

На правах рукописи



Швыдкин Сергей Анатольевич

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА
ПО КРИТЕРИЮ ЖИВУЧЕСТИ**

Специальность: 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН).

Научный руководитель: **Герике Борис Людвигович**,
доктор технических наук, профессор, главный
научный сотрудник Института угля ФИЦ УУХ СО
РАН

Официальные
оппоненты: **Андреева Людмила Ивановна**,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник Челябинского филиала
ФГБУН Института горного дела Уральского
отделения РАН

Альшанская Анна Александровна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Горные машины и комплексы»,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный
университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный
университет»

Защита состоится «05» декабря 2025 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного
совета 24.2.321.01 на базе ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя,
д. 28. Тел.: +7 (3842) 39-69-60, e-mail: markovso@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте:
<http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2025/shv/Dissertation.pdf>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



С.О. Марков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. При открытом способе разработки полезных ископаемых наиболее трудоёмким и дорогостоящим процессом является перемещение горной массы с использованием карьерных автосамосвалов. Затраты на транспортировку составляют от 40 до 50 % себестоимости добычи полезного ископаемого.

Анализ общего временного фонда простоев карьерного автотранспорта на разрезах Кузбасса показал, что доля простоев из-за отказов основных несущих металлоконструкций составляет 20-25 %. Количество отказов узлов автосамосвала зависит от возникновения и развития в них трещин, которые образуются, главным образом, в элементах рамы, кузова и подвески карьерного автосамосвала.

Систематически возникающие случаи трещинообразования могут привести к разрушениям рам и финансовым потерям как из-за снижения объемов транспортирования полезного ископаемого, так и из-за большой стоимости ремонта крупногабаритных узлов и конструкций. Затраты на устранение последствий отказов металлоконструкций автосамосвалов могут достигать 80% затрат на текущие ремонты.

Для предотвращения аварийных отказов, а также для сохранения ресурса автосамосвала, необходимо уметь не только своевременно обнаруживать дефекты, но и оценивать живучесть металлоконструкций, то есть их способность выполнять свои функции несмотря на имеющиеся повреждения с учётом постоянно меняющихся эксплуатационных факторов. Из-за влияния негативных факторов скорость развития дефектов рамы автосамосвала может составлять до 500 мм за полгода эксплуатации, поэтому нередко отказ наступает до очередного запланированного обследования.

Применяемые сегодня методы неразрушающего контроля не могут решить поставленную задачу, а значит, не могут обеспечить безаварийную эксплуатацию автосамосвала.

Таким образом, разработка и реализация методов диагностирования, позволяющих своевременно обнаруживать дефекты, отслеживать их развитие и оценивать живучесть в режиме онлайн мониторинга с учётом воздействия эксплуатационных факторов, а также позволяющих на основе этих данных оперативно принимать управленческие решения, направленные на сохранение ресурса металлоконструкций и предотвращение аварийных отказов, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследований

Вопросами изучения особенностей эксплуатации карьерного транспорта занимались такие ученые и исследователи, как В.В. Аксенов., Л.И. Андреева, А.А. Альшанская, С.А. Арефьев, Т.В. Астахова (Т.В. Донцова), Ю.Н. Барышников, Б.У. Бусел, Г.Д. Буялич, А.Ю. Воронов, Б.Л. Герике, А.С. Довженок, С.В. Доронин, М.Ю. Дрыгин, С.Н. Зарипова, И.В. Зырянов, С.А. Испеньков, М.Ю. Насонов, В.С. Квагинидзе, Д.А. Клебанов, В.Б. Корецкий, И.Л. Кравчук, Т.И. Красникова,

И.В. Кузнецов, Ю.А. Лагунова, В.В. Москвичев, А.В. Менчугин, С.Н. Найден, И.А. Паначев, А.А. Ракицкий, С.С. Сайдуллозода, А.С. Фурман, А.А. Хорешок и др.

Большой вклад в развитие метода акустической эмиссии внесли российские ученые В. М. Баранов, В.А. Барат, О.В. Башков, Г.А. Бигус, С.И. Буйло, С.П. Быков, В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот, В.И. Иванов, А.Я. Недосека, С.В. Панин, Н.А. Семашко, А. Н. Серьезнов, Г.Д. Стенин, Л.Н. Степанова, В.А. Стрижайло, А.С. Трипалин, В.В. Шемякин и др. Из зарубежных исследователей, прежде всего, необходимо выделить работы Н.Л. Dunegan, К. Ono, М. Otsu, А. Pollock, С.В. Scruby, Н.Н.С. Wadley и др.

Метод акустической эмиссии (АЭ) является диагностическим видом неразрушающего контроля, он позволяет выявлять развивающиеся дефекты конструкции с использованием акустических волн, вызванных релаксацией механического напряжения, возникающих при зарождении и развитии дефектов. Разрушение материала вызывает генерацию коротких волновых импульсов, которые преобразуются первичными преобразователями в электрические сигналы акустической эмиссии. Анализируя интенсивность процесса и его энергетические параметры, возможно определить стадию развития и степень опасности выявленного дефекта.

Целью работы является разработка системы технической диагностики для обеспечения безаварийной эксплуатации несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с учетом критерия живучести.

Идея работы состоит в обеспечении постоянного мониторинга развития и оценки возникновения эксплуатационных дефектов металлоконструкций автосамосвалов посредством применения АЭ, что позволяет повысить надежность и эффективность их эксплуатации.

Объектом исследования являются несущие элементы металлоконструкций карьерного автосамосвала.

Предметом исследования является интенсивность сигналов АЭ, излучаемых развивающимися дефектами несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов.

Задачи исследования:

- обосновать метод диагностики для обнаружения и оценки эксплуатационных дефектов металлоконструкций автосамосвалов;
- исследовать живучесть несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с помощью метода акустической эмиссии и обосновать критерий живучести;
- разработать методику проведения АЭ мониторинга (акустико-эмиссионного мониторинга) для определения технического состояния металлоконструкций автосамосвалов;
- выполнить опытно-промышленную апробацию разработанной системы АЭ мониторинга.

Научная новизна:

- разработана методика проведения АЭ мониторинга для диагностики металлоконструкций автосамосвалов;
- разработана система АЭ мониторинга с поочередной регистрацией данных с каналов на основе универсальной платы аналогового ввода;
- установлено, что с учетом критерия живучести ($K_{жив} < 4$) увеличение интенсивности сигналов АЭ характеризует переход от равномерного развития дефекта к ускоренному.

Теоретическая и практическая значимость работы

Научное значение работы состоит в установлении взаимосвязи интенсивности АЭ сигналов и параметров трещиноподобных дефектов, в определении и практическом подтверждении критерия живучести несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанная система технической диагностики несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов позволяет автоматизировать процесс диагностики и получать достоверную и актуальную информацию о техническом состоянии металлоконструкций.

Методы исследований: в работе использован комплекс методов исследования, включающий анализ литературных источников и методов научного обобщения, статистический анализ отказов оборудования парка автосамосвалов, экспериментальные исследования на реальных действующих механизмах, статистический анализ эксплуатационных дефектов и мест выявленных зон повышенной активности сигналов АЭ.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Наиболее объективным признаком, характеризующим зарождающиеся дефекты и позволяющим оценить степень опасности развивающихся дефектов несущих металлоконструкций автосамосвала, является сигнал акустической эмиссии.

2. Разработанный критерий живучести металлоконструкций автосамосвалов позволяет противостоять развитию критических отказов и сохранять работоспособность в условиях воздействия различных негативных факторов.

3. Управление живучестью металлоконструкций автосамосвалов осуществляется по критерию живучести, чем определяется максимально допустимый уровень повреждений, при котором металлоконструкция сохраняет свою функциональность и безопасность в данных условиях эксплуатации.

Достоверность научных результатов подтверждается:

- соответствием теоретических результатов АЭ контроля экспериментальным данным, полученным с использованием разработанной системы диагностики;
- применением проверенных методов математической обработки и статистической проверки результатов;

- использованием измерительно-регистрирующей аппаратуры с погрешностью, не превышающей $\pm 1-2$ дБ по амплитуде сигнала акустической эмиссии;
- положительными результатами апробации разработанной методики на разрезах АО «УК «Кузбассразрезуголь».

Личный вклад автора заключается:

- в разработке системы АЭ-мониторинга, включая разработку датчиков акустической эмиссии, магнитных держателей для датчиков и предварительных усилителей;
- в обработке экспериментальных данных и получении зависимостей интенсивности АЭ сигналов, излучаемых дефектами, от различных эксплуатационных факторов;
- в теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на изучение влияния условий эксплуатации карьерных автосамосвалов на рост дефектов и характеристики сигналов акустической эмиссии;
- в обосновании критерия живучести рамы карьерных автосамосвалов;
- в разработке методики проведения АЭ мониторинга, позволяющей оперативно оценивать опасность обнаруженных дефектов несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов.

Реализация работы

Результаты работы использованы в условиях филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» для получения сведений о дефектах, необходимых для проведения ремонта. Разработанная методика проведения диагностики несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов используется для подготовки горных инженеров при чтении лекций по диагностике горного оборудования и выполнении дипломных проектов.

Апробация работы

Основные научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на XI, XII и XIV международных научно-практических конференциях «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (Междуреченск, 2022, 2023, 2025); VIII международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2022); III международной научно-практической конференция «Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении» (Кемерово, 2022); ежегодных конференциях молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие» (Кемерово, 2022, 2023, 2024, 2025); международных научно-практических конференциях «Научоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2022, 2023, 2025); 16-ой международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2023); XXIII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности», сборник трудов конференции (Екатеринбург, 2025); Материалы

международной научно-практической конференции МИАР-2025-VIII (Санкт-Петербург, 2025).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 113 страниц машинописного текста, включая 57 рисунков, 6 таблиц, 143 наименований работ отечественных и зарубежных авторов и 2 Приложения.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю д.т.н., проф. Б.Л. Герике, д.т.н. В.В. Аксенову, Г.Д. Стенину, И.М. Фридману, А.И. Ефремову, Е.С. Ковалеву, А.Г. Медведеву, В.В. Нестерову за поддержку данного направления работы, ценные научные консультации и практическую помощь при проведении исследований, а также руководству и работникам АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» за оказанную помощь в предоставлении подвижного состава, допуска на производство, организации и проведении технических работ, сотрудникам ООО «Кузбассвязьуголь» за оказанную помощь в проведении экспериментальных исследований. Отдельная благодарность А.С. Ефимову за участие в разработке системы АЭ мониторинга, разработку программного обеспечения сбора и передачи данных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении даны общая характеристика работы, показана актуальность разработки системы технической диагностики несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов, поставлены цель и задачи исследований, сформулированы идея работы, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен аналитический обзор методов диагностики и неразрушающего контроля, применяемых для обследования несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов. Выполнено сравнение методов, показаны их отличительные особенности, преимущества и недостатки.

В результате сравнения установлено, что наиболее перспективным методом диагностики на сегодняшний день является метод акустической эмиссии, потому что он позволяет выполнять диагностику дистанционно, без вмешательства в производственный процесс. Также АЭ метод можно применять в условиях отрицательных температур и при соответствующем подборе датчиков и предварительных усилителей, возможности применения метода будут соответствовать условиям эксплуатации автосамосвалов.

Отмечено, что несмотря на имеющиеся примеры успешного применения АЭ контроля на объектах угольной отрасли, данный метод пока не получил широкого применения на производстве.

В конце первой главы сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлены этапы разработки критериев живучести несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов и указаны дальнейшие направления развития с учётом возможностей АЭ метода.

Наличие дефектов в металлоконструкциях автосамосвала приводит к необходимости оценки их живучести. Под живучестью понимают свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из-за дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта, или сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, или сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов. Современные оценки живучести сводятся в основном к определению критериев, характеризующих переход от стабильного развития дефекта к его критической стадии, т.е. к внезапному разрушению.

На рисунке 1 представлены этапы разработки критериев живучести, и вся дальнейшая работа будет проходить согласно этой схеме.



Рисунок 1 – Этапы разработки критериев живучести на основе АЭ метода (зелёным выделены блоки, разработанные с участием автора)

Можно выделить следующие основные методы оценки живучести металлоконструкций:

1. Классические механические испытания образцов с надрезами с последующим использованием полученных данных для расчётных оценок. В классических испытаниях были получены зависимости критериев, характеризующих

стадию хрупкого разрушения, от таких параметров, как раскрытие трещины, её длина, уровень приложенной нагрузки, расположение в пространстве, температура окружающей среды и др.

Результаты этих испытаний используются при проектировании металлоконструкций автосамосвалов и проверке качества деталей.

2. Лабораторные механические испытания с АЭ контролем. Оказалось, что с помощью АЭ контроля вполне возможно, как отслеживать развитие усталостных трещин, так и оценивать степень их опасности. При проведении испытаний с циклическими изгибами надрезанных образцов (рисунок 2), стало возможным по параметрам сигналов АЭ определять момент перехода от стабильного развития дефекта к его критической стадии. Как видно из графика, при возрастании интенсивности сигналов АЭ в 4 раза и более, можно говорить о наступлении этапа ускоренного роста дефекта.

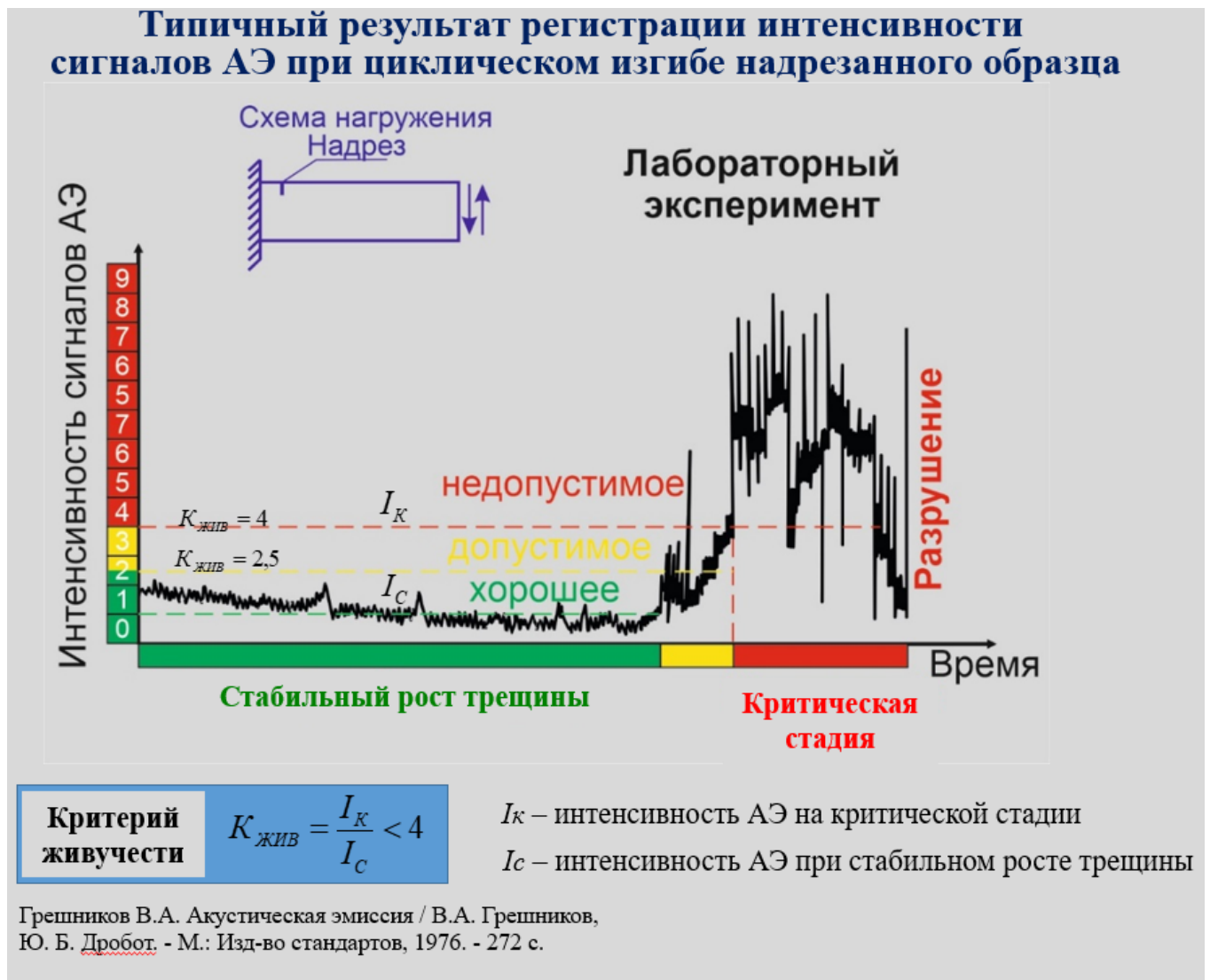


Рисунок 2 – Испытания с АЭ контролем при циклическом изгибе

Другим примером, подтверждающим возможность определения критической стадии развития дефекта по АЭ сигналам, является лабораторный эксперимент (рисунок 3), выполненный Ю.П. Бородиным в составе группы. В данной работе было проведено испытание балки ведущего моста большегрузного автомобиля при циклическом нагружении. В результате оказалось, что интенсивность сигналов АЭ на критической стадии развития дефекта (17,4 имп./с) выше в 4,6 раза, чем при его стабильном росте (3,8 имп./с), что также подтверждает выводы предыдущих испытаний.



Рисунок 3 – АЭ контроль балки ведущего моста большегрузного автомобиля при циклическом нагружении

Таким образом, критерий живучести $K_{\text{жив}} < 4$, полученный при испытании образцов, также является верным для эксперимента с балкой моста большегрузного автомобиля. Далее необходимо было проверить возможность проведения АЭ контроля в производственных условиях и перенести результаты, полученные в лабораторных условиях на карьерный автосамосвал.

3. Испытания металлоконструкций с применением АЭ контроля в производственных условиях на карьерном автосамосвале. С помощью системы АЭ контроля Vulcan была проведена серия испытаний по диагностике корпусов мотор-редукторов (РМК) на автосамосвале БелАЗ 75131, грузоподъемностью 130 т. Выполнялась диагностика новых корпусов РМК, установленных на автосамосвал, так как прежние были разрушены в результате аварии.

На каждый из корпусов было установлено по 4-е датчика акустической эмиссии, с резонансной частотой 450 кГц. В результате АЭ контроля на левом корпусе РМК между датчиками № 0 и №3 была обнаружена зона повышенной активности АЭ сигналов (рисунок 4).



Рисунок 4 – График линейной локации

Для уточнения расположения дефектов была выполнена перестановка датчиков, так был получен график плоскостной локации (рисунок 5).



Рисунок 5 – График плоскостной локации

При осмотре были обнаружены дефекты (рисунок 6) и произведена их выборка.

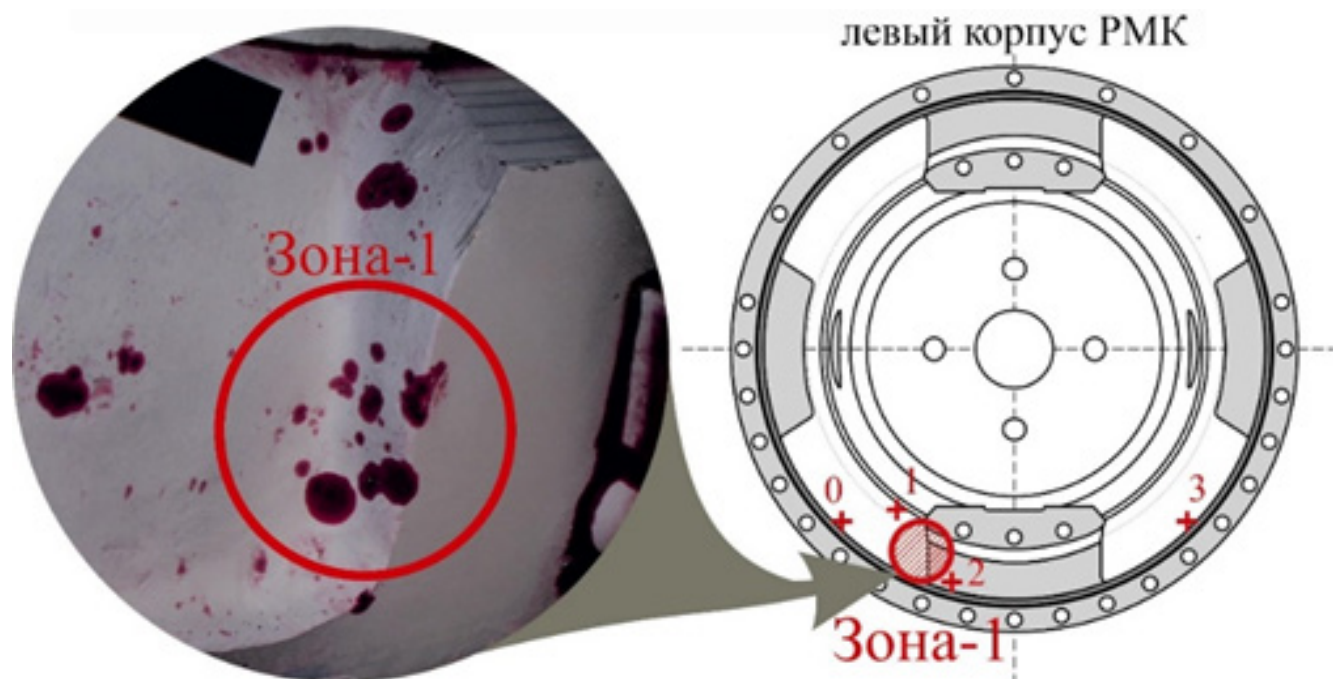


Рисунок 6 – Схема расположения дефектов

После ремонта был выполнен повторный АЭ контроль, который подтвердил хорошее качество выполнения ремонта.

Однако подготовка к проведению АЭ контроля на карьерных автосамосвалах, при условии невмешательства в текущий производственный процесс предприятия, потребовала значительных временных затрат, поэтому разовый АЭ контроль металлоконструкций автосамосвала не нашёл широкого применения на производстве. С учётом этого, единственным, подходящим для данных условий, вариантом применения АЭ метода является постоянный мониторинг.

4. АЭ мониторинг металлоконструкций в производственных условиях.

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

Однако АЭ мониторинг применяется довольно редко из-за высокой стоимости оборудования, поэтому возникла необходимость разработки системы на основе относительно недорогой универсальной платы аналогового ввода.

В третьей главе рассматривается вопрос разработки системы АЭ мониторинга.

В результате проведённой работы, при участии автора, была собрана 4-х канальная система АЭ мониторинга с возможностью поочерёдной регистрации данных с каналов, разработаны преобразователи АЭ и магнитные держатели для датчиков и предварительных усилителей (рисунок 7).



Рисунок 7 – Оборудование для АЭ мониторинга

Система создана на основе платы с одним АЦП, что позволило удешевить систему, однако привело к ограничениям на её использование:

- систему можно использовать только на тех объектах, где испытание можно повторить многократно;

- при регистрации сигнала АЭ с амплитудой порядка 100 дБ, на соседних каналах возникают помехи порядка 45 дБ, поэтому проведение испытания объектов возможно только при уровне порогов дискриминации сигнала не ниже указанного значения. В итоге, появился инструмент, с помощью которого можно проводить исследования на автосамосвалах в производственных условиях.

В четвёртой главе представлены результаты опытно-промышленной апробации системы АЭ мониторинга, в ходе которой выполнялась диагностика участка рамы карьерного автосамосвала БелАЗ 75306 (г/п 220т).

В кабине водителя был расположен системный блок, от которого были проложены коаксиальные кабели к предварительным усилителям и датчикам. Данные с автосамосвала круглосуточно передавались по сети интернет с использованием мобильного usb-модема.

На правый лонжерон рамы автосамосвала, в районе 2-ой перемычки, были установлены три датчика АЭ: № 4, 8 и 12 (рисунок 8). В результате проведённого мониторинга во время работы автосамосвала в карьере, на раме, рядом с датчиками № 8 и 12, было обнаружено два дефектных участка (рисунок 9, 10).

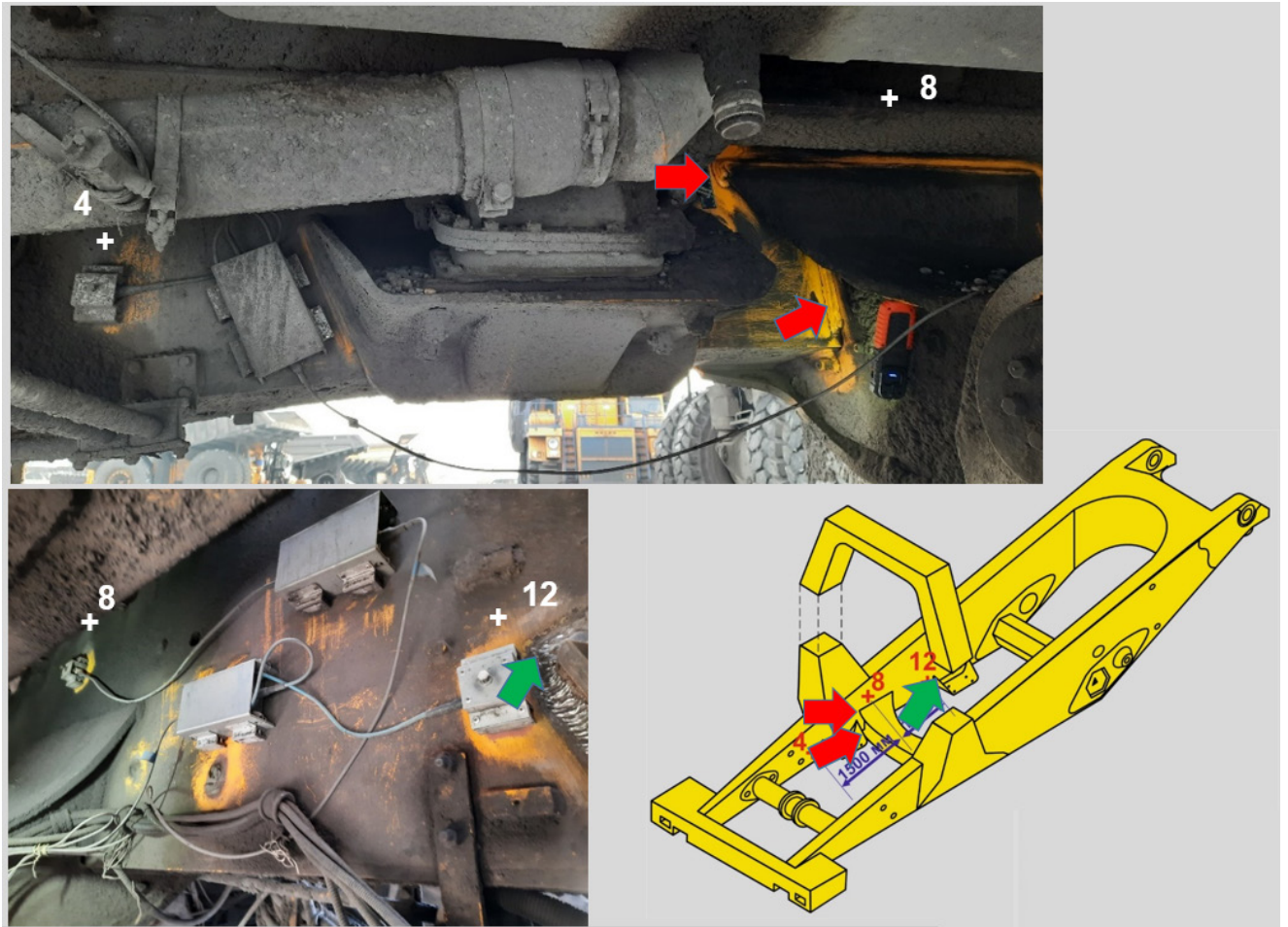


Рисунок 8 – Фото установленных на раме датчиков № 4 и 8

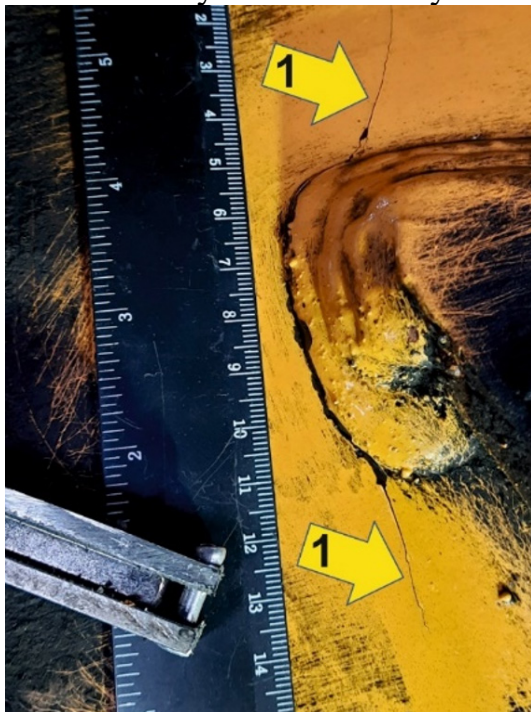


Рисунок 9. Трещина 140 мм, в районе 2-й перемычки (датчик № 8)



Рисунок 10 – Трещина 17 мм в сварном шве опоры двигателя (датчик № 12)

Собранные данные за 20 дней мониторинга позволили построить график (рисунок 11).



Рисунок 11 – Интенсивность АЭ сигналов за 20 дней (датчики № 8 и 12)

Для оценки полученных данных необходимо воспользоваться результатами, полученными при лабораторных механических испытаниях с АЭ контролем (рисунок 2), в которых было установлено, что интенсивность сигналов АЭ на критической стадии развития дефекта в 4 и более раз выше, чем при стабильном его развитии.

С учетом того, что среднее значение интенсивности АЭ сигналов у 8-го (232 имп.) и 12-го (26 имп.) датчиков отличается в 8,9 раз, можно сделать вывод о том, что интенсивность сигналов АЭ у датчика № 8 соответствует критической стадии развития дефекта. В результате установлено, что трещина у датчика №8 достигла критической величины (140 мм) и требует незамедлительного ремонта.

Таким образом, применяя критерий живучести можно в режиме онлайн мониторинга оценивать техническое состояние металлоконструкций автосамосвала и в зависимости от него, проводить соответствующие управленческие мероприятия (рисунок 12).



Рисунок 12 – Оценка технического состояния по критерию живучести

Для проведения диагностики с использованием системы акустико-эмиссионного мониторинга автором разработана методика (рисунок 13).



Рисунок 13 – Методика проведения АЭ мониторинга

Кроме этого, с помощью АЭ мониторинга были исследованы некоторые факторы эксплуатации, влияющие на развитие дефектов. К ним относятся: качество дорог и температурный режим эксплуатации.

В процессе сбора данных были выявлены участки дорог, на которых в основном и происходит развитие дефектов. Регистрация акустических шумов от работы автосамосвала, одновременно с регистрацией сигналов АЭ от дефектов позволила сопоставить время регистрации сигналов АЭ от развивающихся дефектов с режимом работы автосамосвала. В результате был получен график (рисунок 14), на котором показаны данные по шумам и сигналам АЭ за 1 час работы автосамосвала, из которых следует, что наиболее интенсивный рост дефектов происходит на участках, имеющих повреждения дорожного покрытия, в основном на подъезде к отвалу и к месту погрузки.

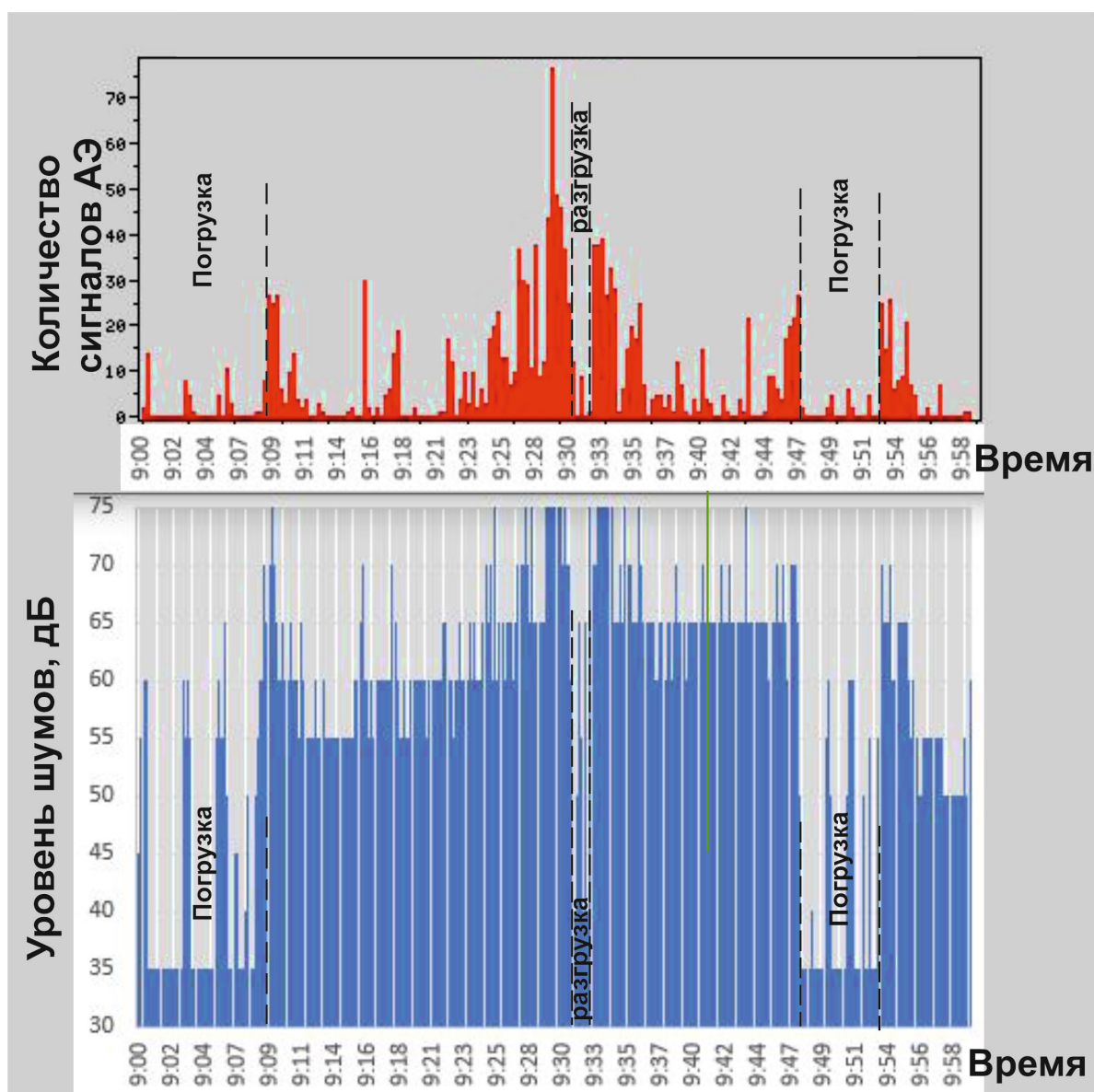


Рисунок 14 – Интенсивность АЭ сигналов и уровень шумов за 1 час работы

Сопоставив температуру окружающего воздуха с интенсивностью сигналов АЭ, излучаемых развивающимися дефектами, был построен график (рисунок 15):

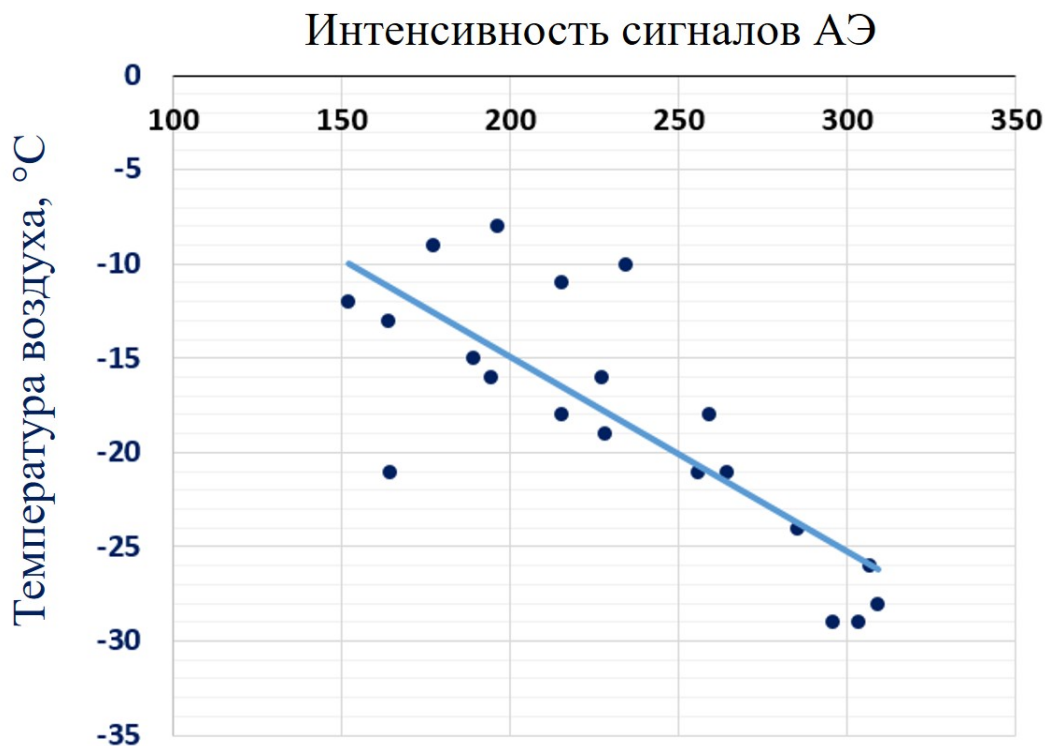


Рисунок 15 – Регистрация АЭ сигналов при низких температурах

По полученному набору точек была построена линейная аппроксимация. Из графика видно, что количество зарегистрированных от дефектов сигналов АЭ при температуре $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет ~ 300 , а при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ 150 сигналов АЭ. Отсюда можно сделать вывод, что при понижении температуры на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, интенсивность сигналов АЭ, а значит и скорость развития дефектов увеличивается в 2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, дано новое решение научно технической задачи, состоящее в обосновании качества оценки технического состояния металлоконструкций карьерных автосамосвалов методами АЭ мониторинга с учетом принятого критерия живучести, что имеет существенное значение для решения проблемы повышения эффективности использования технологического транспорта на угольных предприятиях страны.

В диссертации получены следующие основные научные и практические результаты:

1. На основе анализа методов функциональной диагностики несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов в работе предложен метод акустико-

эмиссионного контроля, позволяющий обнаруживать трещиноподобные дефекты и отслеживать их развитие.

2. Оценки критерия живучести для испытанных образцов с АЭ контролем, характеризующие переход от стабильного развития дефекта к его критической стадии, показали, что его величина должна быть $K_{жив} < 4$. Это нашло своё подтверждение в результатах АЭ-мониторинга металлоконструкций автосамосвала в производственных условиях.

3. Разработанные программа и методика АЭ-мониторинга несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов потребовали для своей реализации разработки специальных средств (системного блока, измерительных преобразователей, магнитных держателей) и программного обеспечения:

- 4-х канальный системный блок для АЭ мониторинга на основе универсальной платы аналогового ввода-вывода, с погрешностью измерений максимальной амплитуды АЭ сигнала, не превышающей $\pm 1-2$ дБ;

- измерительные преобразователи АЭ, с резонансной частотой 200 и 450 кГц;

- магнитные держатели для крепления датчиков и предварительных усилителей;

- программное обеспечение для сбора и передачи данных.

4. В ходе промышленной апробации в условиях филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» установлено следующее:

- наиболее интенсивный рост дефектов происходит на участках, имеющих повреждения дорожного покрытия, в основном на подъезде к отвалу и к месту погрузки, где зарегистрировано до 75 % АЭ сигналов от развивающихся дефектов;

- при понижении температуры в зимнее время на 15 °С (с -10° до -25 °С) скорость развития дефектов увеличивается в 2 раза;

- при проверке качества ремонта с помощью визуально-измерительного контроля установлено, что отсутствуют технологические карты ремонта, пропущены трещиноподобные дефекты.

5. 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.

6. Разработанная система АЭ-мониторинга может быть внедрена в систему диспетчеризации, что позволит получать обслуживающему персоналу достоверную и актуальную информацию о техническом состоянии несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов.

Рекомендации и дальнейшие перспективы разработки темы

Результаты, полученные в исследовании, рекомендованы для применения при диагностике металлоконструкций автосамосвала.

Направления дальнейших исследований:

1. Анализ акустических шумов от работы узлов и механизмов автосамосвала с помощью акустико-эмиссионного метода.
2. Накопление базы данных с АЭ характеристиками дефектов, обнаруженных при АЭ мониторинге металлоконструкций.
3. Разработка технологии АЭ мониторинга несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов, на основе которой станет возможным оценка живучести и прогнозирование ресурса по фактическому состоянию.
4. Интеграция системы мониторинга в систему диспетчеризации ГТК.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 17 работ.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Герике, Б. Л. Оценка живучести несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов / Б. Л. Герике, С. А. Швыдкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 5(175). – С. 12-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2024-5-12-24.
2. Герике Б.Л., Швыдкин С.А. Мониторинг технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 4 (170). С. 128-136. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-128-136.

Статьи в прочих изданиях:

3. Диагностика несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с применением метода акустической эмиссии / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике, Г. Д. Стенин, И. М. Фридман // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы XI Международной научно-практической конференции, Междуреченск, 27–28 апреля 2022 года. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 156.1-156.6.
4. Швыдкин, С. А. Диагностика несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов с применением непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 13–14 апреля 2022 года. – Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске, 2022. – С. 203-206.
5. Герике, Б. Л. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов / Б. Л. Герике, С. А. Швыдкин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2022) : сборник трудов III Международной научно-практической конференции, Кемерово,

19–21 апреля 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 199-205.

6. **Швыдкин, С. А.** Диагностика корпуса редуктора мотор-колеса карьерного автосамосвала / С. А. Швыдкин // Развитие – 2022 : Научное электронное издание, Кемерово, 11–13 мая 2022 года / Рекомендовано к публикации Ученым советом Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 49-57.

7. **Швыдкин, С. А.** Акустико-эмиссионный мониторинг несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 153-157.

8. **Швыдкин, С. А.** Технология акустико-эмиссионного мониторинга металлоконструкций карьерных автосамосвалов / С. А. Швыдкин // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : Материалы XII Международной научно-практической конференции, Междуреченск, 26 апреля 2023 года / Редколлегия: Т.Н. Гвоздкова (отв. редактор), С.О. Марков [и др.]. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 158.1-158.5.

9. **Швыдкин, С. А.** Акустико-эмиссионный мониторинг на объектах угольной отрасли / С. А. Швыдкин // Развитие – 2023 : Сборник трудов конференции, Кемерово, 11–13 мая 2023 года. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2023. – С. 80-85.

10. **Швыдкин, С. А.** Методика проведения постоянного акустико-эмиссионного мониторинга для диагностики металлоконструкций карьерных автосамосвалов / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – № 9. – С. 130-134.

11. Обеспечение безаварийной эксплуатации несущих элементов карьерной техники / С.А. **Швыдкин**, Б.Л. Герике, Ефимов А.С. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых, сборник материалов 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, М: ИПКОН РАН, 2023. – С. 259-262.

12. Диагностика рамы карьерного автосамосвала / С.А. **Швыдкин** // Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие 2024». – С. 50-58.

13. **Швыдкин, С. А.** Диагностика и ремонт несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // Материалы международной научно-практической конференции МИАР-2025-VIII. ФОМ. - 2025. - №15, ISSN 2542-0127, <https://doi.org/10.26160/2542-0127-2025-15-71-76>. – С. 71-76.

14. **Швыдкин, С. А.** Интеграция системы технической диагностики карьерных самосвалов в систему диспетчеризации горнотранспортного комплекса /

С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // XXIII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». г. Екатеринбург – 2025. – С. 486-489.

15. **Швыдкин, С. А.** Акустико-эмиссионный мониторинг беспилотных карьерных самосвалов комплекса / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // XIV Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», г. Междуреченск – 2025. – С. 1.42-1 - 1.42-5.

16. Влияние температурного режима эксплуатации карьерных автосамосвалов на скорость развития дефектов / С.А. **Швыдкин** // Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие – 2025»: сборник трудов конференции, Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2025. – С. 8-16.

17. **Швыдкин, С. А.** Факторы эксплуатации карьерных автосамосвалов влияющие на развитие дефектов / С. А. Швыдкин, Б. Л. Герике // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов / Сиб.гос.индустриальный университет; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2025. - №11. – С. 104-108.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем:

[1-2, 5, 8-11, 14-17] – разработка методики, изготовление макетного образца измерительно-регистрающей аппаратуры, проведение измерений, обработка результатов, выводы.

[3-4, 6-7, 12-13] – диагностика оборудования акустико-эмиссионным методом, обработка результатов.

Подписано в печать 22.09.2025 г.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,0.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Печать лазерная. Тираж 100 экз. Заказ № 247/25.

Фото-полиграфический центр и переплетная мастерская «Фото точка»
650003, г. Кемерово, Бульвар Строителей, 48