

К. В. Федин^{1,2,3}✉, А. Л. Лукьянова^{1,3}, К. Ю. Мелехин¹

Разработка неразрушающего акустического метода контроля для выявления неоднородных включений в стрелочных переводах

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ),
г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Новосибирский государственный технический университет (НГТУ),
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе представлены результаты проведенной серии экспериментов, направленных на разработку метода неразрушающего контроля для выявления неоднородных включений в стрелочных переводах при их изготовлении. Данные исследования позволяют определять дефектные участки без дополнительного применения таких стандартных методов неразрушающего контроля, как магнитопорошковая дефектоскопия, твердометрия, ультразвуковой контроль, радиографический контроль и др. Результаты проведенных экспериментов показали, что предлагаемый метод позволяет выявлять неоднородные включения, трещины и полости в рельсах, не затрачивая на обследование большое количество времени и имеет преимущество перед классическими методами контроля.

Ключевые слова: железная дорога, контроль, неоднородности

K. V. Fedin^{1,2,3}✉, A. L. Lukyanova^{1,3}, K. Y. Melekhin¹

Development of a non-destructive acoustic control method for detecting inhomogeneous inclusions in railroad switches

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper presents the results of a series of experiments aimed at developing a non-destructive testing method for detecting heterogeneous inclusions in railroads switches during their manufacture. These studies make it possible to identify defective areas without additional application of such standard methods of non-destructive testing as magnetic particle flaw detection, hardness testing, ultrasonic testing, radiographic control, etc. The results of the experiments have shown that the proposed method makes it possible to identify heterogeneous inclusions, cracks and cavities in rails without spending a lot of time on examination and has an advantage over classical control methods.

Keywords: railway, control, heterogeneities

Введение

Система проведения неразрушающего контроля рельсов и элементов стрелочных переводов включают в себя организационную структуру, непосредственно средства для проведения неразрушающего контроля и персонал, выполняющий работы на основе регламентирующей его документации [1].

На сегодняшний день проведение неразрушающего контроля рельс и стрелочных переводов производится при их изготовлении стандартными методами [2,4] и с помощью вагонов-дефектоскопов и дефектоскопных автотрис после их монтажа на полотно железной дороги в условиях эксплуатации и с периодичностью, установленной методикой [3,4]. Оба варианта обследований не обходятся без визуального контроля.

При изготовлении контроль проводится выборочно в местах предварительной зачистки, поэтому бывают случаи, когда рельс, визуально не имеющий никаких повреждений и дефектов может расколоться при его монтаже или эксплуатации.

При производстве железнодорожной рельсовой или стрелочной продукции используются высокоуглеродистые стали с добавлением магния и кремния. Такой состав позволяет выдерживать динамические нагрузки от подвижных составов. Тем не менее, во время производства возможно появление дефектов (трещин, полостей) и неоднородных включений в головке изделия, которые по прошествии времени развиваются и могут привести в лучшем случае к излому при монтаже, а в худшем к аварийной ситуации при эксплуатации. Наиболее распространенными являются дефекты в виде поперечных трещин, которые сложно обнаружить [5].

Единственным применяемым способом для обнаружения дефектов на данный момент является ультразвуковая зеркально-теневая дефектоскопия, осуществляющаяся съемными и мобильными дефектоскопами, с помощью которых ежегодно получается обнаружить порядка 10000 остродефектных изделий заводского происхождения [6]. На рисунке 1 показаны примеры заводских дефектов, которые привели к изломам рельсового пути.



Рис. 1. Заводские дефекты, приведшие к изломам рельсов в пути [6]

Одним из способов решения проблемы несвоевременного выявления таких дефектов является обследование рельс и стрелочных переводов по всей длине, однако выполнить такую работу стандартными методами неразрушающего контроля – весьма трудоемкая и времязатратная задача, на решение которой направлено данное исследование.

Методы и материалы

Эксперименты проводились на Новосибирском стрелочном заводе (АО «НСЗ»), изготавливающим продукцию для путей магистрального железнодорожного транспорта, путей промышленных предприятий, метрополитенов и других железнодорожных инфраструктур [7]. Из одной партии случайным образом были выбраны четыре рельса, в которых по результатам обследования не было выявлено дефектных участков.

Обследование проводилось сейсмоакустическим методом, основанным на регистрации шумовых записей колебаний объекта. Источником акустического шума являлся шум от производства.

Для регистрации сейсмоакустических шумов применялись широкополосные датчики (рис. 2), в основе которых лежит пьезокерамический диск с рабочей частотой до 50 кГц. Для обследования всей длины стрелочного перевода измерения проводились с равномерным шагом в 15 см. В качестве регистратора сигналов использовался двухканальный осциллограф.

Похожие эксперименты по выявлению неоднородностей в цельной структуре проводились ранее [8-13].



Рис. 2. Пьезокерамический регистратор и осциллограф

Проведение эксперимента можно разделить на следующие этапы:

1. Проводится регистрация шумов в каждой точке в течении 1 минуты по всей длине стрелки.
2. Полученные шумовые записи разбиваются на блоки и вычисляются их амплитудные спектры. Производится расчет мощности.
3. Для каждого отдельного блока шумовых записей выполняется преобразование Фурье и осреднение полученных спектров путем их суммирования.

4. Последним этапом строится карта распределения мощности сигнала по площади исследуемого объекта.

Для дополнительного уточнения был использован прибор Спектр 4.3, принцип действия которого основан на свойстве акустической волны отражаться от границ раздела сред с различным акустическим импедансом. Примером таких границ может быть металл-воздух или металл-включение). В данном случае волна возбуждалась с помощью небольшого удара.

Результаты

В ходе проведения экспериментов была выявлена стрелка с участком, характеризующимся резким падением суммарного значения амплитуды. Для подтверждения того, что причиной такого падения является именно дефект, были проведены дополнительные замеры прибором Спектр 4.3. Дополнительные замеры проводились в трех местах стрелки: двух предположительно однородных и в найденном предположительно дефектном.

Для каждого из участков были получены амплитудно-частотные спектры. На рис. 3а и 3б показаны спектры цельных участков.

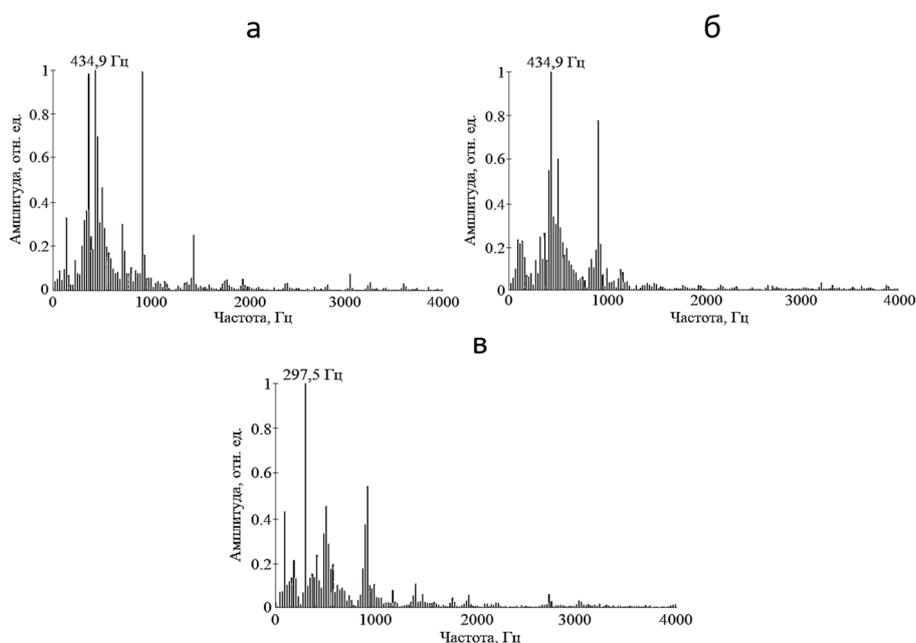


Рис. 3. Амплитудно-частотные спектры для цельных участков стрелки (а, б) и для дефектного участка (в)

Наибольшая амплитуда сигнала в таком случае соответствует 434,9 Гц. При обследовании дефектного участка наибольшая амплитуда сигнала составила 297,5 Гц. Такое смещение частот может указывать на наличие резкой отражающей границы, то есть дефекта.

На рис. 4 показана карта распределения мощности сигнала в месте предполагаемого дефекта.

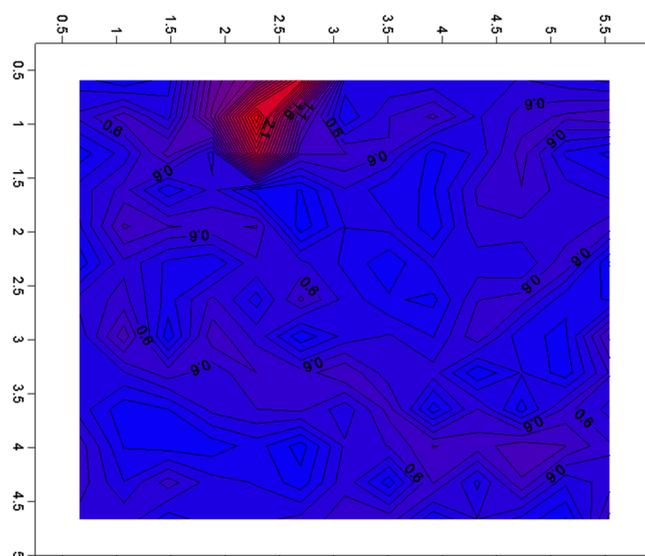


Рис. 4. Карта распределения мощности сигнала в месте дефекта. Красным цветом выделяется дефектная зона, голубым – цельный металл.

Для подтверждения наличия дефекта был произведен распил стрелки (рис. 5), который подтверждает наличие неоднородного включения. В левом верхнем углу видна неоднородность, которую удалось зафиксировать.



Рис. 5. Фото стрелки после распила

Выводы

В результате серии проведенных экспериментов удалось обнаружить дефектный участок стрелочного перевода и подтвердить его наличие с помощью распила. Преимуществом данного метода неразрушающего контроля является следующее:

1. Измерения проводятся по всей длине стрелочного перевода;
2. Не требуется предварительной зачистки металла;
3. Отсутствует необходимость в применении других методов неразрушающего контроля.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ИНГГ СО РАН FWZZ-2022-0017.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Учебное пособие для студентов 3-го курса по ПМ 03. Устройство, надзор и техническое состояние железнодорожного пути и искусственных сооружений. МДК 03.03. Неразрушающий контроль рельс. / В.Ф Петухов; ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС. – Волгоград, 2017. – 154с.
2. ГОСТ 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – М.: ГОССТАНДАРТ России, 2019. – 43с.
3. ГОСТ 34524-2019. Рельсы железнодорожные. Неразрушающий контроль в условиях эксплуатации. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11с.
4. ГОСТ 34663-2020. Стыки рельсов и стрелочных переводов сварные. – М.: Стандартинформ, 2020. – 13с.
5. Гостев Г.А. Проблемы эксплуатации и неразрушающего контроля рельсов с приведенным износом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 1. – № 57. – С. 90-94.
6. Шелухин А.А., Дымкин Г.Я., Рошин Е.В., Этинген И.З. Неразрушающий контроль рельсов при изготовлении / А.А. Шелухин, // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 21-22.
7. Каталог продукции акционерного общества «Новосибирский стрелочный завод» (АО «НСЗ»). – 2021. – 255 с.
8. Колесников Ю.И., Федин К.В. Обнаружение подземных пустотелых объектов по записям микросейсм: натурный эксперимент // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. 18-22 апреля 2016 г, Новосибирск : Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология" : сб. материалов в 4 т. Т.4. –Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 34-38.
9. Федин К.В., Колесников Ю.И., Нгомайезве Л. О глубинности метода обнаружения подземных пустот по микросейсмам // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": сборник материалов в 6 т. Т.4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 296-301.
10. Федин К.В., Колесников Ю.И. Обнаружение пустот под твердым дорожным покрытием по изгибным стоячим волнам // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология":(г. Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г.) : сборник материалов в 6 т. Т.4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 281-297.
11. Федин К.В., Каргаполов А.А., Колесников Ю.И. Влияние щелевидных дефектов на поле стоячих волн, формирующихся в закреплённой балке под действием акустических шумов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012: VIII Международная конференция "Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых" (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. – Т.1. – С. 88-92.
12. Федин К.В., Каргаполов А.А. Влияние неоднородностей на поле стоячих волнообразцов простой формы на примере несущей балки // Проблемы недропользования 2012г.: Материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции (7-10 февраля 2012 г.). – Екатеринбург : УрО РАН, 2012. – С. 201-210.
13. Федин К.В., Влияние неоднородностей на поле стоячих волн конструктивных элементов сооружений // Проблемы развития газовой промышленности Сибири: Сборник тез. докл. XVII науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов ТюменНИИгипрогаз. – Тюмень : ООО ТюменНИИгипрогаз, 2012. – С. 217-219.

© К. В. Федин, А. Л. Лукьянова, К. Ю. Мелехин, 2025