

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН РЕЛЬСОВ ПРИ РУЧНОМ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ

© 2023 г. С.П. Шляхтенков<sup>1,\*</sup>, С.А. Бехер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия 630049 Новосибирск,  
ул. Дуси Ковальчук, 191  
E-mail: \*shlyakhtenkow@gmail.com

Поступила в редакцию 16.06.2023; после доработки 28.06.2023  
Принята к публикации 30.06.2023

Проведены экспериментальные исследования влияния на амплитуду и фазу сигнала вихретокового преобразователя угла наклона, кривизны поверхности, зазора между преобразователем и контролируемой поверхностью катания рельса.  
*Ключевые слова:* контроль вихретоковый, поверхность катания рельса, контактно-усталостные трещины, глубина трещины, способ отстройки от мешающего фактора.

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INTERFERING FACTORS ON THE MEASUREMENT OF THE DEPTH OF SURFACE CRACKS OF RAILS DURING MANUAL EDDY CURRENT CONTROL

© 2023 г. S.P. Shlyakhtenkov<sup>1,\*</sup>, S.A. Becher<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian transport university, Russia 630049 Novosibirsk, str. Dusi Kovalchuk, 191  
E-mail: \*shlyakhtenkow@gmail.com

Experimental studies have been carried out on the effect on the amplitude and phase of the signal of the eddy current converter of the angle of inclination, the curvature of the surface, the gap between the converter and the controlled surface of the rolling rail.

*Keywords:* eddy current control, rail rolling surface, cracks.

DOI: 10.31857/S0130308223110088, EDN: XAAEYQ

### ВВЕДЕНИЕ

Одними из наиболее распространенных дефектов железнодорожных рельсов являются контактно-усталостные поверхностные трещины [1—3]. Бесконтрольное развитие этих повреждений может привести к появлению критических дефектов, а в последствии к излому рельсов [4]. Для устранения поверхностных трещин применяется технология шлифования, эффективность которой зависит от достоверности информации о глубине повреждений [5]. Для решения задачи количественной оценки глубин трещин перспективным методом неразрушающего контроля признан вихретоковый метод (ВТК) [6, 7]. Сложность реализации ВТК заключается в том, что выходной сигнал вихретокового преобразователя (ВТП) зависит сразу от нескольких параметров объекта контроля.

Целью работы является повышение достоверности оценки глубины трещин поверхности катания рельсов вихретоковым методом за счет создания и обоснования эффективных способов выделения информации об измеряемом параметре и отстройки от мешающих факторов.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И АППАРАТУРА

В исследованиях использовался вихретоковый дефектоскоп ВЕКТОР-60Д в комплекте с преобразователем ПВР-1. Анализ изменения амплитуды и фазы сигналов ВТП проводился с использованием реализованной в дефектоскопе развертки на амплитудно-фазовой плоскости. Для уменьшения влияния наклона ВТП использовался амплитудно-фазовый способ. Предварительно определялось направление изменения амплитуды сигнала от наклона датчика относительно нормали поверхности сканирования, а амплитуда сигнала от трещины измерялась в проекции на перпендикулярное направление (рис. 1а).

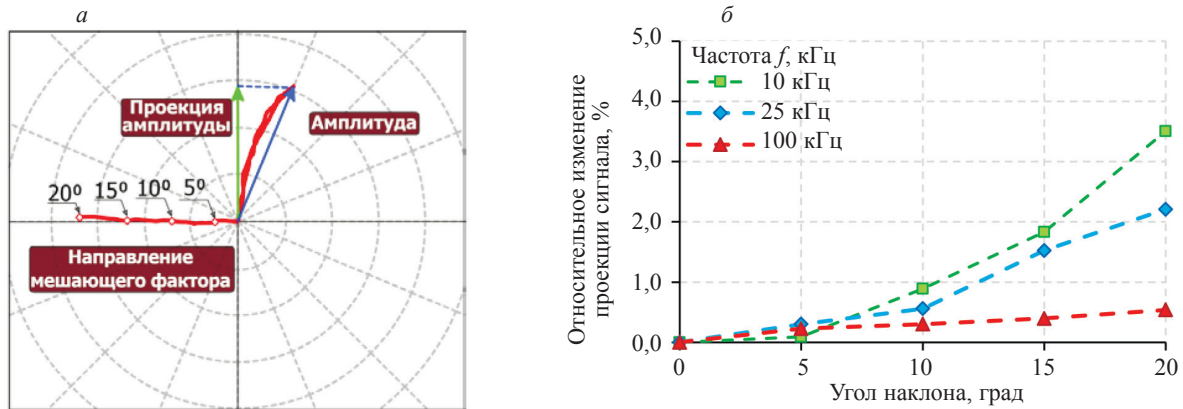


Рис. 1. Изменение сигнала от наклона ВТП при частоте 100 кГц (а), зависимость относительного изменения проекции выходного сигнала ВТП от угла наклона при разных частотах (б).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На частотах возбуждения вихревых токов 10, 25 и 100 кГц проведено сканирование образца головки рельса типа Р65 стали марки Э76ХФ с естественной трещиной глубиной 0,5 мм при углах наклона ВТП от 0 до 20°. Сдвиг фазы выходного сигнала ВТП составил для частоты 10 кГц — 290°, для 25 кГц — 306° и для 100 кГц — 334°. Далее определялось относительное изменение проекции выходного сигнала ВТП (отношение «сигнал/помеха»). Погрешность компенсации достигает 3,5 % на частоте 10 кГц, в 1,5 раза меньше (2,2 %) на частоте 25 кГц и 0,6 % на частоте 100 кГц (рис. 1б).

Влияние кривизны поверхности на сигнал ВТП исследовалось на бездефектном участке головки рельса. Предварительно поверхность катания разбивалась на 4 зоны длиной 5 мм, имеющих различный радиус кривизны. Изменение кривизны вызывает уменьшение магнитного поля вихревых токов и появление нескомпенсированного сигнала, уровень которого будет определяться степенью кривизны поверхности. При этом в характерной зоне развития усталостных трещин — на выкружке рельса, погрешность измерения глубины до 0,5 мм составляет более 20 %. На рис. 2а показана разная реакция выходного сигнала ВТП на изменение угла наклона, зазора и радиуса кривизны. Зазор между поверхностью и датчиком выставлялся с помощью держателя ВТП, обеспечивающего его неподвижность и перпендикулярность относительно контролируемой поверхности, и набора щупов толщиной от 0,05 до 1 мм. Уровень сигнала от кривизны поверхности отображается на амплитудно-фазовой плоскости в направлении действия дефекта. При этом сигнал от увеличения наклона ВТП на угол до 30° и зазора до 0,1 мм имеет направление, выбранное в качестве направления отстройки от мешающих параметров.

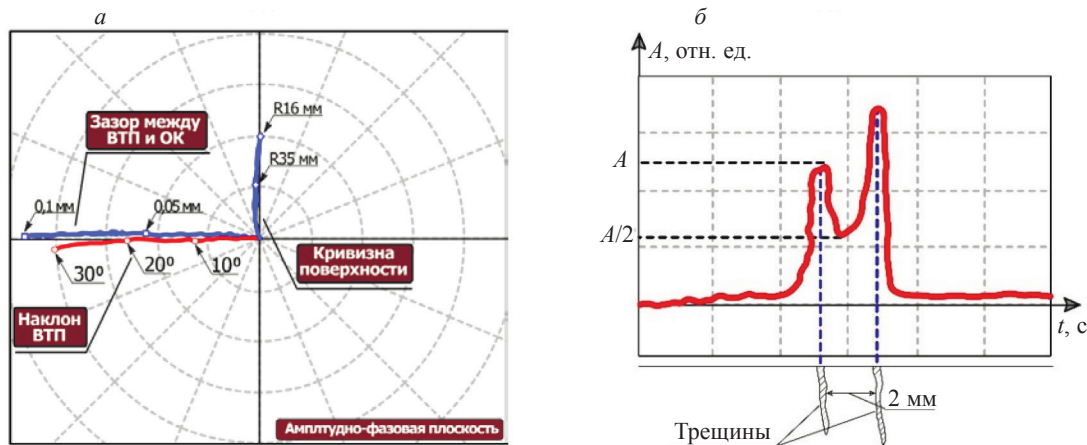


Рис. 2. Изменение сигнала при наклоне ВТП, зазоре и влиянии кривизны поверхности (а); временная развертка сигналов ВТП при сканировании близкорасположенных трещин (б).

Определение зоны чувствительности ВТП проводилось на образце головки рельса с реальными контактно-усталостными трещинами. Для выявления трещин и оценки их протяженности и топологии использовался магнитопорошковый метод. Обнаруженные дефекты имеют вид тонких параллельных трещин (сетка трещин), расстояние между которыми варьируется в пределах от 0,5 до 2 мм. На частоте возбуждения вихревых токов 100 кГц проведено сканирование сетки трещин. При отдалении ВТП от трещин на расстояние 0,5 мм происходит спад амплитуды сигнала на 40—60 % (рис. 2б). Это позволяет уверенно регистрировать сигналы от нескольких трещин на выкружке рельса, расстояние между которыми превышает 1 мм.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Амплитудно-фазовый способ отстройки позволил достаточно эффективно уменьшить влияние угла наклона и зазора на изменение параметров выходного сигнала ВТП, при этом максимальная погрешность компенсации на частоте 100 кГц не превышает 0,6 %. Зона чувствительности ВТП, создаваемая ферромагнитным сердечником Ø 1 мм, вблизи трещины имеет характерный размер 0,5 мм в обе стороны, что позволяет регистрировать раздельно сигналы при контроле сетки трещин. Уменьшение влияния кривизны поверхности может быть достигнуто только при сканировании вдоль линии постоянной кривизны или введением поправок.

Исследования выполнены по теме «Высокопроизводительная технология скоростного шлифования рельсов и оборудование для ее реализации на основе интеллектуальных цифровых модулей», соглашение № 075-11-2022-014 от 08.04.2022 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Муравьев В.В., Тапков К.А.* Оценка остаточных напряжений в дифференцированно термоупрочненных рельсах акустическим методом. Ижевск: УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2023. 156 с.
2. *Степанова Л.Н., Курбатов А.Н., Бехер С.А., Кабанов С.И., Тенилов Е.С., Чернова В.В.* Исследование продольных напряжений в железнодорожных рельсах методом акустоупругости // Деформация и разрушение материалов. 2023. № 2. С. 33—40.
3. *Абдурашитов А.Ю., Сычев П.В., Юркова Ю.Н.* Модели образования контактно-усталостных повреждений на поверхности катания рельсов // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2019. Т. 15. № 15. С. 14—21.
4. *Кулманова Н.К., Каскин Б.К.* Определение скорости роста усталостных трещин в стальных рельсах и плетях, сваренных электроконтактным способом // Вестник АО «КазНИИСА». 2020. № 4. С. 52—58.
5. *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.
6. *Nafiah F., Sophian A., Khan R.* Quantitative evaluation of crack depths and angles for pulsed eddy current non-destructive testing // NDT & E International. 2019. No. 102. P. 180—188.
7. *Mate Tamas, Zwierczyk Peter.* Comparison of rail head checks using destructive and non-destructive examination methods // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2022. No. 22. P. 1—7.