

УДК 620.179

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-62-69

**Применение поверхностных ультразвуковых волн
для обнаружения контактно-усталостных трещин в поверхности катания**

А. Л. Бобров, доктор технических наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

К. И. Гончаров, аспирант, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

Целостность и долговечность рельсов играет ключевую роль в безопасности движения поездов. Однако постоянное взаимодействие поверхности головки рельса с колесами подвижного состава приводит к высокой повреждаемости этих участков, особенно поверхности головки рельса, в которой развиваются усталостные трещины на поверхности с последующим развитием. Своевременное обнаружение усталостных трещин в поверхности катания возможно ультразвуковым методом с использованием поверхностных волн. Исследована чувствительность поверхностной ультразвуковой волны к препятствиям в поверхности рельсов в виде протяженных пазов, зарубок конечной протяженности и известной глубины, а также реальных трещин. Исследования проводились эхоимпульсным методом на частотах 1,25; 1,8; 2,5 и 4 МГц. Исследования показали, что поверхностные волны чувствительны к поверхностным усталостным трещинам, а амплитуда отраженных импульсов зависит от длины волны и глубины распространения трещин. Также исследовано влияние расстояния до усталостных трещин, угла ориентации преобразователя относительно оси рельса на чувствительность поверхностной волны к этим дефектам. Полученные результаты позволяют сделать выводы, что использование поверхностных ультразвуковых волн позволяет обнаруживать усталостные трещины в поверхности рельса, однако на определение их глубины по амплитуде влияет много факторов, учет которых в реальных условиях затруднителен. Таким образом, использование эхоимпульсного метода и преобразователей поверхностных волн позволяет находить контактно-усталостные трещины в головке рельсов, что может быть использовано для их своевременного устранения.

Ключевые слова: поверхностные волны, ультразвуковой контроль, усталостные трещины, чувствительность контроля.

Введение

Организация надежного мониторинга рельсового пути является главным условием безопасной, экономически и технически эффективной эксплуатации железнодорожного транспорта. Сложное нагруженное состояние в зависимости от характеристики пути [1] приводит к формированию сетки усталостных трещин в рельсах (рис. 1), которые достаточно быстро приводят к образованию выкрашиваний на контактной поверхности и переходу рельсов в дефектное состояние, требующее мероприятий по организации удаления поврежденного слоя с помощью шлифовальной техники [2]. Поэтому определяющим фактором долговечности рельсов в кривых участках пути является скорость развития микротрещин в контактной части рельсов [3] и эффективная система их контроля и удаления. Подробно причины возникновения и развития таких дефектов приведены в работе [4].

Своевременное выявление контактно-усталостных трещин и определение величины дефектов этого типа становится задачей, которую пытаются решать самыми разными способами. Например, в работе [5] с помощью вихретокового метода неразрушающего контроля; А. А. Марков и Г. А. Иванов в статье [6] говорят о выявлении трещины в головке рельсов ультразвуковым методом с применением поперечных волн наклонными преобразователями. Более того, с помощью ультразвуковой аппаратуры возможно определение напряженного состояния [7, 8], величина которого влияет на развитие поверхностных контактно-усталостных трещин. Однако для выявления трещин, развивающихся от поверхности, эффективно использовать поверхностные волны (волны Рэлея) [9]. Более того, именно для выявления поверхностных трещин в рельсах при их изготовлении реализован в работе [10] ультразвуковой теневой и эхоим-

пульсный метод, в работе [11] – теневой метод, а в статье [12] – эхоимпульсный метод. Исследованиями проблемы выявления контактно-усталостных трещин ультразвуковыми методами занимаются также и зарубежные научные группы [13, 14].



Рис. 1. Контактно-усталостные трещины поверхности катания рельсов, на которых начались выкрашивания

Fig. 1. Contact-fatigue cracks of the rail rolling surface, where spalling has begun

Приведенные результаты показывают, что ультразвуковой контроль поверхностными волнами возможен, и на основании этого в данной статье приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на оценку возможностей такого способа контроля обнаружения и измерения размеров контактно-усталостных трещин в рельсах в условиях их эксплуатации. Решение данного вопроса напрямую влияет на формирование планов по поддержанию работоспособного состояния рельсового пути и его безопасного использования.

Целью данной работы являются экспериментальные исследования возможности поиска и идентификации контактно-усталостных по-

вреждений головки рельсов с применением поверхностных ультразвуковых волн.

В работе были исследованы рельсы с одинаковой шероховатостью, чтобы отстраниться от этого влияющего фактора.

Основной измеряемый параметр, определяющий чувствительность к поверхностным трещинам, – относительная амплитуда эхоимпульсов, отраженных от искусственных дефектов различной конфигурации и естественных трещин, по сравнению с амплитудой опорного импульса, отраженного от торца рельса. Уровень чувствительности зависит от размеров отражателей, местонахождения и геометрических параметров отражателей, свойств материала [16] и основан на связи между размерами отражателя и величиной отраженной энергии ультразвуковых волн [17].

Материалы и методы исследований

На первом этапе работы были проведены исследования глубины проникновения развивающихся контактно-усталостных трещин в поверхности катания рельсов. Для этого участки с контактно-усталостными трещинами были вырезаны и разрезаны в поперечном направлении без нагрева выше температуры 150 °С. После шлифовки образцов наблюдались сечения, в которых присутствуют сечения трещин с увеличением $\times 50$ с помощью переносным микроскопа МПБ-3М В7 с градуированной шкалой длины в мкм с ценой деления 5 мкм. Результаты показывают, что рельсы на прямых участках практически не имеют трещин, а в кривых участках появляются усталостные трещины. При этом визуально сеть трещин менее развита в переходе от прямого участка к кривой и имеет в этой части относительно неглубокие трещины (рис. 2, а). В кривой поворота на рельсах более развитые трещины, которые проникают глубже (рис. 2, б).

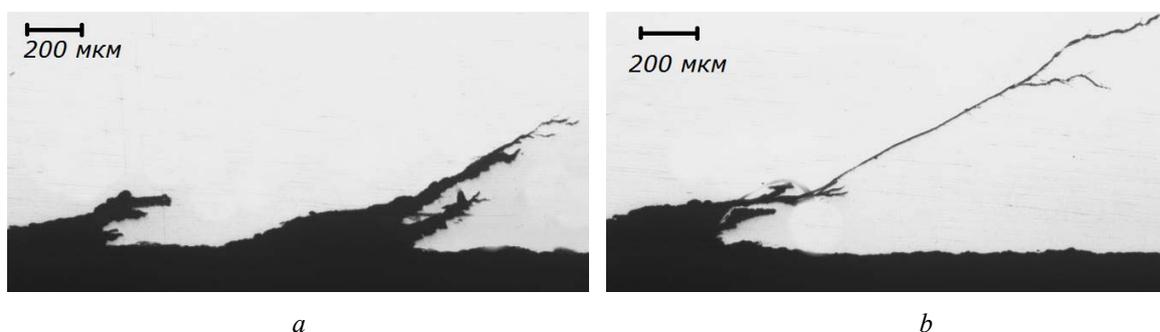


Рис. 2. Определение глубины проникновения контактно-усталостных трещин: две трещины глубиной 0,18 и 0,47 мм (а) и развитая трещина глубиной 0,83 мм (б)

Fig. 2. Determination of the penetration depth of contact fatigue cracks: two cracks with a depth of 0.18 and 0.47 mm (a) and a crack with a depth of 0.83 mm (b)

Предварительные металлографические исследования показали, что контактно-усталостные трещины образуются в кривых под воздействием комплекса нагрузок, что отмечено также в работе [18], и проникают на глубину закаленного и наклепанного слоя до 1 мм и шириной раскрытия до 0,1 мм. Кроме того, эти трещины имеют наклон под углом 35 ± 5 град к поверхности катания рельса, что хорошо видно на рисунке 2.

Для исследования были вырезаны четыре образца, представляющие отрезанную головку рельса длиной 150 мм с косыми по отношению к оси рельса трещинами аналогичными тем, которые изображены на рисунке 1. Измерения параметров поверхностных ультразвуковых волн на бездефектных участках проводились на рельсах, на которых при обследовании с помощью лупы 8-кратного увеличения не обнаружили поверхностных дефектов и других дефектов, обнаруживаемых стандартными методами дефектоскопии рельсов.

Ультразвуковые исследования проводились на рельсах с шероховатостью поверхности R_a не более 2 мкм, так как известно [19], что шероховатость поверхности влияет на свойства поверхностной волны. Измерения амплитуды и времени распространения волн проводились с помощью совмещенных пьезоэлектрических преобразователей поверхностных волн с резонансной частотой 0,4; 1,25; 1,8; 2,5, 4 МГц. Измерения проводились с помощью универсального поверенного ультразвукового дефектоскопа УДЗ-204 «Пеленг».

Учитывая, что на частоте 0,4 МГц значение ближней зоны сравнимо с расстояниями, на которых находятся дефекты, которые необходимо идентифицировать, полученные результаты сложно интерпретировать. Поэтому, используя низкочастотные преобразователи, для ввода поверхностных волн в дальнейшем необходимо применять конструкцию, в которой практически вся ближняя зона будет находиться в призме этого преобразователя.

Приведенные на рисунке 2 трещины (снимки получены при увеличении $\times 50$) демонстрируют разнообразие глубины распространения исследуемых дефектов. Поэтому на следующем этапе измеряли относительную амплитуду сигналов, отраженных от искусственных пазов глубиной от 0,2 до 3,0 мм и шириной больше, чем ширина раскрытия диаграммы направленности преобразователей. Эти измерения проводились на образцах, имеющих форму параллелепипеда с размерами $200 \times 30 \times 10$ мм, в которых изготовлены поперечные искусственные пазы с шириной раскрытия 0,15...0,2 мм на всю ширину 30 мм. При этом расстояние от точки выхода луча до отражателя l было 20, 30 и 40 мм.

Анализ результатов исследований

Результаты измерений относительной амплитуды сигнала, отраженного от искусственного дефекта, приведены на рисунке 3. За 0 дБ принята усредненная амплитуда сигнала, отраженного от углового отражателя, – торца рельсов на аналогичном расстоянии от точки выхода луча до торца.

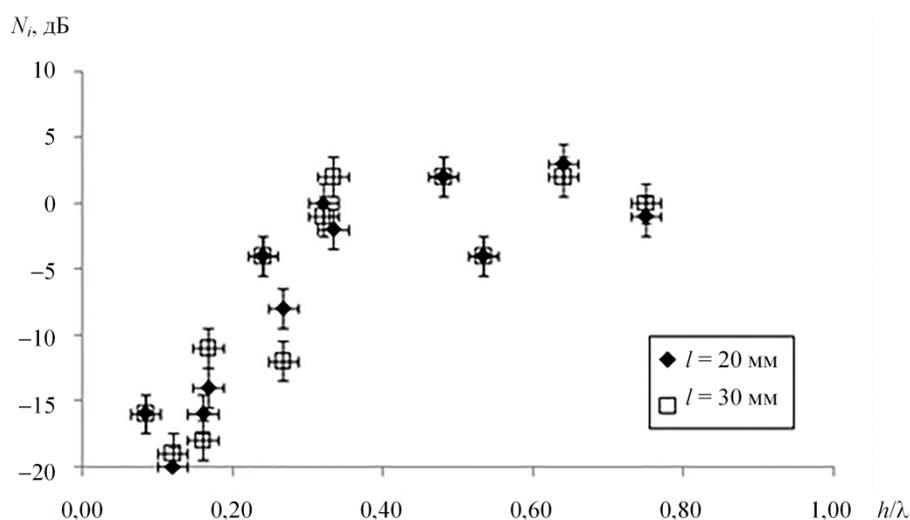


Рис. 3. Изменение амплитуды отраженных импульсов в зависимости от относительной глубины искусственных протяженных пазов в рельсовой стали

Fig. 3. Change in the amplitude of reflected pulses depending on the relative depth of artificial extended grooves in rail steel

На частотах 1,8; 2,5 и 4 МГц существенного отличия амплитуды отраженных сигналов практически нет за исключением сигналов от пазов глубиной 0,2 мм. На частоте 1,25 МГц связь амплитуды с глубиной развития контактно-усталостных трещин прослеживается до 0,8 мм. Но если использовать относительную глубину развития трещин, приведенную к длине волны λ (рис. 3), то можно отметить, что до глубины $0,5\lambda$ сосредоточена основная энергия колебаний частиц в нормальном направлении [20, 21]. Очевидно, что снижение частоты может позволить расширить диапазон, в котором связь глубины развития трещин с амплитудой отраженных от этих дефектов эхоимпульсов прослеживается.

Однако реальные трещины имеют конечную протяженность и существенную кривизну, поэтому амплитуда от таких отражателей будет существенно меньше, чем от протяженных искусственных дефектов, потому что высокая шероховатость реальных дефектов снижает их отражающую способность (Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин, В. Е. Белый, А. Х. Вопилкин [и др.]. 1989). Кроме того, многочисленность этих трещин будет порождать пучок отраженных сигналов, представленных на экране несколькими импульсами, пришедшими в режиме приема в различные временные моменты. Такой импульс, зарегистрированный фактически от группы трещин и при расположении преобразователя таким образом, что ось луча направлена под углом 30 град к оси рельса, представлен на рис. 4, *a*. При отсутствии дефектов поверхности (трещин и выкрашиваний) на

развертке дефектоскопа наблюдается картина, показывающая, что шумы существенно ниже сигналов от контактно-усталостных трещин. Это можно наблюдать на развертке дефектоскопа при том же настроенном уровне чувствительности (рис. 4, *b*).

Также очевидно, что реальные трещины имеют различную глубину развития, и размеры, и амплитуда отраженных импульсов от таких дефектов может существенно изменяться. Поэтому на следующем этапе исследований оценивалась чувствительность к контактно-усталостным трещинам при различных углах поворота оси преобразователя относительно оси рельса. При реализации эксперимента определялись изменения чувствительности к контактно-усталостной трещине, на которой предварительно установили преобразователи и наблюдали максимальную амплитуду, а затем определяли максимальную амплитуду на участке с трещинами на протяжении 100 мм. Угол поворота варьировали в диапазоне 10...90 град относительно оси рельса с шагом в 10 град. Схема установки преобразователей на этом этапе эксперимента приведена на рисунке 5, *a*, результаты измерений – на рисунке 5, *b*, *c*.

При исследовании участка с трещинами, от которого наблюдали максимальную амплитуду, этот максимум приходится на угол поворота преобразователя 60 град относительно оси. При отклонении от этих значений чувствительность к трещинам уменьшается, а при отслеживании участка сигналы наблюдаются в диапазоне расстояний приведенных, на рисунке 5, *b*

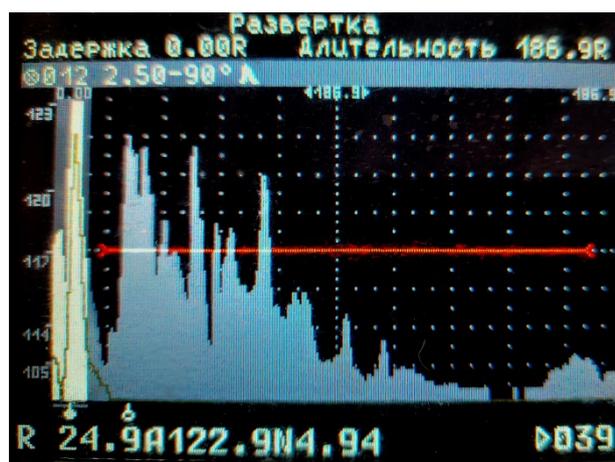
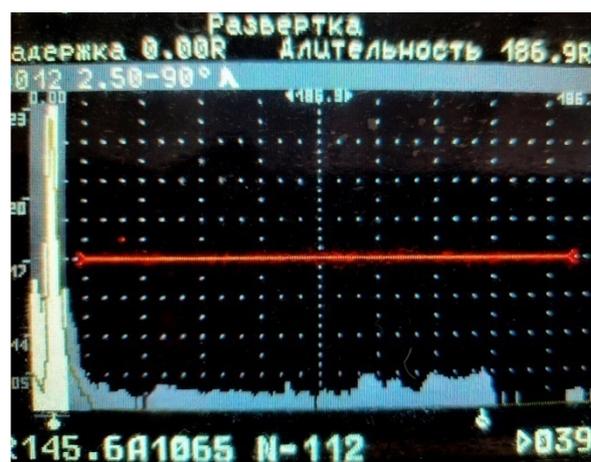
*a**b*

Рис. 4. Накопленные сигналы от контактно-усталостных трещин при перемещении преобразователя по оси рельса с трещинами (*a*) и при их отсутствии (*b*) при неизменном уровне чувствительности

Fig. 4. Accumulated signals from contact-fatigue cracks when the transducer moves along the axis of a rail with cracks and (*a*) and in their absence (*b*) at a constant sensitivity level

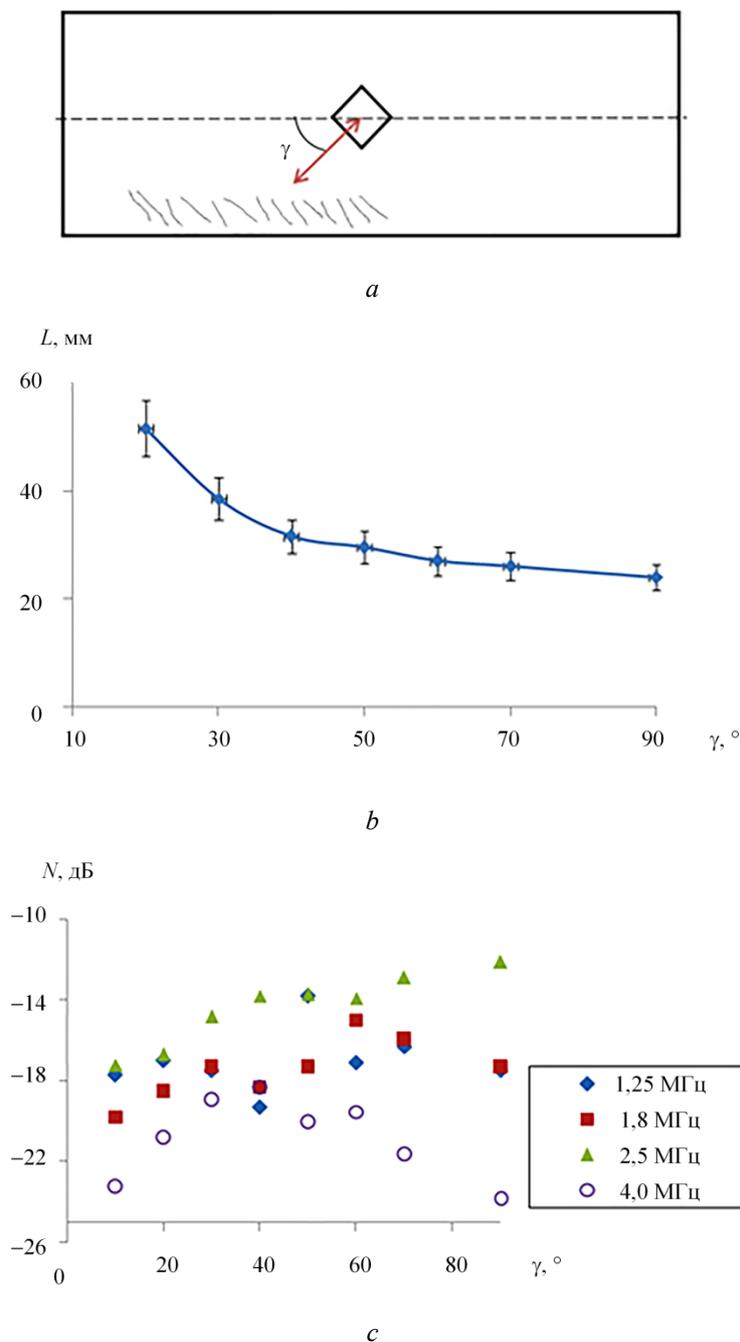


Рис. 5. Схема оценки чувствительности при изменении угла направленности оси поверхностной волны (а), изменение расстояния до источника с максимальной амплитудой при изменении угла поворота датчика относительно оси рельса (b) и результаты измерений максимальной амплитуды при изменении угла направленности (с)

Fig. 5. Scheme for assessing sensitivity when changing the directional angle of the surface wave axis (a), changing the distance to the source with the maximum amplitude when changing the angle of rotation of the sensor relative to the rail axis (b) and the results of measuring the maximum amplitude when changing the directional angle (c)

Из анализа графика на рисунке 5, с видно, что на частоте 4 МГц амплитуда возрастает до 45 град, а далее убывает. Это, очевидно, связано с увеличением коэффициента затухания ультразвука на большой частоте. Наибольшее значение амплитуды наблюдается на 45 град, так как расположение трещин относительно датчика

позволяет максимально отражать поверхностные волны. При контроле трещин преобразователями 1,25 и 1,8 МГц при изменении ориентации преобразователя амплитуда изменяется незначительно, это говорит о том, что преобразователи с такой частотой позволяют выявлять поверхностные трещины различной ориентации

относительно оси рельса, и чувствительность контроля колеблется незначительно. Контроль преобразователем с частотой 2,5 МГц показал рост амплитуды отраженного сигнала относительно угла направленности.

Выводы

1. Результаты исследований показывают, что при развитии контактно-усталостных трещин в поверхности катания рельсов этот тип дефектов успешно можно обнаруживать эхоимпульсным методом с применением поверхностных ультразвуковых волн. При этом в зависимости от частоты эхоимпульсный метод с излучением поверхностных волн чувствителен к трещинам глубиной от 0,2 мм.

2. Для развития исследований определения глубины проникновения контактно-усталостных трещин необходимо использовать низкочастотные волны.

3. Направленность преобразователя ультразвуковых поверхностных волн не принципиальна для обнаружения сетки усталостных поверхностных трещин.

3. При контроле могут формироваться ложные сигналы, не имеющие отношения к наличию трещин и которые невозможно идентифицировать как ложные.

Библиографические ссылки

1. Образование дефектов контактно-усталостного характера на внутренних нитях кривых малого и среднего радиусов / В. С. Коссов, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев, Н. М. Никонова // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 7. С. 13–18.

2. Оценка организационно-технологической надежности производственного процесса шлифования рельсов на основе имитационного моделирования / А. С. Ильиных, В. А. Аксёнов, Е. О. Юркова, А. В. Матафонов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2019. № 4 (51). С. 40–45.

3. Кузнецова Н. В. Статистический анализ изъятий рельсов с контактно усталостными видами дефектов // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2021. Т. 17, № 17. С. 41–47.

4. Изучение механизмов питтинга, споллинга и других контактно-усталостных дефектов в рельсах. Часть 5. Классификация контактно-усталостных повреждений железнодорожных рельсов / В. Н. Цвигун, Е. А. Шур, С. В. Коновалов [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2015. № 35. С. 147–173.

5. Возможности ручного вихретокового контроля для измерения глубины контактно-усталостных трещин поверхности катания рельсов / С. П. Шляхтен-

ков, Д. Б. Некрасов, С. В. Палагин [и др.] // Дефектоскопия. 2023. № 4. С. 37–45. DOI: 10.31857/S0130308223040036

6. Марков А. А., Иванов Г. А. Исследование способа обнаружения продольных трещин в головке рельса // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 46–56. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-46-56

7. Муравьев В. В., Тапков К. А. Оценка остаточных напряжений в дифференцированно термоупрочненных рельсов акустическим методом : монография. Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2023. 156 с.

8. Murav'ev V.V., Len'kov S.V., Tapkov K.A. (2019) In-production nondestructive testing of internal stresses in rails using acoustoelasticity method. Russian Journal of Nondestructive Testing, vol. 55, no. 1, pp. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830919010078>

9. 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

10. 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

11. Palmer S., Dixon S., Edwards R., Jian X. (2015) Transverse and longitudinal crack detection in the head of rail tracks using Rayleigh wave-like wideband guided ultrasonic waves: Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering, vol. 5767, pp. 70-73.

12. Бояркин Е. В., Пичугина А. А., Черкашина А. Г. Особенности выявления дефектов в головке рельса волнами Рэлея // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2024. № 1 (12). С. 5–11. DOI: 10.52170/2712-9195_2024_1_5

13. Mičić M., Brajović L., Lazarević L., Popović Z. (2023) Inspection of RCF rail defects – Review of NDT methods. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 182. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109568> (accessed: 06.06.2024).

14. Kou L. (2022) A Review of Research on Detection and Evaluation of the Rail Surface Defects. Acta Polytechnica Hungarica, vol. 19, no. 3, pp. 167-186. DOI: 10.12700/APH.19.3.2022.3.14

15. Статистическая модель оценки надежности систем неразрушающего контроля на основе решения обратных задач / А. Е. Александров, С. П. Борисов, Л. В. Бунина [и др.]. Russian Technological Journal, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 56-69. DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-3-56-69

16. Шелухин А. А. Оценка реальной чувствительности приемного ультразвукового контроля рельсов // Дефектоскопия. 2020. № 11. С. 17–27. DOI: 10.31857/S0130308220110020

17. Перельгина А. Ю., Конюхов В. Ю., Балановский А. Е. Исследование распространения трещины в поверхностном белом слое рельсовой стали // Вестник Донского государственного технического

университета. 2020. Т. 20, № 2. С. 125–136. DOI: 10.23947/1992-5980-2020-20-2-125-136

18. Косачёв В. В., Гандурин Ю. Н., Муравьев С. Е. Неразрушающий контроль параметров шероховатости и нарушенного слоя свободной поверхности анизотропного твердого тела на основе поверхностных акустических волн // Физика твердого тела. 2012. Т. 54, № 10. С. 1983–1987. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063783412100198>

19. Глухов А. А., Сторожев В. И. Анализ модели распространения поверхностных рэлеевских волн в функционально-градиентном ортотропном полупространстве с приграничной локализованной зоной неоднородности // Журнал теоретической и прикладной механики. 2023. № 2 (83). С. 26–38. DOI: 10.24412/0136-4545-2023-2-26-38

20. Акустические волны в материалах и элементах конструкций с дефектами, неоднородностями и микроструктурой : монография / М. С. Аносов, А. М. Антонов, А. В. Бочкарев [и др.]. Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический ун-т им. П.Е. Алексеева, 2021. 311 с.

References

1. Kossov V., Krasnov O., Akashev M., Nikonova N. (2023) [Contact fatigue defect initiation on low rails of sharp and moderate curves]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, no. 7, pp. 13-18 (in Russ.).

2. Ilinykh A.S., Aksenov V.A., Yurkova E.O., Mafonov A.V. (2019) [Assessment of organizational and technological reliability of grinding rails production process based on simulation]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*, no. 4, pp. 40-45 (in Russ.).

3. Kuznetsova N.V. (2021) [Statistical analysis of withdrawals of rails with contact fatigue types of defects]. *Vnedrenie sovremennykh konstrukcij i peredovykh tehnologij v putevoe hozjajstvo*, no. 17, pp. 41-47 (in Russ.).

4. Tsvigun V.N., Shur E.A., Koynov R.S., Konovlov S.V. (2015) [Studying the mechanisms of pitting, spalling and other contact fatigue defects in rails. Part 5. Classification of contact fatigue damage to railway rails]. *Vestnik gorno-metallurgicheskoy sekcii Rossijskoj akademii estestvennykh nauk. Otdelenie metallurgii*, no. 35, pp. 147-173 (in Russ.).

5. Shlyakhtenkov S.P., Nekrasov D.B., Palagin S.V., Bessonova O.V., Popkov A.A., Becher S.A. (2023) [Possibilities of manual eddy current testing for measuring the depth of contact-fatigue cracks of the surface of rolling rails]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, no. 4, pp. 37-45 (in Russ.). DOI: 10.31857/S0130308223040036

6. Markov A.A., Ivanov G.A. (2019) [Investigation of the detection method for longitudinal cracks in the head of rail tracks]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 22, no. 4, pp. 46-56 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-46-56

7. Murav'ev V.V., Tapkov K.A. (2023) *Ocenka ostatochnykh naprjazhenij v differencirovanno termouprochnykh rel'sov akusticheskim metodom* [Assessment of residual stress in differentially thermally strengthened rails using the acoustic method]. Izhevsk, Kalashnikov

ISTU Publishing, 156 p. (in Russ.).

8. Murav'ev V.V., Len'kov S.V., Tapkov K.A. (2019) In-production nondestructive testing of internal stresses in rails using acoustoelasticity method. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, vol. 55, no. 1, pp. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830919010078>

9. Aleshin N.P., Krysko N.V., Kusyy A.G., Skrynnikov S.V. (2021) [Studying detectability of plane surface defects by ultrasonic method using Rayleigh waves]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, vol. 57, no. 6, pp. 446-454 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830921060036>

10. Dymkin G.Ya., Kirikov A.V., Bondarchuk K.A. (2022) [Immersion testing of curved profile objects by surface ultrasonic waves]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, vol. 58, no. 8, pp. 679-688 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1061830922080034

11. Palmer S., Dixon S., Edwards R., Jian X. (2015) Transverse and longitudinal crack detection in the head of rail tracks using Rayleigh wave-like wideband guided ultrasonic waves: Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering, vol. 5767, pp. 70-73.

12. Boyarkin E.V., Pichugina A.A., Cherkashina A.G. (2024) [Cherkashina. Features of detecting defects in the rail head using Rayleigh waves]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy transporta*, no. 1, pp. 5-11 (in Russ.). DOI: 10.52170/2712-9195_2024_1_5

13. Mičić M., Brajović L., Lazarević L., Popović Z. (2023) Inspection of RCF rail defects – Review of NDT methods. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 182. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109568> (accessed: 06.06.2024).

14. Kou L. (2022) A Review of Research on Detection and Evaluation of the Rail Surface Defects. *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 19, no. 3, pp. 167-186. DOI: 10.12700/APH.19.3.2022.3.14

15. Alexandrov A.E., Borisov S.P., Bunina L.V., Bikovskiy S.S., Stepanova I.V., Titov A.P. (2023) [Statistical model for assessing the reliability of non-destructive testing systems by solving inverse problems]. *Russian Technological Journal*, vol. 11, no. 3, pp. 56-68 (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-3-56-69

16. Shelukhin A.A. (2020) [Estimating the true sensitivity of acceptance ultrasonic inspection of rails]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, vol. 56, no. 11, pp. 887-897 (in Russ.). DOI: 10.1134/S106183092011008X

17. Pereylygina A.Yu., Konyukhov V.Yu., Balanovskii A.E. (2020) [Investigation of crack propagation in the surface white layer of rail steel]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 2, pp. 125-136 (in Russ.). DOI: 10.23947/1992-5980-2020-20-2-125-136

18. Kosachev V.V., Gandurin Yu.N., Murav'ev S.E. (2012) [Acoustic wave-based nondestructive control of the damaged layer and roughness parameters of the free surface of an anisotropic solid]. *Fizika tverdogo tela*,

vol. 54, no. 10, pp. 2112-2116 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063783412100198>

19. Glukhov A.A., Storozhev V.I. (2023) [Analysis of the model of surface rayleigh waves propagation in a functional-gradient orthotropic half-space with a border localized zone of in homogeneity]. *Zhurnal teoreticheskoy i prikladnoy mehaniki*, no. 2, pp. 26-38 (in Russ.). DOI: 10:24412/0136-4545-2023-2-26-38

20. Anosov M.S., Antonov A.M., Bochkarev A.V. (2021) *Akusticheskie volny v materialah i jelementah konstrukcij s defektami, neodnorodnostjami i mikrostrukturaj* [Acoustic waves in materials and structure elements with defects, inhomogeneities and microstructure]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 311 p. (in Russ.).

Application of Surface Ultrasonic Waves for Detection of Contact Fatigue Cracks in the Rail Surface

A.L. Bobrov, DSc in Engineering, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia
K.I. Goncharov, Post-graduate, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

The integrity and durability of rails plays a key role in train safety. However, the interaction of the rail head surface with the wheels of the rolling stock leads to high damage to these areas. The surface of the rail head is subject to the greatest damage, in which fatigue cracks develop on the surface with subsequent development. Timely detection of fatigue cracks in the rolling surface is possible using the ultrasonic technique using surface waves. To do this, the work investigated the sensitivity of a surface ultrasonic wave to obstacles in the surface of rails in the form of extended grooves, notches of finite length and known depth, as well as real cracks. The studies were carried out using the pulse-echo method at frequencies of 1.25, 1.8, 2.5, 4 MHz. Research has shown that surface waves are sensitive to surface fatigue cracks. The amplitude of the reflected pulses depends on the wavelength and the depth of crack propagation. The influence of the distance to fatigue cracks and the orientation angle of the transducer relative to the rail axis on the sensitivity of the surface wave to these defects was also studied. The results obtained allow us to conclude that the use of surface ultrasonic waves makes it possible to detect fatigue cracks in the crack surface. Thus, the use of the pulse-echo technique and surface wave converters makes it possible to detect contact fatigue cracks in the rail head, which can be used to eliminate them in a timely manner. The determination of their depth by amplitude is influenced by many factors, which are difficult to take into account in real conditions.

Keywords: surface waves, ultrasonic testing, fatigue cracks, testing sensitivity.

Получено 18.06.2024

Образец цитирования

Бобров А. Л., Гончаров К. И. Применение поверхностных ультразвуковых волн для обнаружения контактно-усталостных трещин в поверхности катания // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 3. С. 62–69. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-62-69

For Citation

Bobrov A.L., Goncharov K.I. (2024) [Application of Surface Ultrasonic Waves for Detection of Contact Fatigue Cracks in the Rail Surface]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 3, pp. 62-69 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-62-69