

УДК 620.17:658.56

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СТЕНДЫ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ВАГОНОВ*

Приводятся результаты пятнадцатилетней эксплуатации акустико-эмиссионных диагностических стендов для продления срока службы боковых рам и надрессорных балок грузовых вагонов. Дан анализ работы диагностических стендов за время их использования по объемам контроля, производительности, браковке деталей.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, диагностические стенды, усталостные трещины, литые детали вагонов, продление срока службы.

В связи с нехваткой боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов с нормативным сроком службы 30 лет и снижением их выпуска металлургическими заводами в 90-е годы Департамент вагонного хозяйства (ЦВ) ОАО «РЖД» в 2001 году принял решение о продлении срока службы по результатам индивидуальных испытаний каждой детали с истекшим сроком эксплуатации [1].

Ранее проведенные исследования [2–6] позволили разработать методику и автоматизированные стенды для диагностирования боковых рам и надрессорных балок на основе акустической эмиссии (АЭ). Сравнительные испытания акустико-эмиссионных стендов и феррозондовых и вихретоковых дефектоскопов в вагонном депо Нижнеудинска (2001 г.) показали их значительно более высокую вероятность обнаружения дефектов (85 % – СЦАД-16 и 74 % – А-Line) по сравнению с феррозондовым (42 %) и особенно вихретоковым (35 %) методами.

Начиная с 1998 года свыше 110 вагонных ремонтных предприятий были оснащены АЭ-стендами, разработанными в Сибирском государственном университете путей сообщения (СГУПС) совместно с Сибирским НИИ авиации (СЦАД-16) и в ПКБ ЦВ ОАО «РЖД» совместно с ООО «Интерюнис» (А-Line) [1]. Продление срока службы литых деталей методом АЭ производится в соответствии с методикой № 682-2005 ПКБ ЦВ.

При активной поддержке В. А. Гапановича, работавшего в указанный период заместителем начальника ЗСЖД, были разработаны установки АЭ-метода, подтвердившие его эффективность для диагностирования других объектов железнодорожного транспорта (серповидная подвеска электропоезда, кольца подшипников всех типоразмеров, карданный

вал ЧС-2, колесная пара вагона и локомотива, котел цистерны для нефтебензиновых продуктов, рельсы, тяговый хомут автосцепного устройства) [7–11].

Диагностические акустико-эмиссионные стенды

Автоматизированные многоканальные акустико-эмиссионные диагностические стенды на основе СЦАД позволяют определять координаты источников сигналов АЭ и их характеристики с одновременной регистрацией параметров нагружения и содержат следующие блоки: акустико-эмиссионная система СЦАД 16.03; 17 пьезоэлектрических широкополосных преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ) ПШК 0,1-0,7; 16 предварительных усилителей, имитатор сигналов АЭ (рис. 1, а); нагружающее устройство НУ-01Р/02Р (рис. 1, б, в) [7].

Основные этапы АЭ-контроля объекта диагностирования в соответствии с методикой № 682-2005 включают: подготовку к контролю; проведение испытаний; оценку результатов и оформление протокола. Подготовка к контролю заключается в подготовке объекта контроля; подготовке диагностирующего оборудования; настройке аппаратуры. Основной областью применения АЭ является обнаружение развивающихся в объекте контроля дефектов [12, 13].

Схема расстановки ПАЭ на боковой раме и надрессорной балке, представленная на рис. 2, рассчитана по результатам тензометрических измерений при механическом нагружении этих деталей. Количество устанавливаемых ПАЭ – 16 на боковой раме и 12 на надрессорной балке [6, 7].

При диагностировании объекта контроля максимальное нагружение должно превышать эксплуатационную нагрузку согласно технологическому регламенту не менее чем на 5...10 %, но не более чем на 25...30 %.

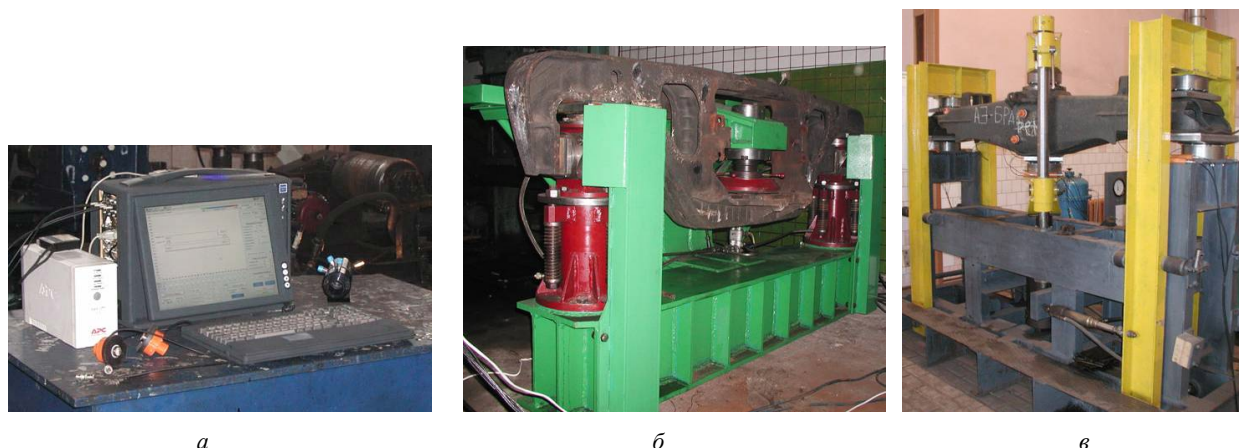


Рис. 1. Акустико-эмиссионная система САД 16.03 (а); нагрузочные стелды боковых рам (б) и надрессорных балок (в)

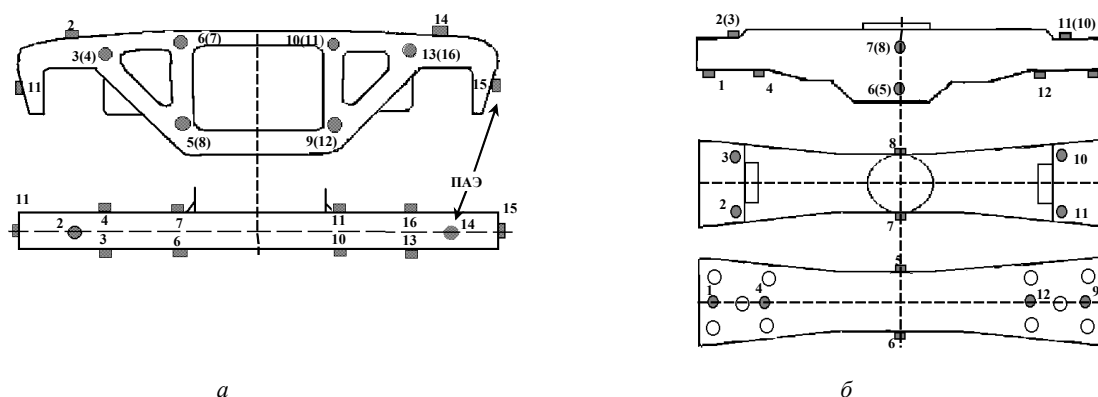


Рис. 2. Схема расстановки ПАЭ на боковой раме (а), надрессорной балке (б) при АЭ-контроле с использованием системы САД

Нагружение боковой рамы осуществляется в двух направлениях:

- горизонтальное нагружение на челюсти буксового проема до 12 тс;

- вертикальное нагружение на рессорную площадку с опорой на буксовые проемы до 36 тс.

Вертикальное нагружение надрессорной балки осуществляется в двух положениях: изгиб балки вверх до 72 тс; изгиб балки вниз на подпятник до 64 тс.

Схема механического нагружения литых элементов тележки при диагностировании рассчитана исходя из реально действующих нагрузок при эксплуатации вагона и экспериментально проверена в лабораторных условиях [7].

Определение пригодности литых деталей тележек грузовых вагонов для дальнейшей эксплуатации проводится с разделением всех обнаруженных источников АЭ на два класса в зависимости от рассчитанного модифицированного интегрального критерия. При оценке результатов контроля используется интегральный критерий, учитывающий значение N_{max} – максимальное число локализованных сигналов АЭ, пришедших из зоны контроля; значение A_{cp} – среднее значение амплитуды сигналов АЭ, пришедших из указанной зоны и зафиксированных ближайшими к источнику каналами; k_{Σ} – коэффициент корреляции [6]. В таблице представлены критерии для

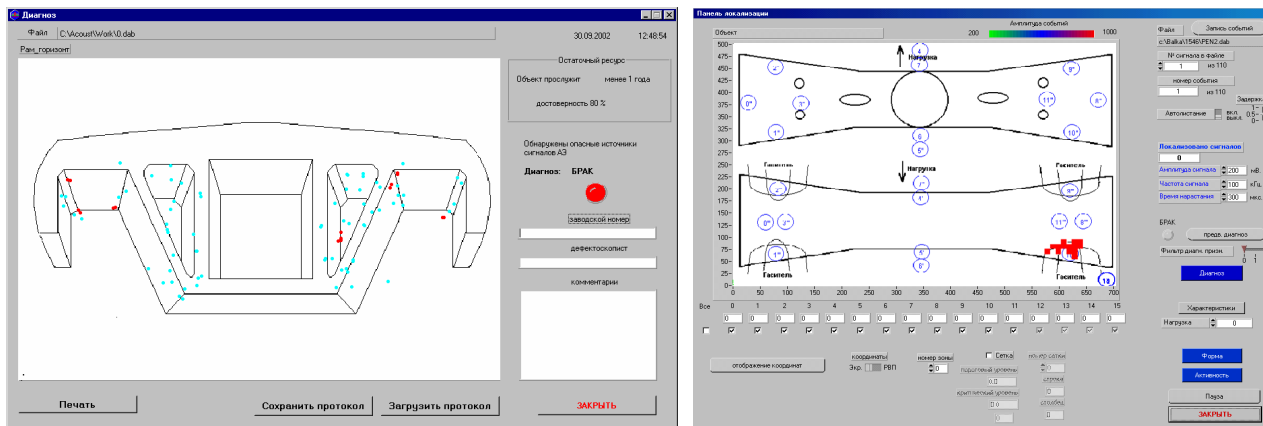
определения класса источника АЭ в литых деталях тележек грузовых вагонов.

Критерии оценки класса источника АЭ

Критерии	$N_{max} < N_{\phi}$	$N_{\phi} \leq N_{max} < N_{бр}$	$N_{max} \geq N_{бр}$
$A_{cp} < A_1$	1	1	2
$A_1 < A_{cp} < A_2$	1	1/2	2
$A_{cp} > A_2$	1	1/2	2

Уровни фиксации и браковки N_{ϕ} , $N_{бр}$, A_1 , A_2 определяются на основании экспериментальных данных для различных зон контроля детали [7]. На основе установленных уровней браковки система САД автоматически локализует место источника излучения сигналов АЭ и регистрирует в протоколе контроля «брак» или «годен» при отсутствии растущих трещин (рис. 3).

Процесс продления срока службы деталей организован следующим образом. На первом этапе испытаний производится визуально-измерительный контроль, по результатам которого выбраковываются литые детали с видимыми дефектами. Далее следуют этапы традиционных методов контроля – феррозондовый и магнитопорошковый в определенных зонах деталей (технологические окна, буксовый проем). В случае выявления дефектов любым из указанных методов деталь также выбраковывается.



а

б

Рис. 3. Протоколы контроля боковой рамы (а), надрессорной балки (б)

Случаи, когда дефект не выявляется традиционными методами, могут иметь место, если дефект внутренний или недоступен для контроля (например, высокая шероховатость, галтельные переходы), или размеры дефекта находятся вне области чувствительности данных методов. Детали, не забракованные по результатам магнитных и вихретоковых методов, поступают на операцию АЭ-контроля. Надежность и достоверность контроля при продлении срока службы детали обеспечивается всеми используемыми методами [14–19]. Вопросы структуроскопии при неразрушающем контроле объектов железнодорожного транспорта рассмотрены в [20–30].

Анализ результатов

С начала внедрения в 1998 году АЭ-метода усилиями СГУПС в вагонных депо Кемерово и Инская (ЗапСибЖД), Тосно (ОктЖД) наблюдается рост числа испытанных деталей (рис. 4). Из рис. 5 следует, что производительность системы СЦАД с учетом установки 16 ПАЭ, как правило, выше, чем системы А-Line [19].

К 2005 году завершено оснащение головных вагонных ремонтных депо АЭ-стендами СЦАД и А-Line. Наблюдается ежегодный рост числа диагностированных боковых рам и надрессорных балок при продлении срока службы по всем депо ОАО «РЖД» (рис. 6, а). Анализ результатов пятнадцатилетнего срока эксплуатации АЭ-стендов до 2008 года дает

устойчивую тенденцию к снижению числа бракуемых деталей (рис. 6, б).

В 2009 году ЦВ ОАО «РЖД» принял решение ограничить объемы контроля боковых рам и не проводить продление срока службы надрессорным балкам, оставив АЭ-контроль только для инвентарных балок и после сходов тележек, поэтому объем АЭ-контроля снизился (рис. 6, а, в).

Из рисунка 6, б следует, что с 2009 года наблюдается рост числа бракованных деталей, что связано с опытным вводом по приказу ЦВ ОАО «РЖД» в некоторых депо АЭ-контроля при проведении ТО-3 для разработанных новых боковых рам коробчатого сечения после двухлетнего пробега, у которых из-за неотработанной технологии имеет место низкое качество литья [19].

По результатам АЭ-диагностики к 2013 году продлен срок службы более 800000 боковым рамам и свыше 200000 надрессорным балкам с 30 лет до 38 лет полезного использования (рис. 7). За год на каждой установке АЭ-контроля в разных депо испытывается от 600 до 2000 боковых рам. Особо следует отметить, что ни одна из деталей с продленным сроком службы после АЭ-контроля не отказала в процессе эксплуатации [19]. Внедрение работ по продлению срока службы литых деталей тележек грузовых вагонов позволило сэкономить ОАО «РЖД» к 2010 году более 12 млрд руб.

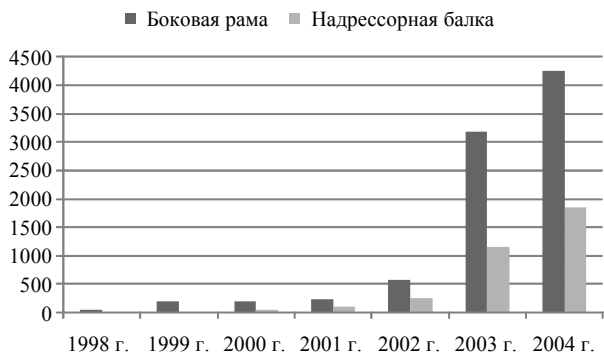


Рис. 4. Рост числа испытанных деталей стендами СЦАД на начальной стадии внедрения

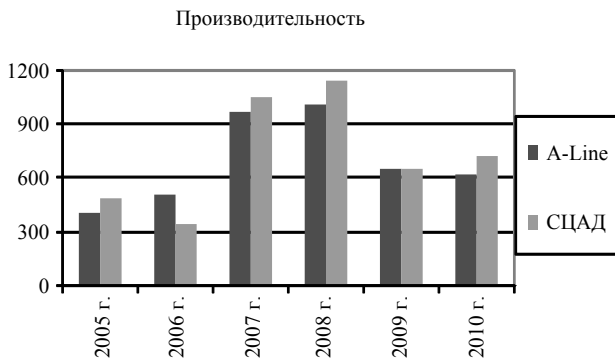


Рис. 5. Производительность систем АЭ-контроля А-Line и СЦАД по годам

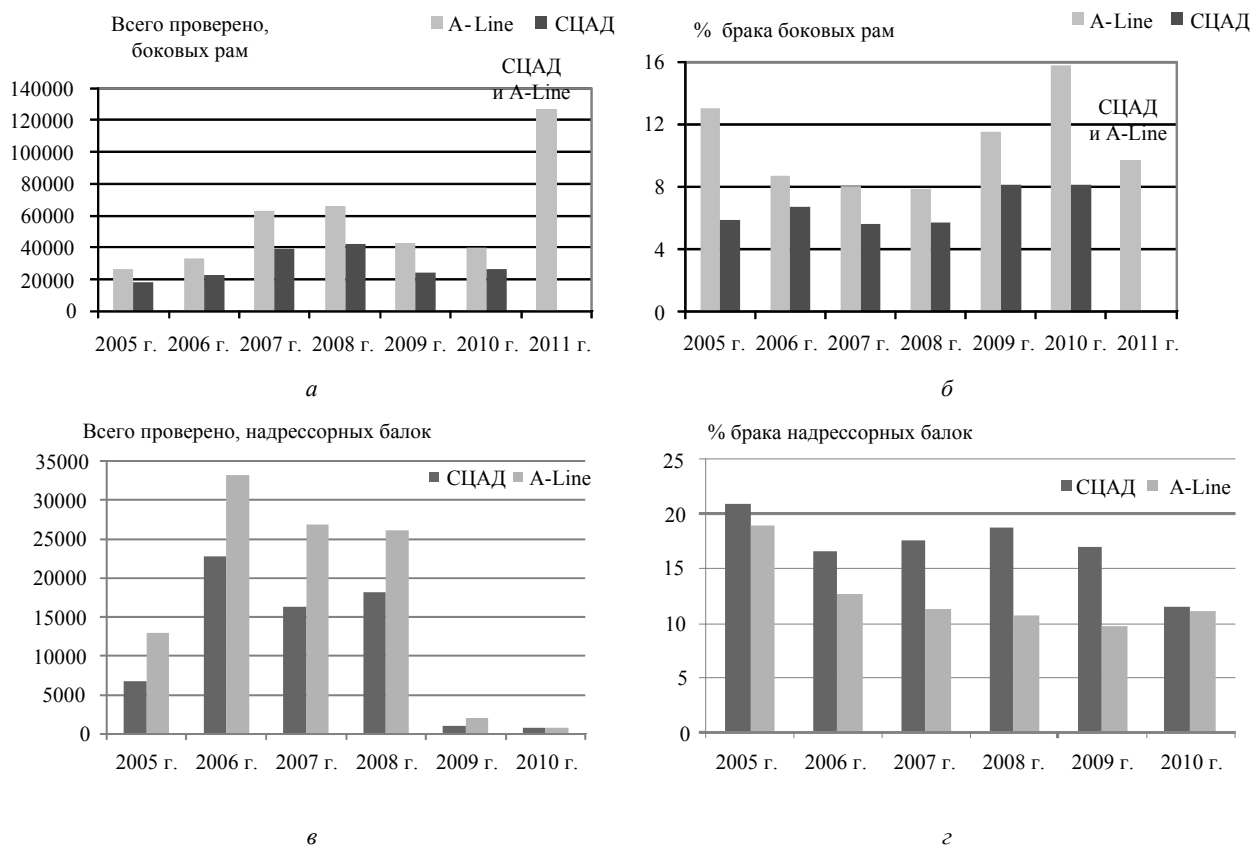


Рис. 6. Результаты АЭ-контроля боковых рам и надрессорных балок по продлению срока службы (а, в) и выявление бракованных деталей по годам (б, г) с использованием систем СЦАД и A-Line

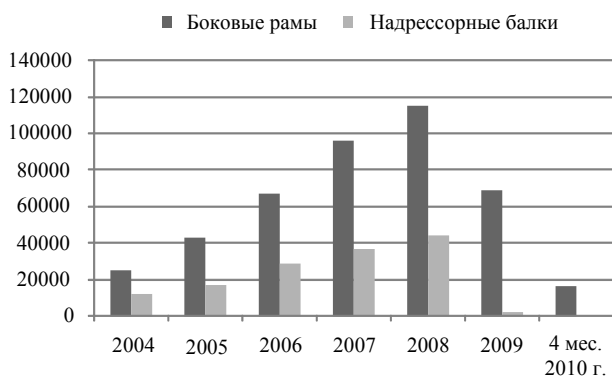


Рис. 7. Продление срока службы литых деталей вагонов (по данным ЦВ ОАО «РЖД»)

Выводы

Результаты пятнадцатилетней эксплуатации акустико-эмиссионных стендов при продлении срока службы литых деталей грузовых вагонов показали высокую эффективность и производительность метода АЭ (до 85 % обнаружения дефектов). Схема нагружения и размещение преобразователей АЭ на боковых рамах и надрессорных балках обеспечивают достоверность диагностирования. За время работы стендов продлен срок службы около 1 млн деталей. В разные годы эксплуатации стендов браковка деталей колебалась от 6 до 16 %. После АЭ-контроля не зарегистрировано отказов деталей с продленным сроком службы в процессе эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Муравьев В. В. Разработка автоматизированных систем диагностики деталей подвижного состава и конструкций пути // Деформация, локализация, разрушение : сб. статей / под ред. Л. Б. Зуева. – Томск : Изд-во НТЛ, 2005. – С. 127–144.
2. Муравьев В. В., Глухов Б. В., Харитонов Б. В. Исследование факторов, влияющих на износ ободьев колес // Износ рельсов и колес подвижного состава : монография / под ред. К. Л. Комарова, Н. И. Карпушенко. – Новосибирск : Изд-во СГАПС, 1997. – С. 124–135.
3. Муравьев В. В. Основы создания и использование современных систем диагностики для продления ресурса элементов и узлов подвижного состава и конструкций пути // Современные технологии строительства, ремонта и эксплуатации путевого хозяйства ЗСЖД : монография / под ред. В. И. Старостенко. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2001. – С. 54–78.
4. Патент РФ № 2240551 С2 RU. Способ диагностирования мостовых металлических конструкций и устройство для его осуществления / Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев, В. М. Круглов [и др.]. Заявл. 20.06.2001; опубл. 27.06.2003, Бюл. № 32. – М., ФИПС. – 20 с. : ил.
5. Муравьев В. В., Муравьев М. В., Бехер С. А. Применение новой методики обработки сигналов АЭ для повышения точности локализации дефектов // Дефектоскопия. – 2002. – № 8. – С. 15.
6. Муравьев В. В., Степанова Л. Н., Кареев А. Е. Оценка степени опасности усталостных трещин при акустико-эмиссионном контроле литых деталей тележки грузового вагона // Дефектоскопия. – 2003. – № 1. – С. 63–68.

7. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев [и др.] : монография / под ред. Л. Н. Степановой, В. В. Муравьева. – М. : Машиностроение ; Машиностроение-Полет, 2004. – 368 с.

8. *Muraviev V. V.* Revealing of Growing Defects and their Hazard Evaluation in Industrial Objects Proceedings of 35-th International Conference “Defectoscopy 2005” (8–10.11.2005, Znojmo, Czech Republic). – Brno University of Technology. – P. 163–164.

9. Патент RU № 2296320 С1 РФ. Акустико-эмиссионный способ диагностирования колесных пар железнодорожного подвижного состава и устройство для его осуществления / Л. Н. Степанова, В. В. Ивлиев, В. В. Муравьев [и др.]. Заявл. 07.09.2005; опублик. 27.03.2007, Бюл. № 9. – М., ФИПС. – 16 с. : ил.

10. *Муравьев В. В., Муравьев М. В., Муравьев Т. В.* Разработка акустико-эмиссионной методики контроля рельсов в эксплуатации // Вестник Сиб. гос. ун-та путей сообщения. – 2005. – Вып. 12. – С. 62–72.

11. *Муравьев В. В., Степанова Л. Н.* Автоматизация измерений, контроля и испытаний : учеб. пособие. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2006. – 242 с.

12. *Буденков Г. А., Недзвецкая О. В., Бахтин А. В.* К регистрации волн акустической эмиссии, излучаемых усталостными трещинами // Дефектоскопия. – 1997. – № 9. – С. 61–70.

13. Оценка возможностей метода акустической эмиссии при контроле магистральных трубопроводов / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, В. Н. Сергеев, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. – 2000. – № 2. – С. 29–36.

14. *Муравьев В. В.* Использование метода акустической эмиссии для диагностирования объектов железнодорожного транспорта // Неразрушающий контроль и техническая диагностика : Тезисы докл. XVIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Н. Новгород, 29 сент. – 03 окт. 2008 г.). – М. : Машиностроение, 2008. – С. 246–247.

15. *Муравьев В. В.* Акустико-эмиссионный контроль деталей ходовой части грузовых вагонов // Прочность, пластичность и разрушение: физика и инженерный подход / ИФПМ СО РАН ; отв. ред. Л. Б. Зуев. – Томск : Изд-во НТЛ, 2009. – С. 161–174.

16. *Муравьев В. В.* Новые технологии автоматизированного акустического контроля деталей и конструкций железнодорожного транспорта // Прочность и пластичность материалов при внешних энергетических воздействиях / ИФПМ СО РАН ; СибГИУ ; под ред. В. Е. Громова. – Новокузнецк : Интеркузбасс, 2010. – С. 351–380.

17. *Muraviev V. V.* Diagnostics of Rolling Stock Details and Way by Acoustic Emission Technique // Abstracts. 10-th European Conference on Non-Destructive Testing. Moscow. June 7-11, 2010. Part 1. 2-nd edition. – М. : Publishing House Spectr, 2010. – P. 306–307.

18. *Муравьев В. В., Муравьева О. В.* Акустико-эмиссионный контроль боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов // Тезисы докл. XIX Всерос. науч.-

техн. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике (Самара, 6–8 сентября 2011 г.). – Изд-во Гос. аэрокосмического ун-та. – С. 344–347.

19. *Муравьев В. В.* Анализ результатов эксплуатации акустико-эмиссионных стендов для контроля литых деталей тележек железнодорожных грузовых вагонов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 136–143.

20. *Зуев Л. Б., Муравьев В. В., Данилова Ю. С.* О признаке усталостного разрушения сталей // Письма в Журнал технической физики. – 1999. – Т. 25. – № 9. – С. 31–34.

21. *Муравьев В. В., Коробейникова О. В.* Влияние структурных и технологических факторов на процессы распространения акустических волн при неразрушающем контроле осей колесных пар вагонов // Структура и свойства перспективных металлических материалов / под общ. ред. А. И. Потекаева. – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – С. 405–438.

22. *Муравьев В. В., Коробейникова О. В.* Закономерности распространения стержневых волн в термически обработанных деформируемых стальных проволоках // Структурно-фазовые состояния перспективных металлических материалов / ИФПМ СО РАН ; СибГИУ ; отв. ред. В. Е. Громова. – Новокузнецк : Изд-во НПК, 2009. – С. 351–374.

23. Оценка остаточных напряжений в ободьях вагонных колес электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак [и др.] // Дефектоскопия. – 2011. – № 8. – С. 16–28.

24. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / В. В. Муравьев, С. Ю. Петров, А. В. Платунов и [др.] // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.

25. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Н. В. Абабков, Э. В. Козлов, В. В. Муравьев [и др.] : монография / под ред. А. Н. Смирнова. – М. : Машиностроение, 2011. – 256 с.

26. Патент № 127931 РФ. Электромагнитно-акустический преобразователь / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Е. Н. Балобанов, Л. В. Волкова. Дата регистрации 23.11.2012.

27. Методика определения акустических структурных шумов металла / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, А. В. Байтеряков, А. И. Дедов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 143–148.

28. Патент на полезную модель № 130082 РФ. Устройство ультразвукового контроля цилиндрических изделий / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Захаров. Заявл. 12.03.2013; опублик. 10.07.2013, Бюл. № 19. – 3 с. : ил.

29. *Муравьев В. В., Волкова Л. В., Балобанов Е. Н.* Контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 22–28.

30. *Муравьев В. В., Волкова Л. В.* Оценка величины натяга бандажей локомотивных колес методом акустоупругости // Дефектоскопия. – 2013. – № 9. – С. 40–46.

V. V. Muraviev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Automated Diagnostic Installations for Service Life Prolongation of Cars Cast Parts

The results of 15-year exploitation of acoustic emission diagnostic installations for service life prolongation of freight car solebars and bolsters are presented. The analysis of the diagnostic installations operation on the control volume, productivity, part rejection during their use is given.

Key words: acoustic emission, diagnostic installations, fatigue cracks, cast truck freight cars, service life prolongation.