

УДК 620.179.16

DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-38-45

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКРАТНОГО ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОГО МЕТОДА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ПЕРА ПОДОШВЫ РЕЛЬСА*

Л. В. Волкова, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

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

Рассмотрена возможность контроля пера подошвы железнодорожного рельса Р65 для обнаружения дефектов типа б9.2. Целью данного исследования является обоснование возможности использования многократного зеркально-теневого метода для контроля пера подошвы рельса и выбора его параметров. Для этого был рассчитан акустический тракт распространения поперечных волн в рельсе с дефектами подошвы и без дефектов при различных углах ввода. Рассчитанный акустический тракт показал, что оптимальным углом ввода при установке преобразователя на шейку рельса является угол 58° , так как при данном угле ввода поперечная волна распространяется до самого края пера подошвы рельса, при этом наблюдается минимальное количество неинформативных переотражений от геометрического профиля рельса. В акустическом тракте прохождения ультразвуковой волны при наличии дефекта с диаметром 3,5 мм и глубиной 7 мм наблюдается наибольшее количество переотражений ультразвуковой волны. При увеличении размеров дефекта характер переотражений меняется – волна больше расходится, время прихода отраженного сигнала увеличивается по сравнению с лучом в бездефектном участке рельса.

Для подтверждения возможности выявления дефектов в подошве рельса типа Р65 было проведено экспериментальное исследование многократным зеркально-теневым методом с использованием поперечных волн. В качестве измерительных средств использовался ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 «Луч», для возбуждения и приема ультразвуковых волн использовался пьезоэлектрический преобразователь с переменным углом ввода. Результатами эксперимента подтверждено, что оптимальным углом ввода для обнаружения дефектов в подошве рельса является угол 58° . При выбранных параметрах наблюдается минимум неинформативных переотражений, и амплитуда многократно отраженного сигнала на бездефектном участке выше. Наличие дефекта приводит к снижению амплитуды сигнала более чем в 2 раза.

Ключевые слова: ультразвуковой метод, параметры контроля, акустический тракт, рельс, дефект.

Введение

Значительное увеличение нагрузки на ось вагона, скорости движения поездов и плотности движения железнодорожного транспорта приводит к быстрому появлению и росту дефектов рельсов, которые необходимо своевременно выявлять. Согласно ГОСТ Р 51685–2013 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия» и инструкции «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов» дефекты в рельсах могут быть классифицированы по нескольким признакам и появляться в результате изготовления, обработки и эксплуатации. Дефектами производства, как правило, являются неметаллические включения, ликвация компонентов рельсовой стали, которые создают локальную концентрацию напряжений при рабочих нагрузках [1]. Эксплуатационные дефекты возникают из-за движения колеса поезда [2]: при прохождении колеса рельс испытывает изгиб, на подошву воздействуют значительные

растягивающие нагрузки, что обуславливает высокую вероятность образования коррозионно-усталостных трещин в подошве. Не обнаруженный своевременно дефект может привести к излому рельса, что, в свою очередь, может привести к крушению поезда и катастрофическим последствиям.

Во избежание появления трещин рельсы периодически проверяют на наличие дефектов с использованием различных методов неразрушающего контроля. В процессе производства рельсы контролируют с использованием оптических, ультразвуковых и вихретоковых систем неразрушающего контроля. Ультразвуковой, магнитоиндукционный и вихретоковый виды контроля широко используются для проверки рельсов в процессе эксплуатации. Кроме того, новые методы с использованием электромагнитно-акустических преобразователей, лазерных ультразвуковых преобразователей, контроля напряженного состояния [3–11] разрабатываются для применения в железнодорожном транспорте.

На сегодняшний момент проведено множество исследований по изучению обнаружения дефектов в рельсах и изучению свойств рельсовой стали с использованием различных методов неразрушающего контроля [12–22]. Однако актуальной остается задача разработки способа контроля ранее недоступной зоны – пера подошвы рельса. Поперечные усталостные трещины именно в этой зоне при значительных растягивающих нагрузках, возникающих в подошве при движении подвижного состава, являются крайне опасными.

Попытки разработки ультразвуковых способов контроля подошвы предпринимались и ранее, однако в силу недостатков так и не нашли широкого применения. Среди работ в этой области следует отметить труды Базулина Е. Г. [23], а также Молоткова С. Л., Маркова А. А., Тарабрина В. Ф. (Пат. № 2441789. Способ оценки коррозионного повреждения подошвы рельса; Пат. № 2645818. Способ ультразвукового контроля подошвы рельсов; Пат. № 173226. Способ ультразвукового контроля пера подошвы железнодорожных рельсов; Пат. № 2433397. Способ сплошного ультразвукового контроля подошвы рельсов; Пат. № 173226. Способ ультразвукового контроля пера подошвы железнодорожных рельсов). При поиске решения задачи были обозначены следующие проблемы. В одном случае выявлялись только дефекты, расположенные под областью шейки; в других – существенным оказалось отсутствие прямого доступа к перьям подошвы из-за креплений к шпалам; неудовлетворительный акустический контакт при установке преобразователя на поверхность катания головки, как правило, криволинейной формы и неравномерно изношенной; сложность расшифровки результатов.

Целью данного исследования является обоснование возможности использования многократного зеркально-теневого метода для контроля пера подошвы рельса и выбора его параметров. В работе не рассматривается контроль центральной части подошвы, поскольку эта задача успешно решена с использованием зеркально-теневого метода (угол ввода 0° с поверхности катания) и эхометода (угол ввода 45° с поверхности катания).

Модель акустического тракта, выбор параметров ультразвукового контроля пера подошвы рельса

Для контроля был выбран многократный зеркально-теневого метод [24–26]. В этом случае поперечная волна распространяется в направлении пера подошвы, расположенного со стороны установки преобразователя. При этом форма

подошвы в плоскости распространения волны представляет собой клин. В случае отсутствия дефектов траектория распространения волны ограничивается сходящимися гранями клина, многократно от них переотражается и возвращается обратно, регистрируется дефектоскопом. При оптимальном выборе параметров можно добиться прохождения волны как можно ближе к краю подошвы (границы клина), минимизировать расхождение и возникновение трансформированных волн. Возможный дефект подошвы нарушит оптимальную траекторию луча, что приведет к падению амплитуды многократно отраженного сигнала (или его пропаданию), появлению дополнительных эхоимпульсов с другими временными интервалами.

Для выбора оптимальных параметров контроля пера подошвы рельса Р65 был построен акустический тракт распространения ультразвуковой волны [27] при установке пьезопреобразователя на шейку рельса. Акустический тракт (рис. 1) показывает, что оптимальным углом ввода является угол 58° , так как при данном угле ввода поперечная волна распространяется до самого края пера подошвы рельса, при этом наблюдается минимальное количество неинформативных переотражений от геометрического профиля рельса.

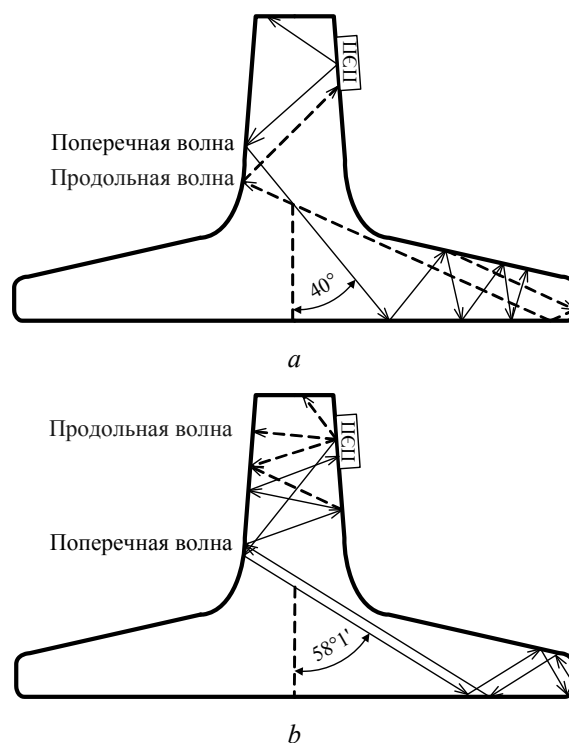


Рис. 1. Распространение поперечных и продольных волн в рельсе с углом ввода 40° (a) и 58° (b)

Fig. 1. Propagation of transverse and longitudinal waves in a rail with an input angle of 40° (a) and 58° (b)

При выбранном угле ввода был построен акустический тракт распространения ультразвуковой волны при наличии различных дефектов типа 69 пера подошвы рельса (рис. 2, *a-d*). Как видно на рис. 2, *b*, переотражений ультразвуковой волны в пере подошвы рельса при наличии дефекта с диаметром 3,5 мм и глубиной 7 мм намного больше, чем в моделях с другими типоразмерами. При увеличении размеров дефекта (тип – плоскодонный отражатель – ПДО) характер переотражений меняется, волна больше расходитя, время прихода отраженного сигнала увеличивается по сравнению с лучом на бездефектном участке.

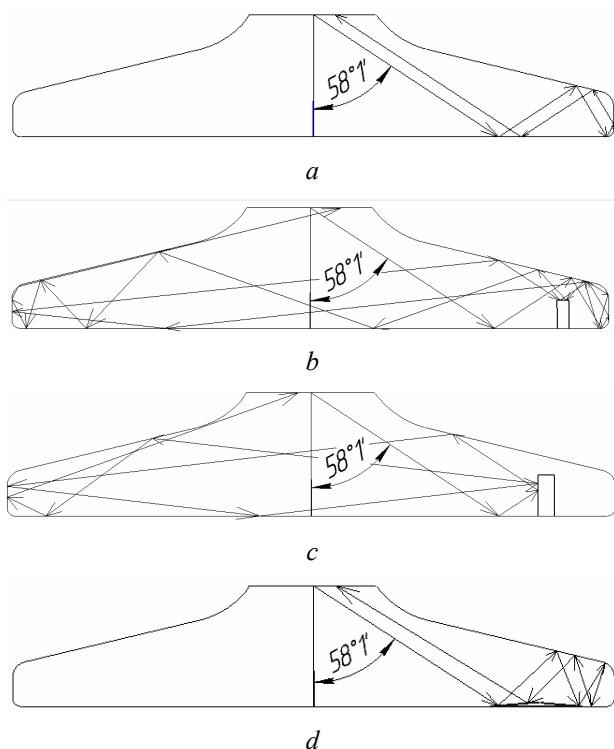


Рис. 2. Распространение поперечных волн в пере подошвы рельса с углом ввода 58° : *a* – в бездефектном участке; *b* – при наличии дефекта с диаметром 3,5 мм и глубиной 7 мм; *c* – при наличии дефекта с диаметром 4 мм и глубиной 10 мм; *d* – при наличии продольного дефекта

Fig. 2. Propagation of shear waves in the rail base point with an input angle of 58° : *a* - in a defect-free section; *b* - in the presence of a defect with a diameter of 3.5 mm and a depth of 7 mm; *c* - in the presence of a defect with a diameter of 4 mm and a depth of 10 mm; *d* - in the presence of a longitudinal defect

Плоские поперечные дефекты пера подошвы также изменяют акустический тракт поперечной волны (рис. 2, *d*) и приводят к увеличению количества ее переотражений в подошве при увеличении глубины поперечного дефекта.

Следует отметить, что моделирование выполнено в лучевом приближении в предположе-

нии отсутствия расхождения, а для случаев *b*, *c*, *d* на рис. 2 – в том числе при отсутствии трансформации волн.

Описание эксперимента

Для подтверждения возможности выявления дефектов в подошве рельса типа Р65 было проведено экспериментальное исследование многократным зеркально-теневым методом с использованием поперечных волн. В качестве измерительных средств использовался ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 «Луч», для возбуждения и приема ультразвуковых волн использовался пьезоэлектрический преобразователь с переменным углом ввода α , для поиска наилучшей выявляемости дефектов использовались три типа преобразователя с рабочими частотами 1,8, 2,5 и 5 МГц. Схема установки представлена на рис. 3.

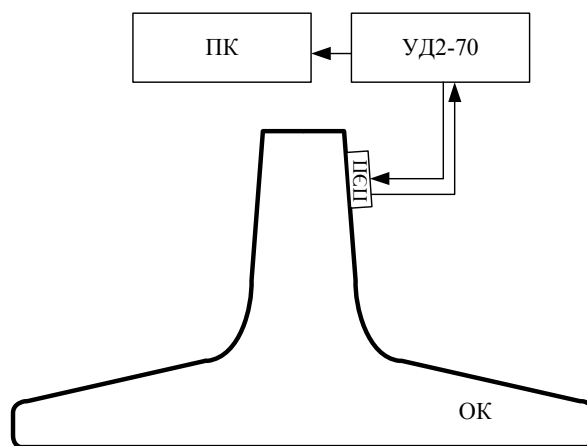


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки для контроля пера подошвы рельса

Fig. 3. Block diagram of an experimental setup for monitoring a rail base point

Установка работает следующим образом. С дефектоскопа УД2-70 подается высокочастотный электрический импульс на вход пьезопреобразователя (ПЭП), который, свою очередь, возбуждает в объекте контроля (ОК) поперечную волну C_t . Волна, прошедшая через объект, многократно отразившись от поверхностей пера и/или дефекта, регистрируется этим же пьезопреобразователем, электрические импульсы с выхода которого поступают на вход дефектоскопа. После всех проведенных измерений полученные дефектограммы передаются на персональный компьютер (ПК) для дальнейшей обработки.

На полученной серии дефектограмм (рис. 4) можно наблюдать импульс многократно отраженного сигнала из пера подошвы. Амплитуда максимальна на бездефектном участке и снижается более чем в 2 раза на дефектных участках.

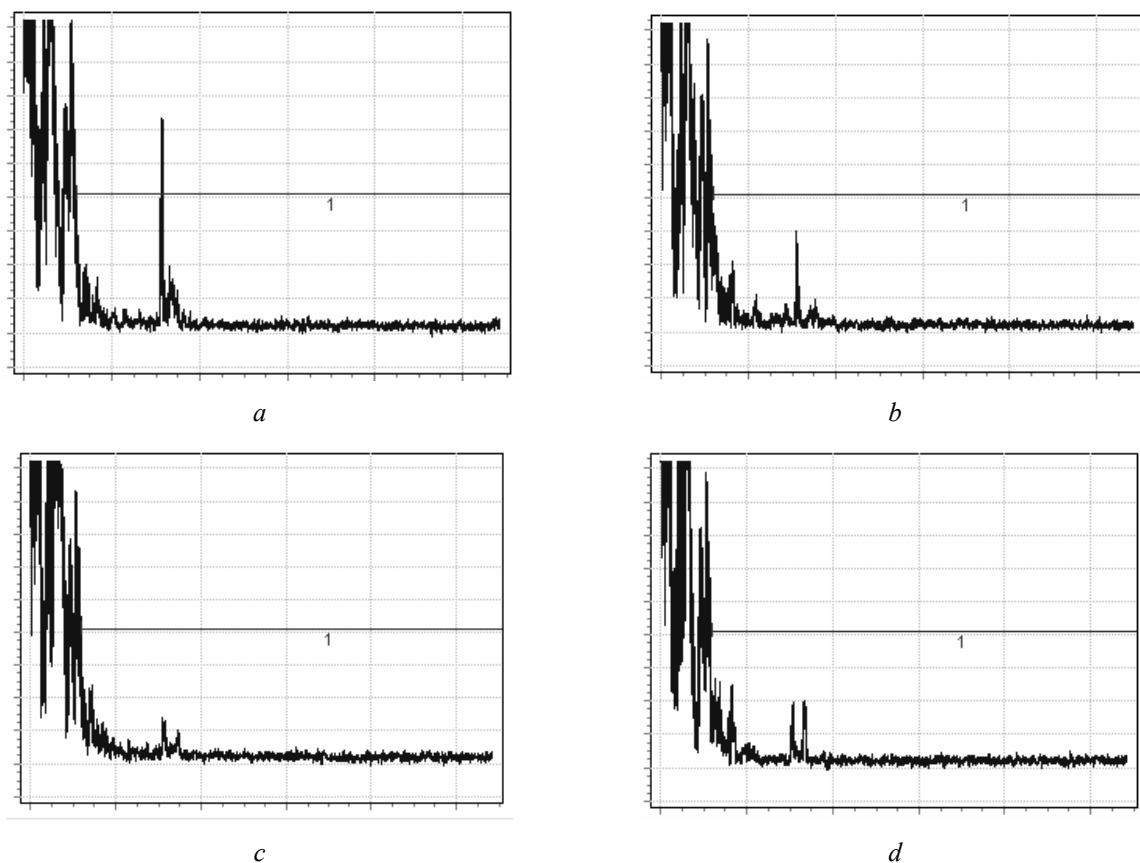


Рис. 4. А-развертка дефектоскопа при контроле подошвы рельса: *a* – бездефектный участок; *b* – искусственный дефект – плоскдонное отверстие (ПДО) Ø3,5 мм и глубиной 7 мм; *c* – ПДО Ø4 мм и глубиной 10 мм; *d* – поперечный пропил глубиной 2 мм

Fig. 4. A-scan flaw detector for monitoring the base of the rail: *a* - defect-free area; *b* - artificial defect - flat-bottomed hole (FBH) Ø3.5 mm with a depth of 7 mm; *c* - PDO Ø 4 mm with a depth of 10 mm; *d* - cross cut 2 mm deep

Результаты и обсуждение

Для оценки возможности контроля пера подошвы рельса были изготовлены искусственные дефекты различных типоразмеров, представленные в таблице.

Параметры искусственных дефектов пера подошвы рельса

Parameters of artificial defects of the rail sole pen

Тип дефекта	Диаметр <i>d</i> , мм	Глубина <i>h</i> , мм	Площадь отражателя <i>S</i> , мм ²
Плоскдонное отверстие (ПДО)	3,5	7	12,25
Плоскдонное отверстие	4	10	16,0
Поперечный дефект	–	1	81,25
Продольный дефект	–	1	81,25

На частоте 1,8 МГц влияние дефекта на принятый многократно отраженный сигнал не было различимым относительно уровня шумов, поскольку данный преобразователь имеет более широкую диаграмму направленности по срав-

нению с ПЭП на частотах 2,5 и 5,0 МГц; кроме того, для данной диаграммы направленности распространение волны не соответствует построенной модели.

Эффективность обнаружения дефектных зон в подошве рельса при различных углах ввода преобразователя оценивалась с использованием коэффициента выявляемости, который показывает, на сколько децибел снижается амплитуда многократно отраженного сигнала, полученного на дефектных участках относительно бездефектного. Амплитуды сигналов на таких участках регистрировались при изменении угла ввода от 30 до 62° с шагом 2°, результаты представлены на рис. 5, где *K* – коэффициент выявляемости дефекта, рассчитанный по формуле

$$K = U_0 - U_d,$$

где *U*₀ – амплитуда сигнала на бездефектом участке; *U*_д – амплитуда сигнала на дефектом участке.

Из полученных результатов следует, что при угле ввода 58° и рабочей частоте ПЭП 5 МГц

наблюдается максимальное значение коэффициента выявляемости для всех видов искусственных отражателей, что говорит о достаточной чувствительности контроля при выбранных параметрах; данные значения хорошо соотносятся с результатами моделирования акустического тракта ультразвуковой волны

в подошве рельса. Отрицательные значения коэффициента выявляемости менее 0,5 дБ свидетельствует о том, что на данных углах волна не чувствительна к наличию дефекта, а незначительное изменение коэффициента выявляемости связано с качеством акустического контакта.

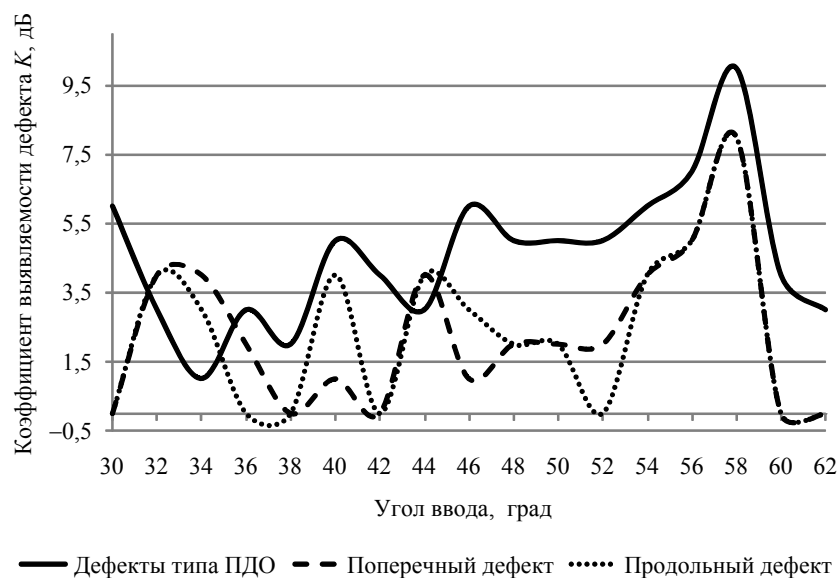


Рис. 5. Коэффициент выявляемости K при различных углах ввода волны

Fig. 5. Detection coefficient K at various angles of wave input

Выводы

Предложен многократный зеркально-теневой метод контроля рельса Р65, позволяющий провести контроль ранее недоступной зоны пера подошвы рельса. Для оценки эффективной реализации метода построены модели распространения акустической волны в подошве рельса при установке преобразователя на шейку. На основании построенных моделей обоснован выбор наклонных совмещенных преобразователей с рабочей частотой 5 МГц, углом ввода 58° для выявления модели дефекта типа 69.2 в железнодорожном рельсе по разным акустическим трактам.

Возможность контроля пера подошвы рельсов многократным зеркально-теневым методом подтверждена экспериментально. Получены серии дефектограмм для различных углов ввода ($30 \dots 62^\circ$), рабочих частот ($1,8 \dots 5$ МГц), доказывающих, что параметры контроля, полученные при моделировании, выбраны верно. Признаком дефекта в предложенном методе является уменьшение амплитуды многократно отраженного донного сигнала. Предлагаемым методом были обнаружены дефекты в перьях подошвы различных типоразмеров. Важно отметить, что на выявление дефекта не влияет из-

менение профиля головки рельса в результате его длительной эксплуатации.

Следует отметить также, что установка преобразователя со стороны шейки рельса вызывает сложность сканирования, так как участки болтовых стыковых соединений и стрелочных переводов ограничивают контроледоступность метода и его автоматизацию. Метод может быть использован как подтверждающий при расшифровке результатов, полученных с головки рельса, например, методом SAFT.

Библиографические ссылки

1. Опыт приемного акустического контроля и упрочнения насосных штанг при сервисном обслуживании / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Н. А. Кокорин, В. А. Стрижак // В мире неразрушающего контроля. 2007. № 4 (38). С. 14–19.
2. Xincan J. A measurement and evaluation method for wheel-rail contact forces and axle stresses of high-speed train. *Measurement*, 2020, vol. 149, p. 106983. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.106983.
3. Pathak M., Alahakoon S., Spiryagin M., Cole C. Rail foot flaw detection based on a laser induced ultrasonic guided wave method. *Measurement*, 2019, vol. 148, p. 106922. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.106922.

4. Муравьев В. В., Тапков К. А., Ленков С. В. Неразрушающий контроль внутренних напряжений в рельсах при изготовлении с использованием метода акустоупругости // Дефектоскопия. 2019. № 1. С. 10–16. DOI: 10.1134/S01303082190100020.
5. Исследование напряженного состояния рельса с использованием акустоупругости и тензометрии / Л. Н. Степанова, С. А. Бехер, А. Н. Курбатов, Е. С. Тенитилов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 7 (655). С. 103–109.
6. Электромагнитно-акустический метод исследования напряженно-деформированного состояния рельсов / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, А. В. Платунов, В. А. Куликов // Дефектоскопия. 2016. № 7. С. 12–20.
7. Исследования структурного и напряженно-деформированного состояния рельсов текущего производства методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, А. В. Платунов, И. В. Булдакова, Л. В. Гущина // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 2. С. 13–23. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-2-13-23.
8. Связь внутренних напряжений и механических свойств дифференцированно упрочненных рельсов с параметрами акустических волн / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, А. В. Платунов, Л. В. Гущина // Сталь. 2018. № 10. С. 64–67.
9. Исследование двухосного напряженного состояния в рельсах Р65 методом акустоупругости / В. В. Муравьев, А. В. Якимов, Л. В. Волкова, А. В. Платунов // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17, № 1. С. 19–25. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-1-19-25.
10. Контроль качества пруткового проката электромагнитно-акустическим методом / Г. А. Буденков, М. В. Татаркина, А. В. Лукин, Н. А. Черных, Л. З. Вадретдинова // Дефектоскопия. 2009. № 4. С. 50–60.
11. Оценка остаточных напряжений в ободьях вагонных колес электромагнитно-акустическим методом / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Е. Н. Балобанов, Л. В. Волкова // Дефектоскопия. 2011. № 8. С. 16–28.
12. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Хапонен Н. А. Акустический критерий предельного состояния длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов // Контроль. Диагностика. 2004. № 5. С. 19–23.
13. Муравьев В. В., Муравьев М. В., Бехер С. А. Применение новой методики обработки сигналов АЭ для повышения точности локализации дефектов // Дефектоскопия. 2002. № 8. С. 53–65.
14. Fan S.Y., Dixon R.S., Edwards X. Jian Ultrasonic surface wave propagation and interaction with surface defects on rail track head. *NDT & E International*, 2007, vol. 40, no. 6, pp. 471-477. DOI: 10.1016/j.ndteint.2007.01.008.
15. Yuanye B., Haifeng Zh., Mehdi Ah., Md Afzalul K., H. Felix Wu. Measurements of Young's and shear moduli of rail steel at elevated temperatures. *Ultrasonics*, 2014, vol. 54, no. 3, pp. 867-873. DOI: 10.1016/j.ultras.2013.10.015.
16. Марков А. А., Шпагин Д. А., Шилов М. Н. Ультразвуковой многоканальный дефектоскоп для контроля железнодорожных рельсов с регистрацией сигналов // Дефектоскопия. 2003. № 2. С. 24–35.
17. Муравьев В. В., Бояркин Е. В. Неразрушающий контроль структурно-механического состояния рельсов текущего производства по скорости ультразвуковых волн // Дефектоскопия. 2003. № 3. С. 24–33.
18. Дымкин Г. Я., Шелухин А. А., Анисимов В. Н. Совершенствование методики эхоимпульсного ультразвукового контроля рельсов при производстве // Дефектоскопия. 2019. № 8. С. 14–23. DOI: 10.1134/S0130308219080025.
19. О влиянии условных дефектов, выявленных УЗК, на потребительские свойства рельсов / А. В. Головатенко, А. Н. Коновалов, Е. В. Полевой, М. М. Мамонтов, А. М. Юнусов // Сталь. 2019. № 7. С. 72–74.
20. Марков А. А., Максимова Е. А. Анализ эффективности ультразвуковых и магнитных каналов дефектоскопических комплексов при контроле рельсов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 2. С. 22–32. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-2-22-32.
21. Полевой Е. В., Юнин Г. Н., Смирнов Л. А. К вопросу о требованиях к качеству железнодорожных рельсов и методах их контроля (в порядке обсуждения) // Сталь. 2019. № 7. С. 66–68.
22. Разработка средств мониторинга динамических процессов взаимодействия колес и рельсов в эксплуатации / С. А. Бехер, Т. В. Сыч, А. О. Коломеец, А. С. Кочетков // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 3 (46). С. 33–42.
23. Базулин Е. Г. Получение изображений дефектов в перьях подошвы рельсов методом SAFT с учетом многократного отражения ультразвукового импульса от границ объекта контроля // Дефектоскопия. 2010. № 2. С. 63–77.
24. К расчету акустического тракта при акустико-эмиссионном контроле днищ стальных вертикальных резервуаров / О. В. Недзвецкая, Г. А. Буденков, А. В. Соколкин, И. Ю. Иевлев // Дефектоскопия. 2003. № 10. С. 55–66.
25. Муравьева О. В., Соков М. Ю. Влияние глубины залегания дефекта на параметры многократнотеневого электромагнитно-акустического метода контроля прутков // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2016. Т. 19, № 3. С. 46–50.
26. Анализ отраженных сигналов при контроле цилиндрических образцов многократным зеркальнотеневым методом / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, М. А. Габбасова, И. В. Булдакова, М. Ю. Соков // Автотметрия. 2016. Т. 52, № 4. С. 62–70. DOI: 10.15372/AUT20160408.
27. Муравьева О. В., Муравьев В. В., Габбасова М. А. Вероятностно-статистические параметры сигнала при контроле цилиндрических объектов зеркальнотеневым методом многократных отражений // Дефектоскопия. 2015. № 12. С. 11–19.

References

1. Budenkov G.A., Nedzvetskaya O.V., Kokorin N.A., Strizhak V.A. [Opyt priemchnogo akusticheskogo kontrolya i uprochneniya nasosnykh shtang pri servisnom obsluzhivanii]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*, 2007, no. 4, pp. 14-19 (in Russ.).
2. Xincan J. A measurement and evaluation method for wheel-rail contact forces and axle stresses of high-speed train. *Measurement*, 2020, vol. 149, p. 106983. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.106983.
3. Pathak M., Alahakoon S., Spiriyagin M., Cole C. Rail foot flaw detection based on a laser induced ultrasonic guided wave method. *Measurement*, 2019, vol. 148, p. 106922. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.106922.
4. Muravev V.V., Tapkov K.A., Lenkov S.V. [In-production nondestructive testing of internal stresses in rails using acoustoelasticity method]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 8-14. DOI: 10.1134/S1061830919010078.
5. Stepanova L.N., Beher S.A., Kurbatov A.N., Tenitilov E.S. [Mechanical strains condition investigation in rails by means of acoustic elasticity and strain measurement]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*, 2013, no. 7, pp. 103-109 (in Russ.).
6. Murav'ev V.V., Volkova L.V., Platonov A.V., Kulikov V.A. [An electromagnetic-acoustic method for studying stress-strain states of rails]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2016, vol. 52, no. 7, pp. 370-376. DOI: 10.1134/S1061830916070044.
7. Murav'ev V.V., Volkova L.V., Platonov A.V., Buldakova I.V., Gushchina L.V. [Investigations of the Structural and Strain-Stress State of the Rails of Current Production by the Acoustic Elasticity Method]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 13-23 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-2-13-23.
8. Muraviev V.V., Volkova L.V., Platonov A.V., Gushchina L.V. [Acoustic assessment of the internal stress and mechanical properties of differentially hardened rail]. *Steel in Translation*, 2018, vol. 48, no. 10, pp. 690-694. DOI: 10.3103/S0967091218100078.
9. Murav'ev V.V., Yakimov A.V., Volkova L.V., Platonov A.V. [Investigation of biaxial stress state in r65 rails by acoustoelasticity method]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 19-25 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2019-1-19-25.
10. Budenkov G.A., Tatarikina M.V., Lukin A.V., Chernykh N.A., Vadretdinova L.Z. [Quality control of rolled rods by the electromagnetic-acoustic technique]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2009, vol. 45, no. 4, pp. 259-266. DOI: 10.1134/S1061830909040068.
11. Muravyev V.V., Muravyeva O.V., Strizhak V.A., Pryakhin A.V., Balobanov E.N., Volkova L.V. [Evaluation of residual stresses in rims of wagon wheels using the electromagnetic-acoustic method]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2011, vol. 47, no. 8, pp. 512-521. DOI: 10.1134/S1061830911080079.
12. Smirnov A.N., Murav'ev V.V., Khaponen N.A. [Akusticheskii kriterii predel'nogo sostoyaniya dlitel'no rabotayushchego metalla tekhnicheskikh ustroystv opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2004, no. 5, pp. 19-23 (in Russ.).
13. Murav'ev V.V., Murav'ev M.V., Bekher S.A. [A novel technique of AE signal processing for upgrading the accuracy of flaw localization]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2002, vol. 38, no. 8, pp. 600-610. DOI: 10.1023/A:1022488802820.
14. Fan S.Y., Dixon R.S., Edwards X. Jian Ultrasonic surface wave propagation and interaction with surface defects on rail track head. *NDT & E International*, 2007, vol. 40, no. 6, pp. 471-477. DOI: 10.1016/j.ndteint.2007.01.008.
15. Yuanye B., Haifeng Zh., Mehdi Ah., Md Afzalul K., H. Felix Wu. Measurements of Young's and shear moduli of rail steel at elevated temperatures. *Ultrasonics*, 2014, vol. 54, no. 3, pp. 867-873. DOI: 10.1016/j.ultras.2013.10.015.
16. Markov A.A., Shpagin D.A., Shilov M.N. [Ultrasonic multichannel flaw detector for testing rails with signal recording]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2003, vol. 39, no. 2, pp. 105-114. DOI: 10.1023/B:RUNT.0000008386.07674.97.
17. Murav'ev V.V., Boyarkin E.V. [Nondestructive testing of the structural-mechanical state of currently produced rails on the basis of the ultrasonic wave velocity]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2003, vol. 39, no. 3, pp. 189-197. DOI: 10.1023/B:RUNT.0000009071.94892.15.
18. Dymkin G.Ya., Shelukhin A.A., Anisimov V.N. [Improving Procedures for Ultrasonic Pulse-Echo Testing of Rails in Production]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2019, vol. 55, no. 8, pp. 560-569. DOI: 10.1134/S1061830919080047.
19. Golovatenko A.V., Konovalov A.N., Polevoy E.V., Mamontov M.M., Yunusov A.M. [On the Influence of Conditional Defects Detected by Ultrasound Control upon the Consumer Properties of Rails]. *Stal'*, 2019, no.7, pp. 72-74 (in Russ.).
20. Markov A.A., Maksimova E.A. [Analysis of the Efficiency of Ultrasonic and Magnetic Channels of Flaw Detection Systems]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 2, pp. 22-32 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-2-22-32.
21. Polevoy E.V., Yunin Gh. N., Smirnov L.A. [On the Problem of Quality Requirements for Railway Rails and Methods of Their Control (in Way of Discussion)]. *Stal'*, 2019, no. 7, pp. 66-68 (in Russ.).
22. Bekher S.A., Sych T.V., Kolomeets A.O., Kochetkov A.S. [Development of Means for Monitoring the Dynamic Processes of Wheels and Rails Interaction in Service]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2018, no. 3, pp. 33-42 (in Russ.).
23. Bazulin E.G. [SAFT imaging of flaws in the rail base blade with consideration of multiple reflections of an ultrasonic pulse from the boundaries of a test object]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 125-136. DOI: 10.1134/S1061830910020075.

24. Nedzvetskaya O.V., Budenkov G.A., Sokolkin A.V., Ievlev I.Yu. [Calculation of the acoustic channel in acoustic emission testing of bottoms of vertical steel tanks]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2003, vol. 39, no. 10, pp. 772-781. DOI: 10.1023/B:RUNT.0000020249.59433.b7.

25. Murav'eva O.V., Sokov M. Yu. [Influence of the Defect Depth on the Parameters of Electromagnetic-Acoustic Multiple-Shadow Method of the Rod Testing]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2016, vol. 19, no. 3, pp. 46-50 (in Russ.).

26. Murav'eva O.V., Murav'ev V.V., Gabbasova M.A., Buldakova I.V., Sokov M.Y. [Analysis of reflected signals in testing cylindrical specimens by the multiple reflection echo-shadow method]. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 367-373. DOI: 10.3103/S8756699016040087.

27. Murav'eva O.V., Murav'ev V.V., Gabbasova M.A. [The probability and statistical parameters of a signal during the testing of cylindrical objects by the multiple-reflection echo-shadow method]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, no. 12, pp. 720-726. DOI: 10.1134/S1061830915120074.

Rail Base Point Inspection Using the Mirror through Transmission Testing Technique on Multiple Reflections

L.V. Volkova, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.V. Platunov, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The possibility of P65 rail base point inspection to detect defects of 69.2 type was discussed. The purpose of the study is the justification of the possibility of using the mirror through transmission testing technique on multiple reflections to control rail base point and select its parameters. The acoustic path of the propagation of transverse waves in a defective and defective-free rail base point at various input angles was calculated. The calculated acoustic path showed that the optimum input angle when installing the transducer on the rail web is the angle of 58°, because it provides the propagation of the transverse wave to the very edge of the rail base point with a minimal amount of uninformative reflections from the geometric profile of the rail. The largest number of the ultrasonic wave re-reflections is observed in the presence of a defect with a diameter of 3.5 mm and a depth of 7 mm. The increasing of the defect size influence on the nature of the reflections, however, the wave spends more time and experiences a greater discrepancy than in the case of a beam in a nondefective section.

The experimental study with using transverse waves and the mirror through transmission testing technique on multiple reflections was carried out to confirm the possibility of detecting P65 type of defects in the rail base point. An ultrasonic flaw detector UD2-70 "Luch" was used as a measuring tool, a piezoelectric transducer with a variable input angle was also used to excite and receive ultrasonic waves. According to the results of the experiment, it was confirmed that the optimum input angle for detecting defects in the rail base point is 58°. The selected parameters provide a minimum of non-informative reflections and higher amplitude of the repeatedly reflected signal in the non-defective section. The presence of a defect leads to an amplitude attenuation by more than 2 times.

Keywords: ultrasonic testing settings, ultrasonic path, artificial defect.

Получено 15.11.2019

Образец цитирования

Волкова Л. В., Платунов А. В. Использование многократного зеркально-теневого метода при ультразвуковом контроле пера подошвы рельса // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 38–45. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-38-45.

For Citation

Volkova L.V., Platunov A.V. [Rail Base Point Inspection Using the Mirror through Transmission Testing Technique on Multiple Reflections]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 38-45 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-38-45.