

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ



А.А. МАРКОВ, докт. техн. наук, заместитель генерального конструктора по развитию методов и средств неразрушающего контроля
ОАО «Радиоавионика»,
А.Г. АНТИПОВ, канд. физ.-мат. наук
Р.С. МОСКВИН, инженер СВД 488
 Северо-Кавказской дирекции инфраструктуры

С момента внедрения первого вагона-дефектоскопа, оснащенного новой намагничивающей системой с электромагнитами на осях колесных пар [1], прошло уже более 18 лет. Первые годы было не до исследований. Доказательства работоспособности вагона-дефектоскопа, идентичности сигналов старых [2] и новых вагонов, обучение операторов, оптимизация параметров новой системы потребовали немало сил и времени.

Годы эксплуатации 12 вагонов-дефектоскопов с новой системой показали, что магнитный метод контроля рельсов жив и развивается. Как будет показано ниже и в следующих, запланированных к публикации статьях, благодаря новым решениям значительно расширились возможности магнитодинамического (МД) метода, существенно дополняя возможности других методов (акустических и визуальных) дефектоскопического комплекса. В ряде случаев МД-метод является единственно возможным, позволяющим своевременно обнаружить опасный де-

фект и принять упреждающие меры по обеспечению безопасности движения поездов.

Специалисты ВНИИЖТа и ОАО «Радиоавионика» при создании совмещенного (ультразвукового и магнитного) вагона-дефектоскопа (СВД) с дефектоскопическим комплексом «АВИКОН-03» [3] разработали новую магнитную подсистему. Была поставлена задача: внести такие изменения в конструкцию намагничивающей системы, чтобы обеспечить глубокое промагничивание рельса на скоростях вплоть до 80 км/ч и в перспективе — до 120 км/ч. Это позволило бы выявлять дефекты, залегающие достаточно глубоко под поверхностью головки рельса, в сочетании с высокой скоростью движения.

По сравнению с «П»-образной намагничивающей системой магнитных вагонов-дефектоскопов старых марок новая система подверглась кардинальным изменениям. Межполюсное расстояние возросло более чем в 3 раза, что позволило увеличить глубину промагничивания рельса на высоких скоростях. Вместе

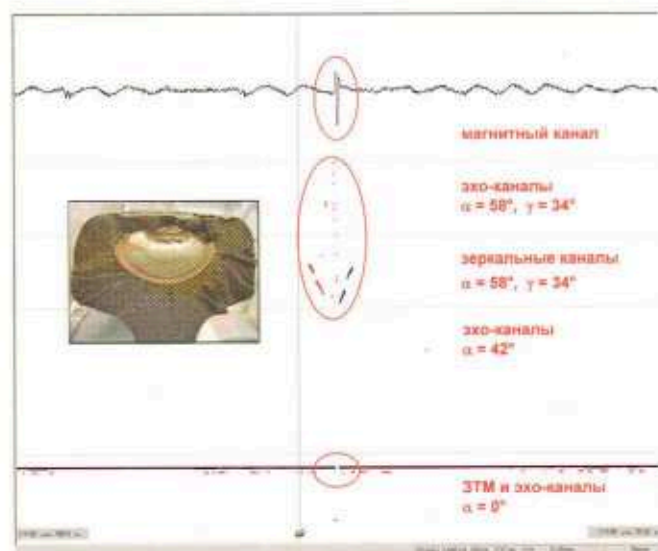


Рис. 1. Поперечная трещина в головке рельса зафиксирована магнитным каналом и ультразвуковым зеркальным методом

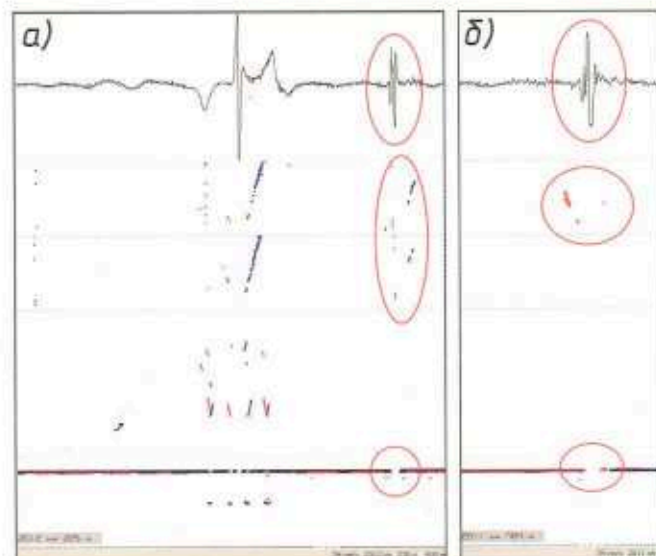


Рис. 2. Сигналы от поперечных трещин в головке рельса: а — рядом с болтовым стыком; б — дефект зафиксирован магнитным каналом и ультразвуковым эхо-методом

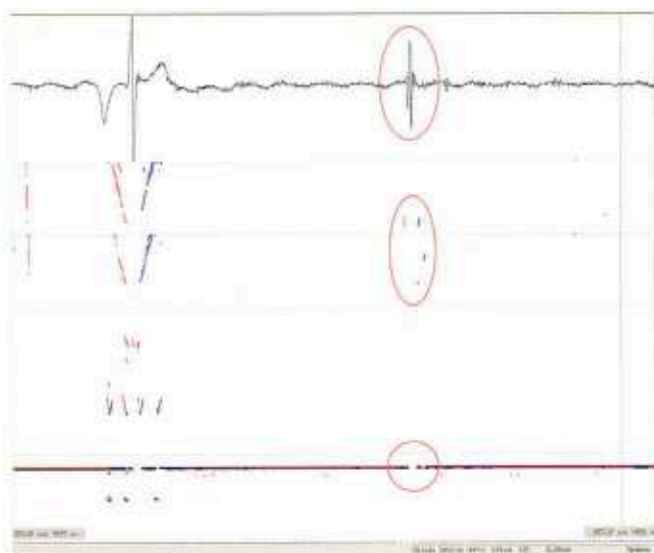


Рис. 3. Сигналы от болтового стыка и поперечной трещины

с тем, это не привело к снижению магнитного потока в рельсе. Положительный результат был достигнут за счет применения более эффективного способа инъекции магнитного поля. В отличие от дефектоскопов, использующих «П»-образную систему намагничивания, у СВД «АВИКОН-03» магнитный поток входит в рельс через колеса дефектоскопической тележки. Благодаря этому сопротивление магнитной цепи уменьшилось, и произошло перераспределение потока в пользу той составляющей, что поступает в рельс.

Лучшим критерием работоспособности дефектоскопической системы являются показатели обнаруживаемости опасных дефектов в рельсах в реальных условиях. Для демонстрации возможностей МД-метода ниже приведены характерные записи трех групп дефектов головки рельсов, обнаруженных совмещенными вагонами-дефектоскопами с комплексами «АВИКОН-03 (М)», эксплуатирующимися на Октябрьской и Северо-Кавказской дорогах:

- поперечные дефекты головки (коды 21.1-2, 24), зафиксированные МД- и ультразвуковыми (УЗ) методами;
- горизонтальные расслоения и трещины головки (коды 30, 31), зафиксированные МД- и УЗ-методами;
- дефекты головки, обнаруженные только благодаря МД-методу.

Трещина в центральной части головки (рис. 1) имеет зеркальную поверхность, вследствие чего эхо-каналы УЗ-метода на реализованной чувствительности контроля не получают эхо-сигналов. Только наличие УЗ зеркальных каналов и эффективно работающего магнитного канала дефектоскопического комплекса позволили своевременно обнаружить столь опасную трещину. Заметим, что на многих мобильных средствах, эксплуатируемых в Дирекциях инфраструктуры, эти каналы отсутствуют.

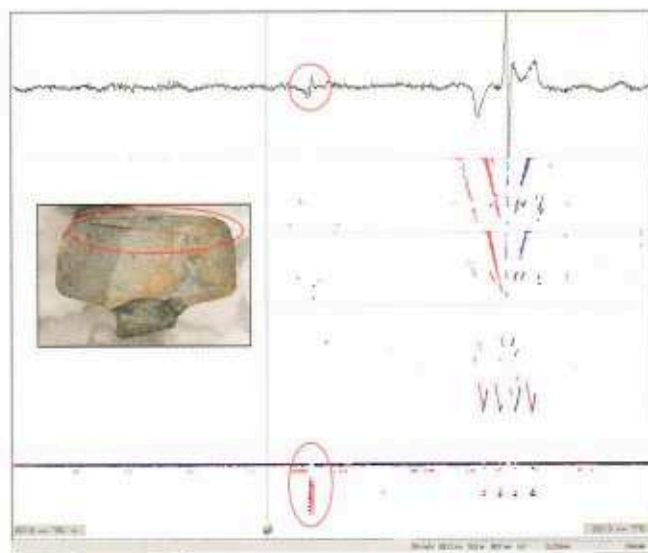


Рис. 4. Сигналы от болтового стыка и горизонтальной трещины

Как следует из записей сигналов болтового стыка (рис. 2, а), наезжающие эхо- и зеркальные УЗ-каналы дефектоскопического комплекса по какой-то причине были в неоптимальном режиме. Несмотря на это, наличие уверенного сигнала МД-метода позволяет однозначно выявлять опасную поперечную трещину. Во втором случае (рис. 2, б) дефект зафиксирован ультразвуковым наезжающим эхо-каналом контроля головки. На-

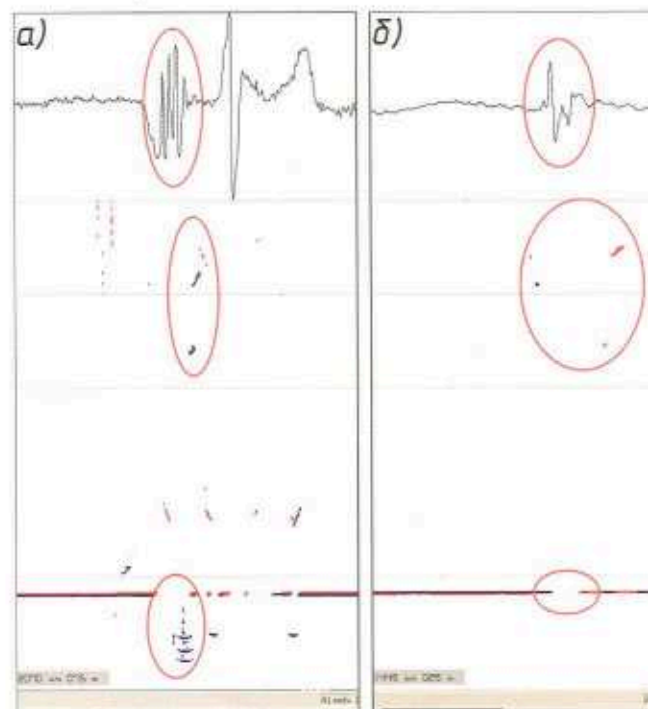


Рис. 5. Сигналы от горизонтальных трещин: а — в зоне болтового стыка; б — одиночное повреждение головки

личие четкого отклика магнитного канала над дефектом дополнительно повышает вероятность обнаружения трещины.

На рис. 3 все каналы дефектоскопического комплекса работали в оптимальном режиме, о чем свидетельствуют характерные сигналы от болтового стыка [3]. Однако ультразвуковые сигналы от поперечной трещины весьма слабы и при отсутствии сигналов магнитного канала могли быть пропущены.

На рис. 4 сигнал магнитного канала над дефектным сечением имеет малую амплитуду. В то же время совместный анализ многократных отражений от плоскости горизонтальной трещины прямым УЗ-каналом и реакция магнитного канала позволяют уверенно идентифицировать сигналы от дефекта.

Обычно в зоне болтового стыка достаточно много отражений от конструктивных элементов, что затрудняет на их фоне выделение сигналов от потенциальных дефектов. Яркий сигнал от дефекта в магнитном канале, даже рядом с сигналом от

торцевого зазора болтового стыка (рис. 5, а), обращает внимание оператора-расшифровщика на дефектное сечение рельса, повышая достоверность обнаружения.

Как видно из приведенных дефектограмм, магнитный канал может быть весьма информативным и наряду с УЗ-каналами позволяет заметно повышать достоверность обнаружения дефектов головки рельсов. Кроме эхо- и зеркальных каналов УЗ-методов во многих случаях пропадание донного сигнала дополнительно подтверждает наличие дефекта. В то же время, только по пропаданию донного сигнала о наличии дефекта в рельсе судить невозможно, поскольку причиной этого могут являться не только внутренние дефекты, но и загрязнение поверхности ввода УЗ-колебаний, смещение искательной системы относительно продольной оси рельса и т.п. Таким образом проявляется так называемый синергетический эффект, когда комплексный анализ сигналов от нескольких каналов более надежен, чем анализ сигналов каждого канала в отдельности.

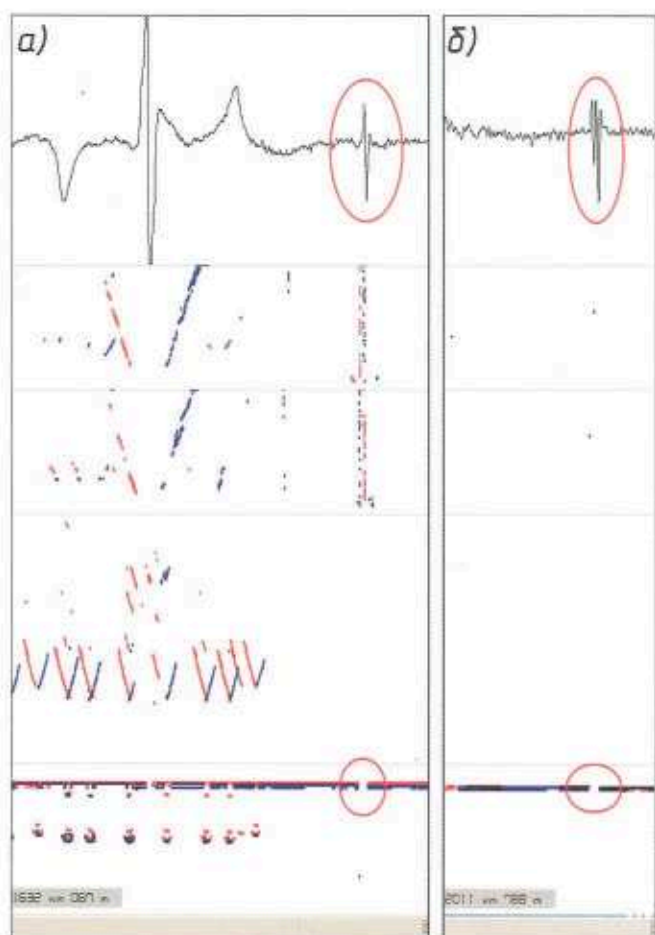


Рис. 6. Сигналы от дефектов головки рельса, обнаруженные благодаря МД-методу:
а — от вертикальной трещины рядом с болтовым стыком; б — одиночное повреждение головки

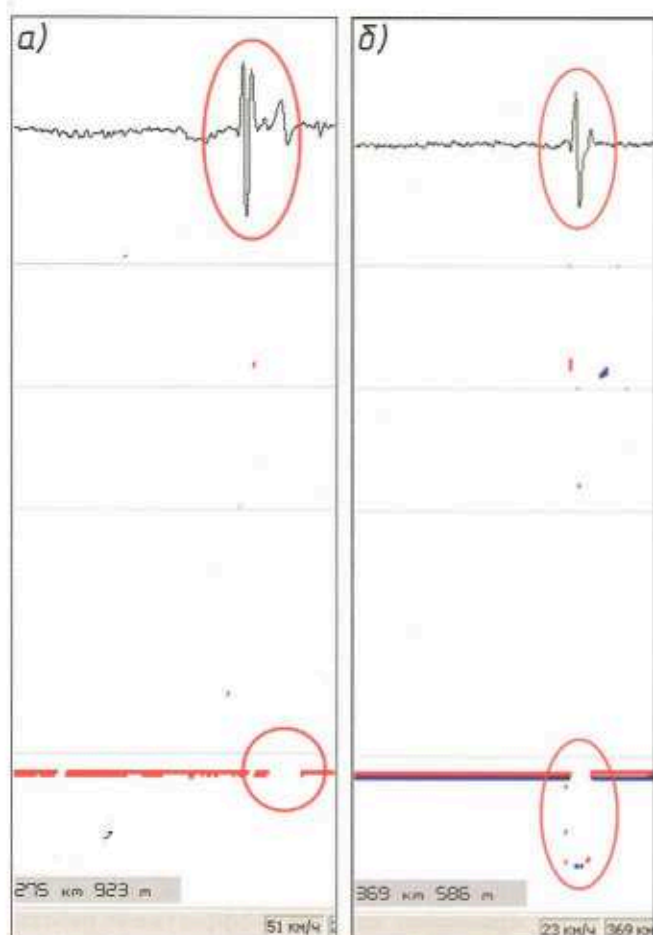


Рис. 7. Сигналы от дефектов головки рельса, обнаруженные благодаря МД-методу:
а — дефект 24; б — горизонтальная трещина головки

В практике контроля встречаются ситуации, когда дефект фиксируется только магнитным каналом дефектоскопического комплекса. Это может произойти при временной неработоспособности (отказе) отдельных УЗ-каналов, невозможности обеспечить стабильный акустический контакт из-за загрязненности поверхности катания, значительного износа в кривых малого радиуса, повышенного приведенного износа и замерзания контактирующей жидкости при аномально низких температурах (ниже -30°C). Как видно из рис. 6, несмотря на работоспособность всех УЗ-каналов дефект вблизи стыка практически ими не выявлен. Только наличие реакции магнитного канала позволило идентифицировать дефектное сечение.

На рис. 6, б и 7 продемонстрированы сигналы от трех дефектов головки рельса, практически пропущенные УЗ-каналами. Только четкие отклики МД-канала позволили своевременно изъять дефектные рельсы из пути.

Из проанализированных нами 84 дефектограмм реальных дефектов головки рельсов, подтвержденных впоследствии вторичным ручным контролем (рельсы затем изъяли из пути), пять дефектов были обнаружены только благодаря МД-методу.

Казалось бы, 5–6 % дефектов, обнаруженных только магнитными каналами, — небольшая величина. Но если учесть, что эти трещины обнаружены в самых сложных условиях (загрязненная или изношенная поверхность катания или сильные морозы), когда все методы и способы оказались бессильны, то можно утверждать, что МД-метод наряду с УЗ-методами является не дополнительным, а основным методом контроля рельсов. Причем, 5–6 % из 20 тыс. дефектов головки, обнаруживаемых на дорогах ОАО «РЖД» ежегодно, — это более 1000 опасных дефектов, своевременное выявление которых может заметно снизить количество изломов на сети железных дорог.

Опыт эксплуатации вагонов-дефектоскопов «АВИКОН-03» за довольно длительный период и проведенные авторами исследования [4] показывают, что благодаря намагничивающей системе нового типа, обладающей увеличенным межполюсным расстоянием, с помощью МД-метода удастся обнаруживать поперечные трещины, глубина залегания верхнего края которых достигает 15 мм (рис. 8). Это значительно больше, чем в магнитных вагонах-дефектоскопах с «П»-образными электромагнитами [2], и охватывает зону залегания большинства дефектов головки рельсов.

Статистика 2014 г. свидетельствует, что более 60 % острodefектных рельсов (ОДР), обнаруженных и изъятых из пути, составляли вертикальные и продольные трещины головки рельса (рис. 9). Эти данные согласуются и с многолетними исследованиями ВНИИЖТа [5]. Если считать, что около 10 % дефектов головки рельсов залегают на глубине больше 15 мм, то оказывается, что почти 50 %



Рис. 8. Зоны обнаружения дефектов в головке рельсов старой и новой системами намагничивания

из всех обнаруживаемых ОДР могут быть зафиксированы МД-методом контроля. Иными словами, при выявлении каждого второго дефекта на сети дорог ОАО «РЖД» он совместно с УЗ-методами может дать полезную и важную информацию, повышающую достоверность их обнаружения.

В сентябре 2012 г. и в июле 2015 г. на специально подготовленном железнодорожном тупике Северо-Кавказской дороги проведены испытания совмещенного дефектоскопического вагона типа «АВИКОН-03», оснащенного намагничивающей системой на осях колесных пар. Рельсы имели искусственные дефекты, вагон проехал по указанному участку пути с различной скоростью — 30, 40, 50 и 60 км/ч. На каждой из скоростей проезд выполнялся по пять раз. Поля измерялись стандартной для данного типа дефектоскопов регистри-



Рис. 9. Доля дефектов головки рельсов от общего количества обнаруженных

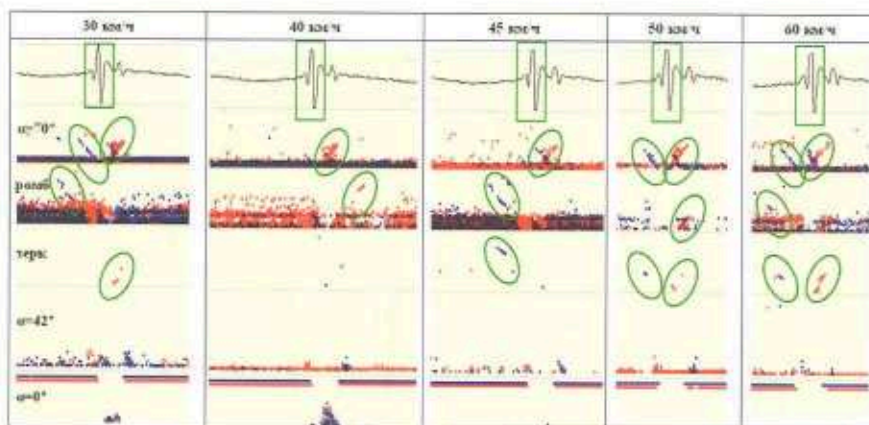


Рис. 10. Сигналы каналов дефектоскопического комплекса от модели поперечной трещины в головке рельса при разных скоростях контроля (30–60 км/ч)

рующей системой: индукционная катушка, центр которой располагался приблизительно в 4 мм от поверхности катания, фиксировала изменение продольной составляющей индукции над головкой рельса. ЭДС, возникающая в катушке, усиливалась и оцифровывалась 8-разрядным АЦП.

Обращает внимание стабильность форм и амплитуд сигналов МД-метода от многих дефектов в головке рельсов в рабочем диапазоне скоростей сканирования (рис. 10). Если сигналы от УЗ-каналов по разным причинам (нестабильность акустического контакта, «болтанка» индукторной тележки) на разных скоростях существенно отличаются, то сигналы магнитного канала остаются стабильными не только в пределах конкретного дня испытаний, но повторяются даже через несколько лет (в 2012 и в 2015 гг.). Это подтверждают и теоретические выкладки, позволяющие делать вывод о реализуемости МД-метода контроля при скоростях до 120 км/ч [6].

Независимость сигналов МД-метода от скорости и времени дают возможность достаточно эффективно автоматизировать обработку дефектограмм с целью выделения сигналов от конструктивных элементов рельсового пути (болтовых стыков, стрелочных переводов) [7] и сварных стыков рельсов [8].

Любой, даже самый совершенный инструмент оказывается бесполезным, если применять его неправильно. В полной мере это относится к магнитному каналу СВД: если намагничивающая система или система регистрации работают не в оптимальном режиме, сигналы не будут адекватно отражать состояние рельса.

При эксплуатации предварительно настроенной МД-системы в процессе контроля очень важно обеспечивать плотное прилегание протекторов индукционных датчиков («лыжи» из нержавеющей стали) к поверхности катания рельсов. Увеличение расстояния центра индукционной катушки от поверхности рельса (например, из-за попадания грязи или снега) приводит к заметному уменьшению ампли-

туд сигналов от потенциальных дефектов. Нарушение первоначальной ориентации оси катушки относительно продольной оси рельса (ось катушки должна совпадать с продольной осью рельса) приводит к искажению формы сигналов и к некорректной работе системы автоматического распознавания сигналов от конструктивных элементов рельсов.

Выводы

1. Магнитодинамический метод является полноценным методом неразрушающего контроля, позволяющим надежно обнаруживать многие дефекты в головке рельсов (до 50 % из всех обнаруживаемых в рельсах).

2. В отличие от ультразвуковых методов МД-метод не требует контактирующей жидкости и позволяет контролировать загрязненные и изношенные рельсы.

3. В ряде случаев МД-метод является единственным методом, которым можно своевременно обнаружить опасный дефект и принять упреждающие меры по обеспечению безопасности движения поездов.

Авторы благодарят работников вагонов-дефектоскопов, эксплуатирующих дефектоскопические комплексы «АВИКОН-03», за предоставленные дефектограммы и обсуждение результатов.

Список литературы

1. Марков А.А., Антипов А.Г. Магнитодинамический метод контроля рельсов в вагонах-дефектоскопах // Путь и путевое хозяйство, 2012. № 12. С. 9–15.
2. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П. Довнар, В.Б. Козлов и др. — М.: Транспорт, 1983. 318 с.
3. Марков А.А. Проблемы скоростной дефектоскопии железнодорожных рельсов, уложенных в путь // Радиоэлектроника и связь, 1999. № 1 (5). С. 23–38.
4. Антипов А.Г., Марков А.А. Оценка глубины выявления поперечных трещин магнитодинамическим методом в дефектоскопии рельсов // Дефектоскопия, 2014. № 9. С. 3–9.
5. Шур Е.А. Повреждения рельсов. — М.: Интекст, 2012. 192 с.
6. Королев М.Ю. О предельной скорости контроля рельсов магнитным методом // В мире неразрушающего контроля, 2001. № 3 (13). С. 55–56.
7. Антипов А.Г., Марков А.А. Автоматизация анализа сигналов магнитодинамического метода контроля рельсов // В мире неразрушающего контроля, 2014. № 2 (64). С. 25–30.
8. Марков А.А., Антипов А.Г. Корреляционный анализ сигналов контроля сварных стыков магнитодинамическим методом // В мире неразрушающего контроля, 2015. № 2 (68). С. 74–77.