchego mosta bol'shegruzno avtomobilya / Yu.P. Borodin, V.G. Harebov, V.V. Moskovskih // Kontrol'. Diagnostika. – 2004. – № 4. – S. 20-24.
14. Menchugin, A. V. Primenenie akustiko-emissionnogo kontrolya dlya ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya odnokovshovyh shagayushchih ekskavatorov. /A. V. Menchugin, S.I. Protasov, G.D. Stenin. // Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiyu ugol'noj promyshlennosti: Trudy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii - Kemerovo: NNC GPIGD im. A. A. Skochinskogo, IJU SO RAN, KuzGTU, ZAO KVK «EkspoSibir», 2005. - S.79-82.
15. Menchugin A. V. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya nesushchih metallokonstrukcij shagayushchih ekskavatorov po parametram akustiko-emissionnogo signala. / A. V. Menchugin, B. L. Gerike, S. I. Protasov, P. V. Buyankin.// M. - Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. - № 5. — 2009. — S. 25-30.
16. Shemyakin V.V., Strizhkov S.A. Aspekty primeneniya metoda akusticheskoy emissii dlya monitoringa opasnyh promyshlennykh ob'ektov // V mire nerazrushayushchego kontrolya. 2004. №4. S. 16-19.
17. AE kak kompleksnyj metod monitoringa ob'ektov. Zadachi i perspektivy. / Petersen T.B., Shemyakin V.V., Samohvalov A.B., Kurnosov D.A., Chernigovskij V.Yu., OOO «DIAPAK», Moskva, RF // Vserossijskaya konferenciya s mezhdunarodnym

uchastiem «Aktual'nye problemy metoda akusticheskoy emissii» (APMAE-2021) Sankt-Peterburg, Rossiya, Sbornik materialov, - 2021.- S. 5-6.

18. Ono K. Structural Health Monitoring of Large Structures Using Acoustic Emission–Case Histories. Applied Sciences. 2019; 9(21):4602. <https://doi.org/10.3390/app9214602>

19. Nuñez, A., & Kattis, S. (2023). Effective approaches to remote asset monitoring with acoustic emission. EWGAE35 & ICAE10 Conference on Acoustic Emission Testing, Ljubljana, Slovenia, September 2022. e-Journal of Nondestructive Testing Vol. 28(1). <https://doi.org/10.58286/27600>

20. Structural health monitoring of walking drag-line excavator using acoustic emission / V. Barat, A.

Marchenkov, V. Bardakov [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. – Vol. 11, No. 8. – DOI 10.3390/app11083420. – EDN TFRJSC.

21. Prokofyev, M. Acoustic emission monitoring for industrial pressure vessels and infrastructure / M. Prokofyev, H. Marhart, G. Lackner // The e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics. – 2024. – Vol. 29, No. 7. – DOI 10.58286/29708. – EDN VMNMF.

22. Shvydkiy, S. A. Akustiko-emissionnyy monitoring nesushchih elementov metallokonstrukcij kar'ernyh avtosamosvalov / S. A. Shvydkiy, B. L. Gerike // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov. – 2022. – № 8. – S. 153-157. – EDN GYVRRW.

© 2024 The Author. 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 author:

Boris L. Gerike – Dr. Sc. in Engineering, Professor, Chief Researcher at the Institute of Coal FITZ UH SB RAS (650065, Russian Federation, Kemerovo, Leningradsky Avenue, 10); Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, The Russian Federation, Kemerovo, Vesennaya str., 28), e-mail: gbl_42@mail.ru

Sergey A. Shvydkiy – Senior Engineer of the Institute of Coal FITZ UH SB RAS (650065, Russian Federation, Kemerovo, Leningradsky Avenue, 10), e-mail: sergserg60@mail.ru

Contribution of the authors:

Boris L. Gerike – formulation of the research problem, development of research methodology and formulation of conclusions;

Sergey A. Shvydkiy – development of research methodology, conducting research, processing results and formulating conclusions.

Authors have read and approved the final manuscript.



ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



5₍₁₇₅₎ ♦ 2024

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

5(175)
2024

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

Главный редактор:
Хорешок А.А., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:
Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.
Кантович Л.И., д.т.н., проф.

Редакционный совет:
Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.
Галкин В.А., д.т.н.
Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.
Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.
Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

Редакционная коллегия:
Андреева Л.И., д.т.н.
Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.
Галкин В.И., д.т.н., проф.
Глебов А.В., к.т.н.
Жабин А.Б., д.т.н., проф.
Зырянов И.В., д.т.н.
Ляхомский А.В., д.т.н., проф.
Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.
Петров В.Л., д.т.н., проф.
Семыкина И.Ю., д.т.н., проф.
Трифанов Г.Д., д.т.н., проф.
Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.
Юнгмейстер Д.А., д.т.н., проф.

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

**Адрес учредителя, издателя и
редакции:**
650000, Россия, Кемеровская область,
г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Технический редактор:
Останин О.А.

**Дизайн обложки, компьютерная
верстка:** Бородин Д.А.

Телефон редакции:
+7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru
Сайт: http://gormash.kuzstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

- Котин Д.А., Сухинин С.Е. Расчет коэффициентов регулятора скорости
ленточного конвейера на основе его физических параметров 3

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

- Герике Б.Л., Швыдкин С.А. Оценка живучести несущих элементов
металлоконструкций карьерных автосамосвалов 12
- Косарев И.В., Мезников А.В., Косарев В.В., Андреев Г.В., Чайков Е.М.
Типоразмерный ряд очистных комбайнов КДК с частотно-регулируемым
приводом подачи для обработки угольных пластов мощностью 1,2–5,5 м 25
- Бокарев А.И., Дианов В.А., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Дубинкин Д.М.,
Пашков Д.А. Анализ показаний системы динамического взвешивания при
эксплуатации карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 тонн 35
- Дубинкин Д. М., Ялышев А. В., Исмаилова Ш. Я. К выбору программного
обеспечения для имитационного моделирования погрузки горной массы в
карьерный самосвал грузоподъемностью 220 т 42
- Бокарев А. И., Дианов В. А., Карташов А. Б., Арутюнян Г. А., Дубинкин Д.М.,
Пашков Д.А. Анализ показаний телеметрии при эксплуатации карьерных
самосвалов грузоподъемностью 220 тонн 52
- Дубинкин Д.М., Елкин И.С., Дубинкин С.Д., Тургенев И.А. Исследование
скоростных режимов движения карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т ... 61
- Баловнев Е.А. Системно-функциональное моделирование непрерывного
контроля параметров горной массы в технологическом процессе выпуска угля
подкровельной толщи 70
- Буялич Г.Д., Хуснутдинов М.К., Хорешок А.А., Лагунова Ю.А., Буялич К.Г.
Формирование крутящего момента на шарошечном инструменте при образовании
скважин с угловыми концентраторами напряжений 78

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте www.elibrary.ru
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство о
регистрации ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и
изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям
(технические науки):

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки
(технические науки)
- 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки)

Дата выхода в свет: 11.12.2024. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ.
Уч.-изд. л. 11,0. Тираж 70 экз. Заказ 98. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

MINING EQUIPMENT AND ELECTROMECHANICS

GORNOE OBOURODOVANIE I ELEKTROMEKHANIKA

12+

5(175)
2024

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

Editor-in-chief:

Khoreshok A. A., Dr. Sc., prof.

Deputy editor-in-chief:

Lagunova, Yu. a., prof.

Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

Editorial board:

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.

Galkin V. A., Dr. Sc.

Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.

Blumenstein V. Yu., Dr. Sc., prof.

Aksenov V. V., Akad. AMS, Dr. Sc.

Editorial Team:

Andreeva L. I., Dr. Sc.

Voronova E. Yu., Dr. Sc., prof.

Galkin V. I., Dr. Sc., prof.

Glebov A. V., Ph. D.

Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.

Zyryanov I. V., Dr. Sc.

Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.

Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.

Petrov V. L., Dr. Sc., prof.

Semykina I. Yu., Ph. D.

Trifanov G. D., Dr. Sc., prof.

Khazanovich G. Dr. Sc., prof.

Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

Founder and publisher:

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university

Address of the founder, the publisher and the Editorial office:

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 28 Vesennaya str.

Technical editor:

Ostanin O. A.

Cover design,

computer layout: Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: <http://gormash.kuzstu.ru>

CONTENTS

ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Kotin D.A., Sukhinin S.E. Calculation of the coefficients of the speed controller of the conveyor belt based on its physical parameters.....

3

MINING MACHINES

Gericke B.L., Shvydkin S.A. Assessment of survivability of bearing elements of metal structures of mine dump trucks

12

Kosarev I.V., Meznikov A.V., Kosarev V.V., Andreev G.V., Chaikov E.M. A standard-sized range of KDK cleaning combines with a frequency-controlled feed drive for mining coal deposits with a capacity of 1.2–5.5 m

25

Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Dynamic weighing system during readings analysis the operation of mining dump trucks with a load capacity of 220 tons

35

Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. On the choice of software for simulation modeling of loading rock mass into quarry dump trucks

42

Bokarev A.I., Dianov V.A., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Analysis of telemetry readings during the operation of mining dump trucks with a load capacity of 220 tons

52

Dubinkin D.M., Elkin I.S., Dubinkin S.D., Turgenev I.A. Investigation of high-speed modes of movement of a mining dump truck with a load capacity of 220 tons

61

Balovnev E.A. System-functional modeling of continuous monitoring of rock mass parameters in the technological process longwall top coal caving

70

Buyalich G.D., Husnutdinov M.K., Khoreshok A.A., Lagunova Yu.A., Buialich K.G. The formation of torque on a rolling tool during the formation of wells with angular stress concentrators.....

78

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website www.elibrary.ru

Tax relief - All-Russian product classifier

The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - Certificate PI No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (engineering)
- 2.4.2. Electrotechnical complexes and systems (engineering)
- 2.8.8. Geotechnology, Mining machines (engineering)

Date of publication: 11 December 2024. Format 60×84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs. Published sheets 11.0. Edition 70 copies. Order 98. Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bednogo str