

УДК 620.179.16

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-41-48

Ультразвуковой контроль поверхности катания железнодорожных вагонных колес и бандажей локомотивов с использованием рэлеевских волн*

А. В. Платунов, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;
УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия

О. В. Муравьева, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;
УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия

Ультразвуковой контроль поверхности цилиндрических объектов эхо-методом с использованием рэлеевской волны имеет многие преимущества. Несмотря на строгие требования к очистке поверхности, метод широко реализуется в отраслях промышленности и транспорта, например на поверхности катания цельнокатаных колес или бандажей подвижного состава железных дорог. Учитывая способность преобразователя рэлеевской волны принимать волны побочным («задним») лепестком диаграммы направленности, влияние на результаты контроля возможных загрязнений или избытка контактной жидкости на поверхности ввода, объяснить положение и амплитуду сигнала становится особенно сложно.

С помощью математического моделирования и экспериментальных исследований получены диаграммы направленности пьезопреобразователей рэлеевских волн, на которых присутствует «задний лепесток», характерный для пьезопреобразователей такого типа. Эффективность излучения и (или) приема зависит от параметров контроля и аппаратуры; это влияние более выражено при отклонении ширины пьезоэлемента преобразователя (например, при изготовлении) и изменении частоты в пределах 20 %, допускаемых ГОСТ Р 55724–2013.

Экспериментально построен и проверен на модели акустический тракт рэлеевской волны, отразившейся от дефекта диаметром 7 мм на поверхности катания колеса. Показано, что амплитуда эхо-сигнала изменяется неравномерно, локальные максимумы, полученные экспериментально, достигают 9 дБ относительно экспоненциальной зависимости, характерной для распространения по безграничной поверхности. Причина таких явлений лежит в многократных переотражениях волн от границ на поверхности катания железнодорожных вагонных колес и бандажей локомотивов (фаска обода, галтельный переход к гребню) и дальнейшей их интерференции.

Ключевые слова: рэлеевские волны, моделирование, железнодорожные вагонные колеса и бандажи локомотивов.

Введение

Ультразвуковой контроль поверхности цилиндрических объектов эхо-методом возможен с использованием рэлеевской волны, при этом очевидны преимущества: не требуется сканирование, высокая производительность. Несмотря на строгие требования к очистке поверхности, метод широко реализуется в отраслях промышленности и транспорта, например на поверхности катания цельнокатаных колес или бандажей подвижного состава железных дорог.

Учитывая способность преобразователя рэлеевской волны принимать волны побочным («задним») лепестком диаграммы направленности, влияние на результаты контроля возможных загрязнений или избытка контактной жидкости на поверхности ввода, объяснить положение

и амплитуду сигнала становится особенно сложно.

Многими научными коллективами продолжается поиск приложения рэлеевских волн при неразрушающем контроле и исследовании их информативных параметров [1, 2]. Разрабатываются ЭМА-преобразователи для возбуждения и приема рэлеевских волн [3], применяются методы отражения и теневые методы контроля [4–7].

В работе [8] решается задача распространения поверхностных волн в длинноволновом приближении в среде с повреждениями, показано, что микронеоднородность среды приводит к дисперсии поверхностных волн. Часть работ посвящены измерению скорости рэлеевской волны и ее корреляции со структурным состоянием объекта [9, 10]. В работе [11] по отклонению скорости по-

© Платунов А. В., Муравьев В. В., Муравьева О. В., 2023

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00252 (<https://rscf.ru/project/22-19-00252>) с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий» (рег. номер: 586308).

верхностной волны исследовали влияние эксплуатационных нагрузок на деструктуризацию металла поверхностного слоя шейки оси вагонных колесных пар; в работе [12] авторы оценивают по скорости рэлеевской волны структурное состояние прутков в состоянии поставки и после разной термообработки. Изменение скорости рэлеевской волны оказалось информативно для определения структурного состояния и после навивки прутков в рессорные пружины подвижного состава с дальнейшей их высокотемпературной механической обработкой [13]. Ведутся работы по повышению точности и упрощению процедуры определения скорости рэлеевских волн [14]. В работе [15] рэлеевские волны исследуют на предмет структурных шумов стали 20ГЛ, которая широко используется при изготовлении деталей подвижного состава, и их связи с НДС и пластической деформацией металла. Проводятся исследования чувствительности ЭМА-преобразователей для возбуждения рэлеевских волн к эксплуатационным дефектам различного размера и наклона [16]. Опробуется в производственных условиях методика опреде-

ления степени натяга при напрессованном сочленении двух деталей с помощью рэлеевских волн [17]. В работе [18] авторами предложен способ контроля изделий с плоской и криволинейной поверхностью рэлеевскими волнами в иммерсионном варианте, как трещин, так и дефектов с гладким профилем глубиной от долей длины волны.

С целью оценки влияния на амплитуду эхосигнала параметров аппаратуры проведено исследование серий диаграмм направленности, полученных моделированием и экспериментально, рассчитан акустический тракт рэлеевской волны для бандажей и цельнокатаных железнодорожных колес.

Объекты контроля. Используемые подходы

При контроле поверхности катания бандажей и цельнокатаных железнодорожных колес рэлеевской волной используется эхо-метод. Однако при расшифровке эхограмм, полученных на поверхности катания, возникают трудности: амплитуда эхо-сигнала немонотонно меняется при увеличении расстояния до отражателя (рис. 1).

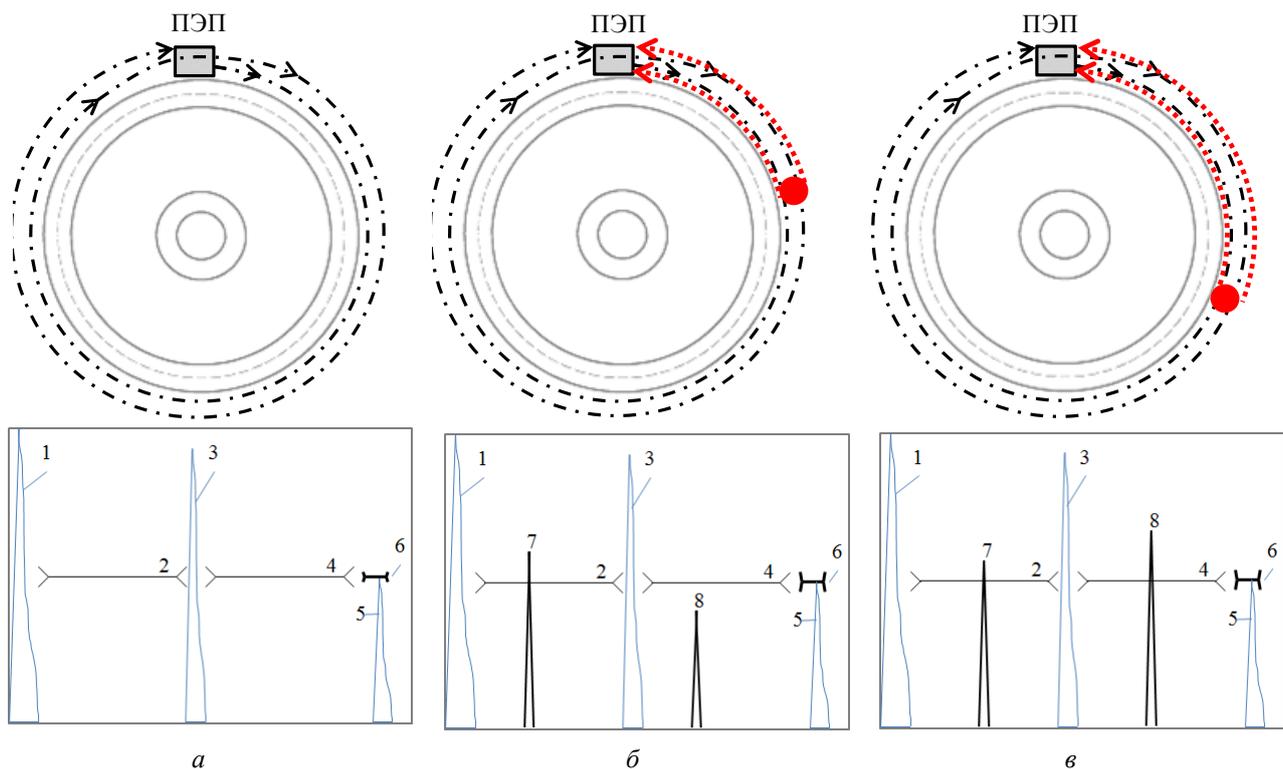


Рис. 1. Ход луча и А-развертка экрана дефектоскопа при отсутствии дефектов (а) на поверхности катания колеса, при наличии дефекта на расстоянии Y_1 от преобразователя (б), при наличии дефекта на расстоянии $Y_2 > Y_1$ (в): 1 – зондирующий импульс; 2, 4 – зона контроля; 3 – первый «сквозной» импульс; 5 – второй «сквозной» импульс; 6 – зона автоматической регулировки усиления; 7 – первый эхо-сигнал от дефекта; 8 – второй эхо-сигнал от дефекта

Fig. 1. The ray path and A-scanning of the flaw detector screen in the absence of defects (a) on the wheel tread, in the presence of a defect at a distance Y_1 from the transducer (b), in the presence of a defect at a distance $Y_2 > Y_1$ (v): 1 - probing pulse; 2, 4 - control zone; 3 - first "through" pulse; 5 - second "through" pulse; 6 - automatic gain control zone; 7 - first echo-signal from the defect; 8 - second echo-signal from the defect

Для проведения экспериментальных исследований выбраны объекты – настроечные образцы цельнокатаного колеса грузового вагона НО НК В.2-DR4, выполненные по ПР НК В.2 «Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования» и содержащие искусственный отражатель – засверловку диаметром 7 мм и глубиной 3 мм; плоский металлический лист (сталь 09Х2С) толщиной 12 мм. Эксперимент проводился с использованием ультразвукового одноканального дефектоскопа УД2-102ВД, зав. № 3139 (свидетельство о поверке № С-БН/30-04-2021/62229210 до 29.04.2022; № ФГИС № 62229210) с комплектом преобразователей поверхностных волн П121-0,4-90; в качестве контактной жидкости применялось масло индустриальное И-50А.

При контроле поверхности катания дефектоскоп настраивался в соответствии с требованиями ТИ НК В.21-1-2019 «Технологическая

инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Ультразвуковой метод». При исследовании акустического тракта преобразователь многократно устанавливался на поверхность катания, постепенно удаляясь от искусственного отражателя.

Результаты и обсуждение

Для объяснения особенностей распространения рэлеевской волны проведены расчет и анализ акустического тракта пьезопреобразователей рэлеевских волн, выявление закономерностей распространения таких волн по ограниченной цилиндрической поверхности.

Модель диаграммы направленности преобразователя П121-0,4-90 рассчитана с использованием ПО «SuperSound» и представлена на рис. 2

Диаграмма направленности экспериментально измерена на плоском объекте с использованием двух одинаковых П121-0,4-90 и показана на рис. 3.

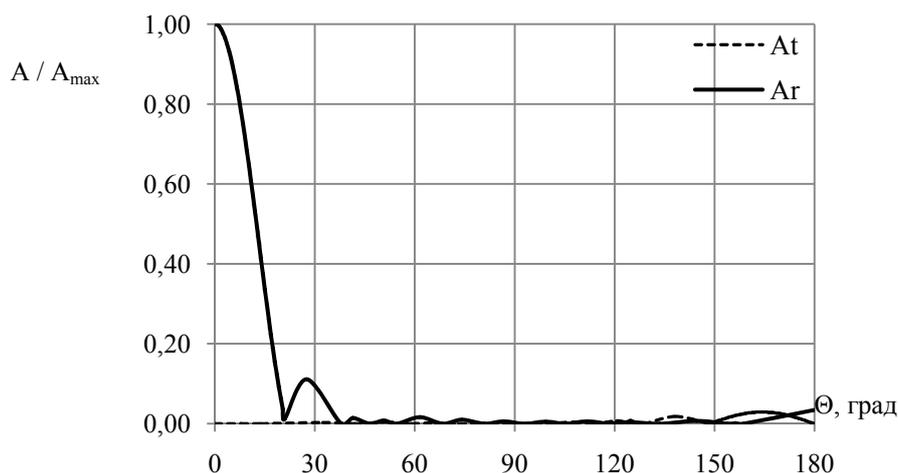


Рис. 2. Расчетная диаграмма направленности преобразователя П121-0,4-90: A_t – амплитуда смещений поперечной, A_r – рэлеевской волн

Fig. 2. Calculated ray diagram of the transducer P121-0,4-90: A_t – shift amplitude of transverse, A_r – Rayleigh waves

Амплитуды смещений рэлеевской (r) волны рассчитаны относительно амплитуды основного лепестка диаграммы, принятого за единицу. Преобразователь создает побочные лепестки в диапазоне $\Theta \approx 27^\circ$ и амплитудой порядка 10 %, а также около 2 % при Θ около 60° . При угле акустического поля $\Theta \approx 180^\circ$ формируется так называемый «задний» лепесток амплитудой не более 4 %. Стоит отметить, что излучение за счет «заднего» лепестка диаграммы направленности незначительно, обратное направление эффективно только для приема сквозных сигналов, имеющих большую амплитуду.

Эта особенность диаграммы направленности используется на практике: с использованием «заднего» лепестка. При этом регистрируются первый и второй «сквозной» импульсы (полностью прошедший сигнал по кругу, рис. 1, а) на поверхности катания цельнокатаных колес и бандажей, причем от амплитуды второго зависит коэффициент усиления дефектоскопа и в конечном счете – амплитуда эхо-сигнала от дефекта (Дымкин Г. Я., Гурвич А. К., Костюк О. М. Способ ультразвукового контроля цилиндрических изделий. Патент на изобретение № 2032171).

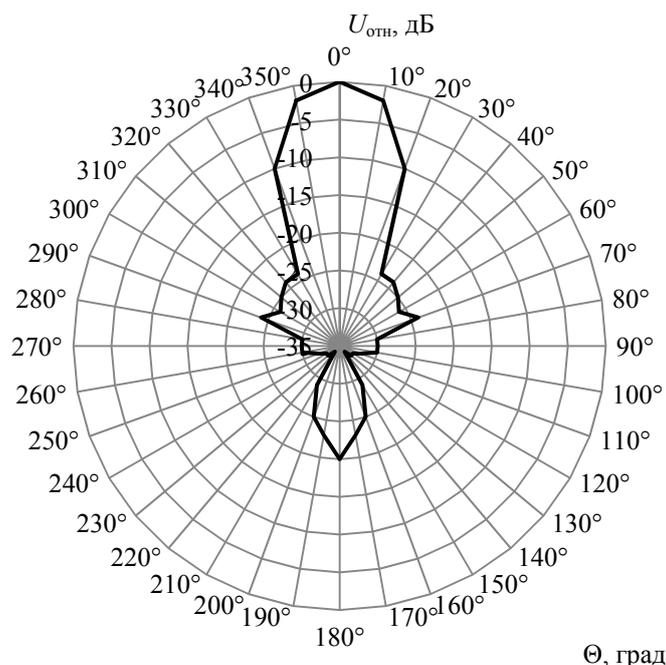


Рис. 3. Экспериментальная диаграмма направленности, измеренная на плоском объекте с использованием двух одинаковых преобразователей П121-0,4-90

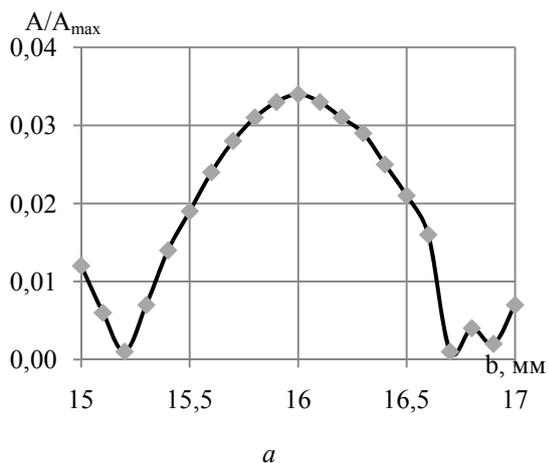
Fig. 3. Experimental ray diagram measured on a flat object using two identical transducers P121-0,4-90

На экспериментальной диаграмме направленности (рис. 3), определенной на плоском стальном объекте, раздельным способом, обнаружены аналогичные, но более широкие лепестки, что объясняется использованием в качестве приемника прошедшей волны однотипного ПЭП с соответствующей диаграммой направленности.

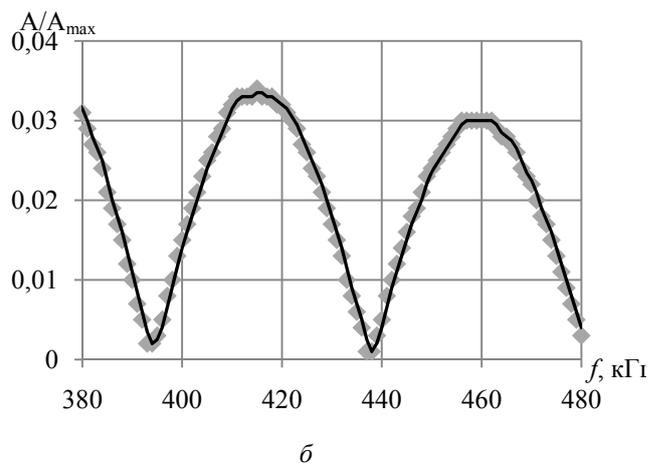
Следует отметить, что при увеличении угла Θ формируются импульсы поперечной (t) волны амплитудой порядка 3 %. В формировании акустического тракта r -волны на поверхности

катания колеса участия t -волна не принимает и в дальнейшем не рассматривается.

Относительная амплитуда r -волны, излучаемой или принимаемой «задним» лепестком, зависит от параметров контроля и аппаратуры – поперечного размера (ошибок в точности изготовления) пьезоэлемента ПЭП (рис. 4, a) и изменения частоты в рамках 20 %, допускаемых (ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые) при изготовлении ПЭП (рис. 4, b)



a



b

Рис. 4. Влияние отклонения поперечного размера пьезоэлемента (a) и рабочей частоты (b) на амплитуду волны, принятой «задним» лепестком диаграммы направленности П121-0,4-90

Fig. 4. Effect of deviation of the transverse size of the piezo element (a) and the operating frequency (b) on the amplitude of the wave received by the "back" lobe of the P121-0,4-90 ray diagram

Таким образом, два преобразователя одного типа, но несколько отличающиеся по АЧХ, могут быть одинаково эффективны при излучении в основном направлении, но отличаться при приеме волн «задним» лепестком. Например, при отклонении частоты на 5 % амплитуда может отличаться на 6 дБ, при отклонении частоты на 20 % – на 12 дБ.

Проведено экспериментальное сравнение акустического тракта для преобразователя П121-0,4-90, полученного от искусственного отражателя (отверстие диаметром 7 мм) на различных поверхностях. Амплитуда r -волны, распространяющейся по безграничной поверхности (например, по поверхности трубы боль-

шого диаметра), ожидаемо монотонно снижается с увеличением пройденного расстояния (рис. 5, а), что соответствует результатам работ, опубликованных ранее Г. Я. Дымкиным. Амплитуда эхо-сигнала на поверхности катания колеса с увеличением пройденного r -волной расстояния изменяется немонотонно, появляются локальные максимумы, превышающие до 9 дБ относительно монотонной экспоненциальной зависимости (рис. 5, б). Причина такого характера лежит в многократных переотражениях r -волны от границ поверхности катания колеса (фаска обода, галтельный переход к гребню) и дальнейшей их многократной интерференции.

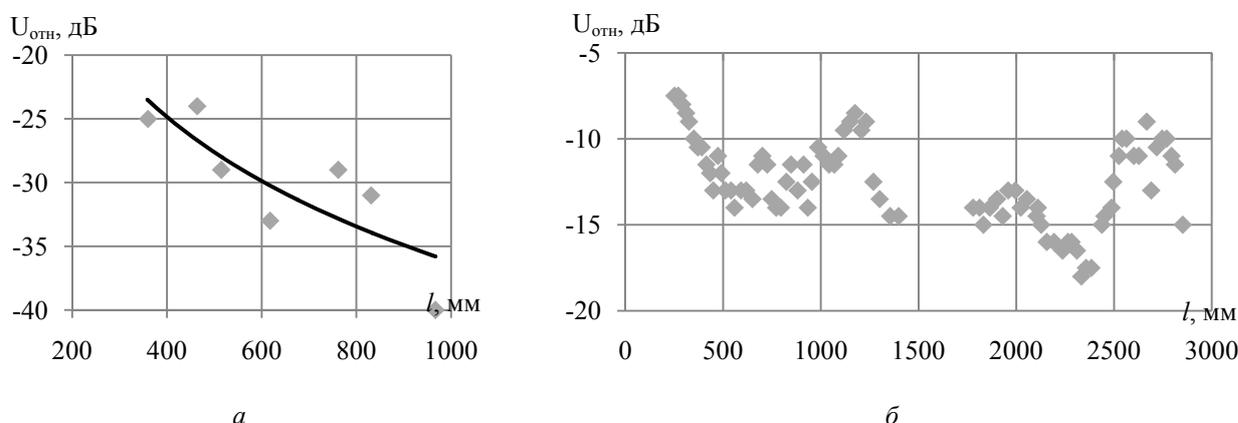


Рис. 5. Акустический тракт, полученный экспериментально для преобразователя П121-0,4-90 на безграничной среде (а); на поверхности катания цельнокатаного колеса (б)

Fig. 5. Acoustic path obtained experimentally for the transducer P121-0,4-90 on a boundless medium (a); on the all-rolled wheel thread (b)

С использованием распределения амплитуды по углам Θ в модели диаграммы направленности (рис. 1) с шагом $\Theta = 3^\circ$ на развертке поверхности катания была рассчитана модель интерференции волн основного и побочных лепестков, учитывающая изменение амплитуды за счет переотра-

жений от границ (фаски обода, перехода к гребню), при этом коэффициент отражения от границы был принят за единицу. На ее основании получен акустический тракт для r -волны, отражающейся от дефекта поверхности катания колеса (бандажа), с учетом интерференции (рис. 6).

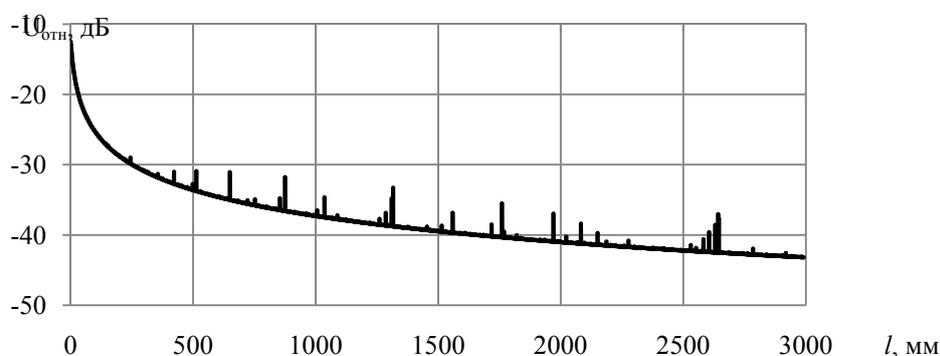


Рис. 6. Модели распределения акустического тракта на поверхности катания колеса

Fig. 6. Models of acoustic tract distribution on the wheel thread

Как видно из результатов на рис. 6, наблюдаются отдельные скачки амплитуды эхо-сигнала (до 6 дБ) от искусственного отражателя на поверхности катания по мере увеличения пройденного волной расстояния, вызванные интерференцией переотраженных волн. Результаты расчета коррелируют с экспериментальным акустическим трактом (рис. 5, б) и объясняют причину немонотонности изменения амплитуды эхо-сигнала.

Выводы

С помощью моделирования и экспериментальных исследований получены диаграммы направленности пьезопреобразователей рэлеевских волн, на которых присутствует «задний лепесток», характерный для ПЭП такого типа. Эффективность излучения и (или) приема зависит от параметров контроля и аппаратуры; это влияние более выражено при отклонении ширины пьезоэлемента ПЭП (например, при изготовлении) и изменении частоты в рамках 20 %, допускаемых ГОСТ Р 55724–2013.

Экспериментально построен и проверен на модели акустический тракт поверхностной волны, отразившейся от дефекта на поверхности катания колеса. Показано, что амплитуда эхо-сигнала изменяется неравномерно, локальные максимумы, полученные экспериментально, достигают 9 дБ относительно экспоненциальной зависимости, характерной для распространения по безграничной поверхности. Причина таких явлений лежит в многократных переотражениях волн от границ (фаска обода, галтельный переход к гребню) и дальнейшей их интерференции.

Библиографические ссылки

1. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В. Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики. М.: Физматлит, 2004. 135 с.
2. Дамаскин А. Л., Дымкин Г. Я., Костюк О. М. Исследования акустического тракта при эхо-импульсном контроле поверхностными волнами // Дефектоскопия. 1991. № 2. С. 26–29.
3. Муравьева О. В., Зорин В. А. Метод многократной тени при контроле цилиндрических объектов с использованием рэлеевских волн // Дефектоскопия. 2017. № 5. С. 3–9.
4. Деренский И. Г. Применение поверхностных волн для контроля железнодорожных рельсов // Инженерный вестник Дона. 2011. № 1. С. 360–364.
5. О возможности применения поверхностных и головных ультразвуковых волн при неразрушающем контроле качества изделий аддитивного производства / Н. П. Алешин, М. В. Григорьев, Н. А. Щипаков [и др.] // Дефектоскопия. 2017. № 12. С. 16–23.
6. Иляхинский А. В., Родюшкин В. М. Экспериментальные исследования влияния повреждаемости стали на закономерности распространения поверхностных волн // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2018. № 3. С. 36–43. DOI 10.15593/perm.mech/2018.3.04.
7. Могильнер Л. Ю. Применение цилиндрического отражателя для настройки чувствительности при ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. 2018. № 7. С. 27–36. DOI 10.1134/S0130308218070047.
8. Хлыбов А. А. Исследование влияния микронеоднородности среды на распространение поверхностных волн // Дефектоскопия. 2018. № 6. С. 3–10.
9. Локализация пластического течения и деформационное упрочнение металлов / Л. Б. Зуев, А. Г. Лунев, С. А. Баранникова, О. С. Стаскевич // Деформация и разрушение материалов. 2018. № 7. С. 2–10.
10. Оценка напряженно-деформированного состояния сварных соединений углеродистых сталей после различных режимов тепловложения акустическим методом / А. Н. Смирнов, В. Л. Князьков, Н. В. Абабков [и др.] // Дефектоскопия. 2018. № 1. С. 40–46.
11. Муравьев В. В., Гущина Л. В., Казанцев С. Оценка накопленной поврежденности шеек осей колесных пар вагонов ультразвуковым методом с использованием рэлеевских и головных волн // Дефектоскопия. 2019. № 10. С. 14–23. DOI 10.1134/S0130308219100026.
12. Акустическая структуроскопия стальных образцов, нагруженных изгибом с вращением при испытаниях на усталость / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, А. Ю. Будрин, М. А. Синцов, А. В. Зорин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. С. 37–44.
13. Муравьев В. В., Гущина Л. В. Структуроскопия витков пружин после высокотемпературной механической обработки на основе измерения скорости рэлеевских волн // Приборы и методы измерений. 2022. Т. 13. № 2. С. 147–154. DOI 10.21122/2220-9506-2022-13-2-147-154.
14. Бабкин С. Э. Определение скорости основных типов акустических волн в металлах приставным датчиком // Дефектоскопия. 2020. № 4. С. 32–39. DOI 10.31857/S0130308220040041.
15. Хлыбов А. А., Углов А. Л. Об использовании параметров структурного шума при контроле поверхностными акустическими волнами Рэлея стали 20ГЛ в процессе упругопластического деформирования // Дефектоскопия. 2021. № 7. С. 3–10. DOI 10.31857/S0130308221070010.
16. Исследование выявляемости поверхностных плоскостных дефектов ультразвуковым методом с применением волн Рэлея / Н. П. Алешин, Н. В. Крысько, С. В. Скрынников, А. Г. Кусый // Дефектоскопия. 2021. № 6. С. 26–34. DOI 10.31857/S0130308221060038.
17. Контроль натяга колец подшипников поверхностными волнами с использованием эффекта акустоупругости / С. А. Бехер, Л. Н. Степанова,

А. О. Рыжова, А. Л. Бобров // Дефектоскопия. 2021. № 4. С. 13–21. DOI 10.31857/S0130308221040023.

18. Дымкин Г. Я., Кириков А. В., Бондарчук К. А. Иммерсионный контроль объектов криволинейного профиля поверхностными ультразвуковыми волнами // Дефектоскопия. 2022. № 8. С. 25–35. DOI 10.31857/S0130308222080036.

References

1. Budenkov G.A., Nedzvetskaya O.V. *Dinamicheskie zadachi teorii uprugosti v prilozhenii k problemam akusticheskogo kontrolya i diagnostiki* [Dynamic Problems of the Theory of Elasticity as Applied to the Problems of Acoustic Control and Diagnostics]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2004. 135 p. (in Russ.).

2. Damaskin A.L., Dymkin G.Ya., Kostyuk O.M. [Studies of the acoustic tract during echo-pulse control by surface waves]. *Defektoskopiya*. 1991. No. 2. Pp. 26-29 (in Russ.).

3. Murav'eva O.V., Zorin V.A. [Multiple Shadow Method for Inspection of Cylindrical Objects Using Rayleigh Waves]. *Defektoskopiya*. 2017. No. 5. Pp. 3-9 (in Russ.).

4. Derenskii I.G. [The use of surface waves for the control of railway rails]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2011. No. 1. Pp. 360-364 (in Russ.).

5. Aleshin N.P., Grigor'ev M.V., Shchipakov N.A. [i dr.]. [On the possibility of using surface and head ultrasonic waves in non-destructive quality control of additive manufacturing products]. *Defektoskopiya*. 2017. No. 12. Pp. 16-23 (in Russ.).

6. Piyakhinskii A.V., Rodyushkin V.M. [Experimental studies of the effect of steel damage on the patterns of surface wave propagation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*. 2018. No. 3. Pp. 36-43 (in Russ.). DOI 10.15593/perm.mech/2018.3.04.

7. Mogil'ner L.Yu. [Using a Cylindrical Reflector to Adjust Sensitivity in Ultrasonic Inspection]. *Defektoskopiya*. 2018. No. 7. Pp. 27-36 (in Russ.). DOI 10.1134/S0130308218070047.

8. Khlybov A.A. [Investigation of the influence of microheterogeneity of the medium on the propagation of surface waves]. *Defektoskopiya*. 2018. No. 6. Pp. 3-10 (in Russ.).

9. Zuev L.B., Lunev A.G., Barannikova S.A., Staskevich O.S. [Localization of plastic flow and strain

hardening of metals]. *Deformatsiya i razrushenie materialov*. 2018. No. 7. Pp. 2-10 (in Russ.).

10. Smirnov A.N., Knyaz'kov V.L., Ababkov N.V. [i dr.]. [Evaluation of the stress-strain state of welded joints of carbon steels after various modes of heat input by the acoustic method]. *Defektoskopiya*. 2018. No. 1. Pp. 40-46 (in Russ.).

11. Murav'ev V.V., Gushchina L.V., Kazantsev S. [Evaluation of the accumulated damage of the necks of the axles of the wheelsets of the wagons by ultrasonic method using Rayleigh and bow waves]. *Defektoskopiya*. 2019. No. 10. Pp. 14-23. DOI 10.1134/S0130308219100026 (in Russ.).

12. Murav'ev V.V., Murav'eva O.V., Budrin A.Yu., Sintsov M.A., Zorin A.V. [Acoustic structuroscopy of steel specimens loaded with rotational bending during fatigue testing]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. 2019. Vol. 22, no. 1. Pp. 37-44 (in Russ.).

13. Murav'ev V.B., Gushchina L.V. [Structuroscopy of coils of springs after high-temperature machining based on measuring the velocity of Rayleigh waves]. *Pribory i metody izmerenii*. 2022. Vol. 13, no. 2. Pp. 147-154 (in Russ.). DOI 10.21122/2220-9506-2022-13-2-147-154.

14. Babkin S.E. [Determination of the speed of the main types of acoustic waves in metals with an attached sensor]. *Defektoskopiya*. 2020. No. 4. Pp. 32-39 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308220040041.

15. Khlybov A.A., Uglov A.L. [On the use of structural noise parameters in the control of steel 20GL by surface acoustic Rayleigh waves in the process of elastoplastic deformation]. *Defektoskopiya*. 2021. No. 7. Pp. 3-10 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308221070010.

16. Aleshin N.P., Krysko N.V., Skrynnikov S.V., Kusyi A.G. [Investigation of the Detectability of Surface Planar Defects by Ultrasonic Method Using Rayleigh Waves]. *Defektoskopiya*. 2021. No. 6. Pp. 26-34 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308221060038.

17. Bekher S.A., Stepanova L.N., Ryzhova A.O., Bobrov A.L. [Control of bearing ring preload by surface waves using the effect of acoustoelasticity]. *Defektoskopiya*. 2021. No. 4. Pp. 13-21 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308221040023.

18. Dymkin G.Ya., Kirikov A.V., Bondarchuk K.A. [Immersion testing of objects with a curvilinear profile by surface ultrasonic waves]. *Defektoskopiya*. 2022. No. 8. Pp. 25-35 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308222080036.

Ultrasonic Thread Surface Inspection of Railroad Car Wheels and Locomotive Tires Using Rayleigh Waves

A. V. Platonov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. V. Muravev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Udmurt Federal Research Center, Izhevsk, Russia

O. V. Muraveva, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Udmurt Federal Research Center, Izhevsk, Russia

Ultrasonic surface inspection of cylindrical objects using the Rayleigh wave echo method has many advantages. Despite strict requirements for surface cleaning, the method is widely implemented in industries and transport, for

example on the all-rolled wheel thread or tires of railroad rolling stock. Taking into account the ability of the Rayleigh wave transducer to receive waves with a side ("back") lobe of the ray diagram, the influence of possible contamination or excess of contact fluid on the input surface on the control results, it becomes particularly difficult to explain the position and amplitude of the signal.

Using mathematical modeling and experimental studies, the ray diagrams of Rayleigh wave piezoelectric transducers with the "back lobe" characteristic of piezoelectric transducers of this type were obtained. The efficiency of emission and (or) receiving depends on the parameters of control and apparatus; this effect is more evident if the width of the transducer piezoelement deviates (e.g., during fabrication) and the frequency varies within 20 %, allowed by GOST R 55724-2013.

The acoustic path of the Rayleigh wave reflected from the flaw with a diameter of 7 mm on the wheel thread is experimentally constructed and tested on the model. It is shown that the amplitude of the echo-signal changes nonuniformly, the local maxima obtained experimentally reach 9 dB relative to the exponential relation characteristic of propagation over a boundless surface. The reason for such phenomena lies in multiple re-reflections of waves from the boundaries on the tread surface of railway wagon wheels and locomotive tires (rim chamfer, ridge to ridge transition) and their further interference.

Keywords: Rayleigh waves, modeling, railway wagon wheels and locomotive tires.

Получено: 10.05.23

Образец цитирования

Платунов А. В., Муравьев В. В., Муравьева О. В. Ультразвуковой контроль поверхности катания железнодорожных вагонных колес и бандажей локомотивов с использованием рэлеевских волн // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 2. С. 41–48. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-41-48.

For Citation

Platunov A.V., Muravev V.V., Muraveva O.V. [Ultrasonic thread surface inspection of railroad car wheels and locomotive tires using rayleigh waves]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 41-48 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-41-48.