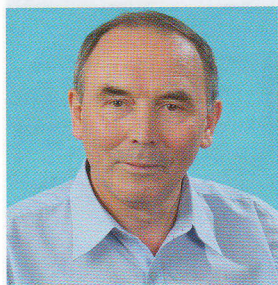


МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В ВАГОНАХ-ДЕФЕКТОСКОПАХ



А.А. МАРКОВ, директор ОАО «Радиоавионика»,
докт. техн. наук,
А.Г. АНТИПОВ, ведущий инженер, канд. физ.-мат.
наук

Актуальность метода

Обеспечению безопасности движения поездов на ОАО «РЖД» всегда уделяется приоритетное внимание. Для своевременного обнаружения контактно-усталостных дефектов в рельсах организована эффективно действующая система неразрушающего контроля, базирующаяся на применении портативных дефектоскопов, двухниточных ультразвуковых дефектоскопных тележек, автомотрис и вагонов-дефектоскопов (мобильных средств).

При планируемом сокращении численности операторов дефектоскопов и сопровождающего персонала, снижении эксплуатационных расходов на диагностику рельсов основной акцент будет сделан на мобильные средства дефектоскопии. Более 160 единиц мобильных средств (автомотрис и вагонов-дефектоскопов) уже эксплуатируются на железных дорогах сети, постепенно вытесняя дефектоскопные тележки.

Одним из новых образцов мобильной дефектоскопической техники является совмещенный вагон-дефектоскоп (СВД) с дополнительными функциями, разработанный в 2011 г. по заказу Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» (рис. 1). Вагон предназначен для диагностики не только рельсов, но и многих элементов железнодорожной инфраструктуры. Его высокая эффективность подтвердилась уже в первый год эксплуатации на Октябрьской дороге. Несмотря на то, что до настоящего времени не вся диагностическая информация, собираемая комплексом, используется на 100 %, вагон СВД № 494 показал лучшие показатели по выявлению дефектов по сравнению с другими мобильными средствами (рис. 2).



Рис. 1. Совмещенный вагон-дефектоскоп с комплексом «АВИКОН-03М»

Эти показатели достигнуты благодаря реализации в одном диагностическом комплексе четырех систем диагностики: акустической (ультразвуковые эхо-, зеркальный и зеркально-теневой методы), магнитодинамической, визуальной (оптической) и системы измерения коротких неровностей рельсов с использованием микромеханических акселерометров. При этом проявляется синергетическое свойство, когда суммарная эффективность комплекса выше, чем сумма эффективностей каждой системы диагностики. Каждая из этих систем заслуживает отдельного рассмотрения, так как все они обладают новизной, и при их реализации на вагоне-дефектоскопе применен ряд оригинальных технических решений, защищенных патентами.

В данной статье рассмотрены особенности построения и возможности только одной из четырех систем — магнитодинамической. Часто в зимних условиях эта система для мобильных средств дефектоскопии может оказаться единственной, своевременно обнаруживающей дефекты критических размеров.

Значительная часть эксплуатирующихся в России железнодорожных путей находится в зонах с суровыми климатическими условиями. Это обуславливает необходимость диагностирования рельсового пути (и в первую очередь рельсов) в сложных ситуациях: при значительном уровне снежного покрова и при низких температурах.

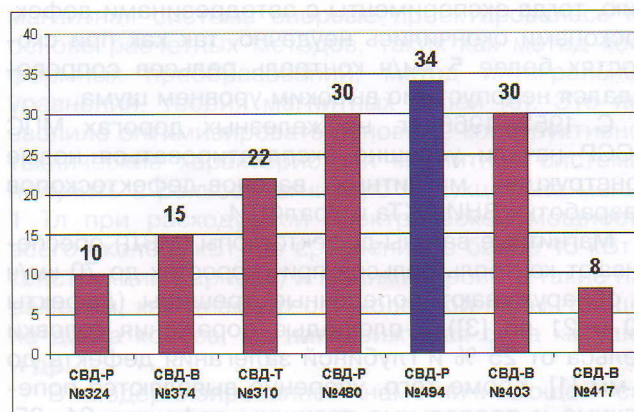


Рис. 2. Результаты эксплуатации совмещенного вагона-дефектоскопа № 494 с новым комплексом «АВИКОН-03М»



Рис. 3. Вид искательной системы вагона-дефектоскопа при высоком уровне снежного покрова

При температуре ниже -30°C эксплуатация ультразвуковых средств дефектоскопии, особенно автоматрис и вагонов-дефектоскопов, движущихся со скоростью до 60 км/ч, становится практически невозможной (рис. 3). Действительно, при таких температурах поддерживать приемлемый уровень акустического контакта весьма затруднительно, что негативно сказывается на качестве получаемой дефектоскопической информации и производительности комплекса в целом.

Выходом из подобной ситуации может служить использование иных принципов обнаружения опасных дефектов в рельсах, не требующих обеспечения акустического контакта между датчиком системы и контролируемым рельсом. Одним из таких принципов, позволяющим обнаруживать дефекты в головке рельса до достижения ими критических размеров, является магнитодинамический метод [1].

История развития магнитодинамического метода

Магнитные методы в отечественной дефектоскопии рельсов имеют давнюю историю. Первые опытные образцы дефектоскопов, основанные на магнитных принципах, появились еще в 30-х годах прошлого столетия. Это весьма оригинальные вело-дефектоскопы с регистрацией сигналов контроля и автодрезины Ф.М. Карпова [2]. К сожалению, тогда эксперименты с автодрезинами-дефектоскопами окончились неудачно, так как при скоростях более 5 км/ч контроль рельсов сопровождался недопустимо высоким уровнем шума.

С 1953—1966 гг. на железных дорогах МПС СССР начали успешно эксплуатироваться новые конструкции магнитных вагонов-дефектоскопов разработки ВНИИЖТа и УралФТИ.

Магнитные вагоны-дефектоскопы (МВД) обеспечивают контроль рельсов при скоростях до 70 км/ч и обнаруживают поперечные трещины (дефекты 20 и 21 по [3]) с площадью поражения головки рельса от 25 % и глубиной залегания дефекта до 4 мм [1]. Кроме того, уверенно выявляются поперечные и продольные трещины дефектов 24, 25, 27, 30В и 30Г, а также изломы рельсов (дефекты 70, 74 и 79 по [3]).



Рис. 4. Система намагничивания рельса магнитного вагона-дефектоскопа с «П»-образными электромагнитами

Система намагничивания рельса МВД подвешивается на установленной в середине вагона специальной (дополнительной) индукторной тележке, состоит из двух мощных «П»-образных электромагнитов (по одному на каждую нить пути) и создает в контролируемом участке рельса магнитный поток, необходимый для обнаружения дефектов (рис. 4).

При магнитодвижущей силе катушек каждого электромагнита, равной примерно 40 кА-виток, и номинальной величине зазора Z между полюсами и рельсом 8—10 мм в последнем обеспечивается магнитный поток от 7 до 10 мВб. Кроме намагничивания головки рельса значительная часть потока замыкается через вагонные конструкции и по воздуху, образуя поток рассеяния, который, как будет показано ниже, позволяет получить «топограмму» (магнитограмму) рельсового пути. Индукционная катушка, скользящая по поверхности катания, фиксирует изменения магнитного потока над поверхностной или подповерхностной трещиной.

Внедрение компьютерной регистрации сигналов магнитного контроля [4] позволило повысить разрешающую способность системы и обнаруживать дефекты в пределах сварных и болтовых стыковых соединений рельсов (дефекты 26.3 и 21.1), ранее не фиксируемых магнитными вагонами-дефектоскопами с записью сигналов на киноплёнку или бумажную ленту.

Долгие годы МВД успешно обеспечивали безопасность движения поездов, буквально «вытаскивая» опасные дефекты в рельсах до достижения ими критических размеров в самых неблагоприятных погодных условиях (метель, сильные морозы), когда все другие методы контроля становились малопригодными [5]. На сети дорог МПС СССР в 1970—1980-е гг. одновременно эксплуатировались около сотни магнитных вагонов-дефектоскопов.

Недостатки магнитных вагонов дефектоскопов

Опыт использования вагонов-дефектоскопов с «П»-образной системой намагничивания выявил и их недостатки. Один из них — наличие воздушного зазора между полюсами магнита и рельсом. Требования безопасной эксплуатации комплекса за-

ставляли делать этот зазор весьма большим (вместо требуемых 8 мм иногда он достигал 23 мм!), что приводило к значительному ослаблению магнитного потока в рельсе. В результате на дефектограмме за счет поля рассеяния весьма четко фиксировались конструктивные элементы пути (создавая видимость нормального функционирования комплекса), но отсутствовали сигналы от внутренних дефектов рельсов, доступных магнитодинамическому методу.

Второй недостаток намагничивающей системы МВД — межполюсное расстояние электромагнита составляло всего 80 см, что давало высокий уровень промагничивания рельса в статическом состоянии. Однако при движении на больших эксплуатационных скоростях (70—80 км/ч) за время прохождения намагничивающей системы над дефектным участком рельса магнитное поле не успевало проникать на достаточную глубину. Причина этого явления кроется в возрастании вихревых токов с увеличением скорости, препятствующих проникновению магнитного поля вглубь металла.

И наконец, третий недостаток системы — значительные габариты электромагнитов, полностью занимавших межколесное пространство индукторной тележки и препятствовавших размещению датчиков других систем. Многолетняя мечта многих дефектоскопистов — создание комплексного вагона-дефектоскопа, одновременно реализующего магнитные и ультразвуковые методы контроля рельсов, оставалась несбыточной.

Новые решения

Для исключения указанных недостатков в начале 1990-х годов были предложены два направления дальнейшего развития средств рельсовой дефектоскопии. Решили, во-первых, постепенно заменять устаревающие МВД совмещенными вагонами-дефектоскопами (СВД), в которых следовало реализовать как магнитные, так и ультразвуковые методы контроля. Во-вторых, изменить конструкцию намагничивающей системы таким образом, чтобы обеспечить глубокое промагничивание рельса на скоростях контроля вплоть до 80 км/ч, а в перспективе — до 120 км/ч. Это позволило бы выявлять дефекты, залегающие глубоко под поверхностью головки рельса, на высокой скорости движения.

В середине 1990-х годов специалисты ВНИИЖТа (В.Л. Байдаков) и ОАО «Радиоавионика» (Г.А. Антипов) в рамках создания СВД с дефектоскопическим комплексом «АВИКОН-03» разработали и успешно внедрили новую магнитную подсистему (рис. 5).

По сравнению со старыми МВД намагничивающая система подверглась кардинальным изменениям. Межполюсное расстояние увеличено более чем в 3 раза (до 3 м); это позволило решить проблему недостаточной глубины промагничивания рельса на высоких скоростях. Расчеты показали, что даже на скоростях 60—80 км/ч распределение поля вблизи заднего полюса — там, где обычно устанавливают магнитные датчики, — остается практически однородным по сечению головки.

Вместе с тем столь существенное увеличение межполюсного расстояния не привело к снижению

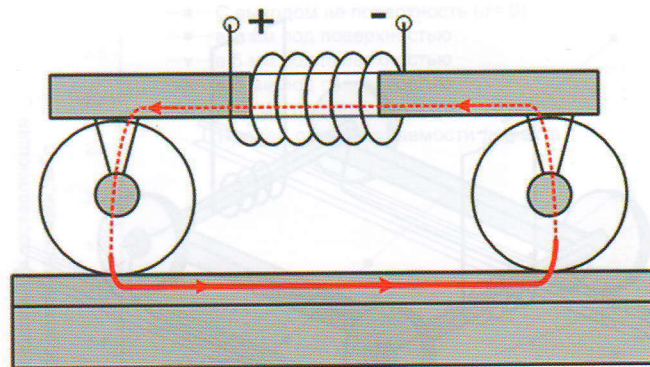


Рис. 5. Размещение электромагнитов на продольных балках дефектоскопной (индукторной) тележки вагона-дефектоскопа (1997—2001 гг.)

величины магнитного потока в рельсе. Это было достигнуто благодаря применению более эффективного способа инъекции магнитного поля.

У старых вагонов-дефектоскопов, использующих «П»-образную систему намагничивания, магнитный поток, генерируемый катушками, проникал в рельс через воздушный зазор 8—12 мм; магнитное сопротивление данного элемента магнитной цепи велико, и поэтому лишь определенная часть потока из сердечника электромагнита попадала в исследуемый объект. В новой намагничивающей системе в качестве элемента магнитной цепи используются колеса дефектоскопической тележки, непосредственно контактирующие ($Z = 0$) с рельсом. Благодаря этому магнитное сопротивление уменьшилось, произошло перераспределение магнитного потока в пользу той составляющей, что поступает в рельс. Этот способ формирования магнитного потока уже был в свое время (1928 г.) предложен Судзуки (Япония). В нашей стране он был реализован в 30-х годах прошлого столетия в конструкции Ф.М. Карпова применительно к ходовой тележке автодрезины [2], а уже сравнительно недавно (в начале 1990-х годов) — применительно к ходовой тележке вагона (конструкция Ч.А. Мусаева).

Система намагничивания дефектоскопического комплекса «АВИКОН-03»

В дефектоскопическом комплексе «АВИКОН-03(03М)» магнитная система впервые проектировалась на основе расчетных методов, таких как метод конформных преобразований, метод интегральных уравнений, теория магнитных цепей [6]. Это позволило оптимизировать основные конструктивно-технические характеристики магнитной системы: получить в рельсе магнитную индукцию не менее 1 Тл при расходуемой электрической мощности всего около 2 кВт (по сравнению с более 15 кВт в конструкции Карпова) и минимизировать такие параметры, как диаметр оси колесной пары, толщина диска колеса, магнитодвижущая сила катушек и др.

В модернизированной намагничивающей системе в качестве сердечников электромагнитов задействованы оси колес дефектоскопической (индукторной) тележки (рис. 6). Подобное много-

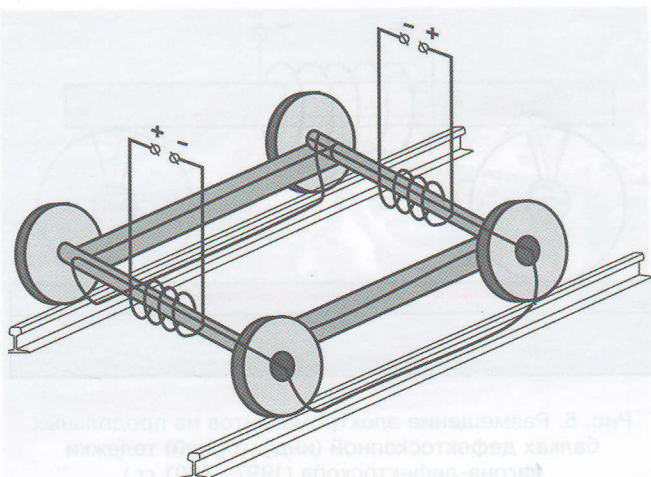


Рис. 6. Система намагничивания с электромагнитами на осях колесных пар дефектоскопной тележки

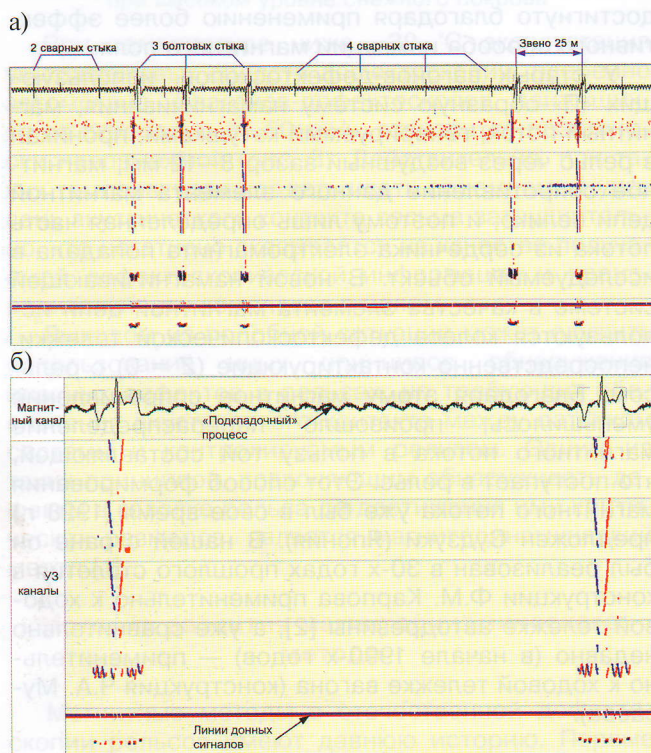


Рис. 7. Фрагмент дефектограммы вагона-дефектоскопа одной нити рельсового пути:

а — масштаб: 300 м пути на экран; б — одно рельсовое звено [верхняя линия — сигналы магнитного канала; нижние (пять зон регистрации) — сигналы ультразвуковых каналов]

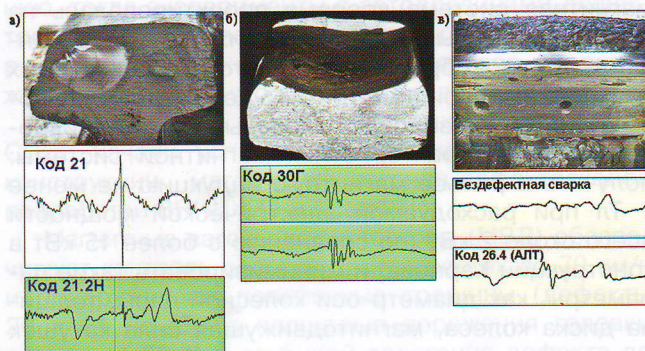


Рис. 8. Характерные сигналы магнитодинамического метода от внутренних дефектов головки рельсов:

а — от поперечных трещин (дефект 21); б — от горизонтальных трещин (дефект 30Г); в — от зоны алюминотермитного сварочного стыка

функциональное использование конструктивных элементов позволило не только снизить массу тележки из-за отказа от дополнительных сердечников, но и решило проблему длины магнитопроводов, актуальную для намагничивающей системы с большим межполюсным расстоянием.

Технические решения, использованные при создании магнитной подсистемы СВД с комплексом «АВИКОН-03», доказали свою эффективность в течение более чем десятилетней эксплуатации дефектоскопов на железных дорогах. В настоящее время на Горьковской, Октябрьской, Северо-Кавказской, Южно-Уральской дорогах и в Казахстане работают 14 вагонов этого типа (см. рис. 1).

Сигналы магнитодинамического метода

При контроле помимо сигналов от дефектов в магнитном канале присутствуют классифицируемые отклики от регулярных объектов рельсового пути — болтовых (типовых и изолирующих) и сварных (в том числе алюминотермитных) стыков. Кроме того, отображаются специфические сигналы от промежуточных скреплений, контррельсов, крестовин, остряков и рамных рельсов стрелочных переводов, элементов переездов, противоугонов, километровых отметок и прочих объектов пути, характеризующихся присутствием крупных ферромагнитных элементов в непосредственной близости от рабочего рельса. В результате формируется своеобразная магнитно-ультразвуковая топограмма рельсовой нити, по которой можно анализировать взаимное местоположение звеньев и плетей по длине пути (рис. 7).

На рис. 7, б в крупном масштабе представлен фрагмент дефектограммы одного бездефектного рельсового звена (справа и слева — сигналы от болтовых стыков), полученной совмещенным вагоном-дефектоскопом (СВД) с комплексом «АВИКОН-03». На верхней дорожке отображаются сигналы магнитодинамического канала. При прохождении магнитного датчика над шпалами из-за наличия металлических шпальных подкладок и рельсовых скреплений магнитный поток рассеивания реагирует на периодическое изменение площади сечения намагничиваемого металла, вследствие чего формируется волнообразная линия, называемая на практике «подкладочным» процессом.

К числу выявляемых магнитным каналом дефектов относятся повреждения головки рельса первой, второй и третьей групп по [3] (рис. 8). Весьма четко обнаруживаются как одиночные дефекты (рис. 8, а, б), так и дефекты, взятые в накладки (21.2Н) и дефекты в зоне алюминотермитной сварки — 26.4 (рис. 8, в). Характерные импульсы значительной амплитуды формируются от поперечных трещин в головке рельса (дефекты 21.1-2 и 20), причем по величине амплитуды весьма часто можно судить о размере дефекта (см. рис. 8, а).

При использовании намагничивающих систем с достаточной величиной межполюсного расстояния отсутствует ограничение, связанное с малой глубиной промагничивания рельса на высоких скоростях. Это означает, что достаточный уровень поля создается по всему сечению головки, и в основном обнаружить тот или иной дефект помогают пространственные характеристики неоднородности материа-

ла рельса. Иначе говоря, амплитуда импульса в исследовательской системе задается размерами дефекта и его расстоянием от датчика, т.е. фактически глубиной залегания под поверхностью катания.

Расчетные параметры

Для того, чтобы получить количественные оценки описанных выше процессов, рассмотрим двумерные модели поперечных трещин в головке рельса (рис. 9). Принято, что толщина зазора модели дефекта составляет 1 мм, а поле измеряется в воздухе на расстоянии 4 мм над поверхностью ферромагнитного материала. При моделировании глубина залегания d и высота трещины h менялись соответственно в пределах 0—12 мм и 1—12 мм. При таких условиях тангенциальная составляющая магнитного поля как функция продольной координаты имеет положительный импульс с максимумом непосредственно над дефектом. Появление положительного импульса от трещины связано с формированием дополнительного магнитного потока в воздухе, обусловленного обтеканием зоны пониженной магнитной проницаемости — трещины внутри рельса (в реальности оператор видит двухсторонний положительно-отрицательный сигнал дифференциального датчика, отражающий изменение поля).

На рис. 10 изображены результаты расчета модели, выполненного методом конечных разностей, — зависимость максимума тангенциальной составляющей поля от глубины залегания и высоты трещины. Значение постоянной компоненты поля над бездефектным рельсом принято за единицу. Случай $d = 0$ соответствует выходу трещины на поверхность.

Как и следовало ожидать, амплитуда отклика от возмущения возрастает как при уменьшении глубины залегания, так и при увеличении высоты (размера) трещины. Если оценивать чувствительность системы регистрации в 10 % от значения постоянной компоненты тангенциальной составляющей поля, то выше пунктирной линии находится область принципиальной обнаруживаемости дефекта. Таким образом, поперечная трещина высотой 3 мм может быть выявлена при глубине ее залегания менее 2 мм, высотой 10 мм — при глубине 12 мм и менее (см. рис. 10).

Полученные результаты в основном подтверждают при реализации магнитодинамического метода в рельсовой дефектоскопии. В качестве примера на рис. 11 приведены сигналы магнитно-

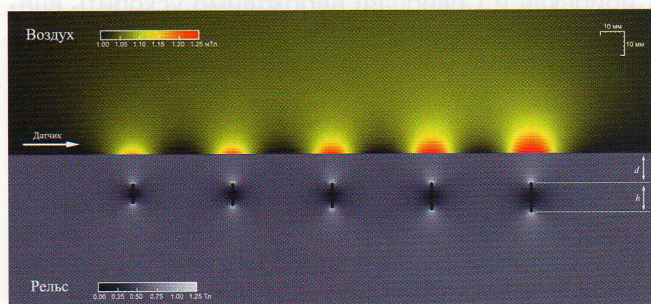


Рис. 9. Расчетное распределение магнитного поля над поперечными трещинами (при $d = 12$ и $h = 8, 9, 10, 11$ и 12 мм)

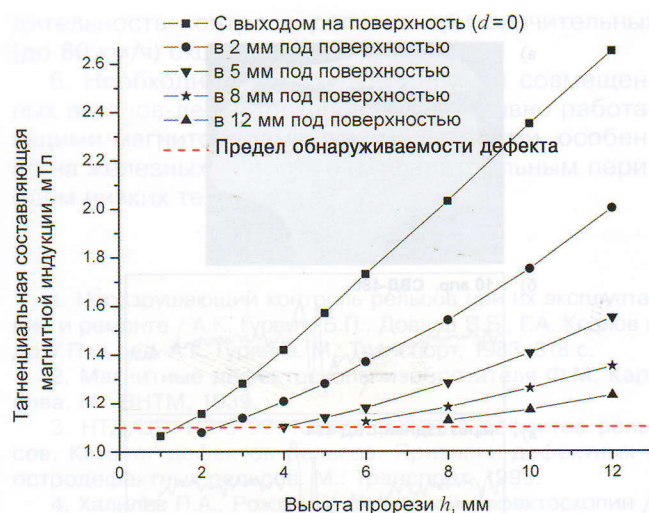


Рис. 10. Зависимость амплитуды импульса магнитной индукции от глубины залегания и высоты поперечной трещины

го (и ультразвуковых) канала от поперечной трещины в головке рельса на разных стадиях развития: на стадии зарождения, когда верхний край трещины находится на глубине $d = 8$ мм от поверхности катания; и на стадии излома рельса, когда после 3 мес эксплуатации дефект вышел на поверхность катания ($d = 0$). Видно, что амплитуда сигнала магнитного канала по сравнению с начальным значением, мало различимым на фоне сопутствующих скоростному контролю шумов, возросла многократно и хорошо выделяется при анализе сигналов.

Повторяемость сигналов и их обработка

Важным свойством сигналов магнитного канала является их хорошая воспроизводимость. Иначе говоря — вид сигналов определяется, прежде всего, внутренними характеристиками объектов рельсового пути и лишь в незначительной степени — условиями, в которых осуществлялась регистрация. Также воспроизводимость подразумевает устойчивость к параметрам намагничивающих и регистрирующих систем, а незначительные изме-

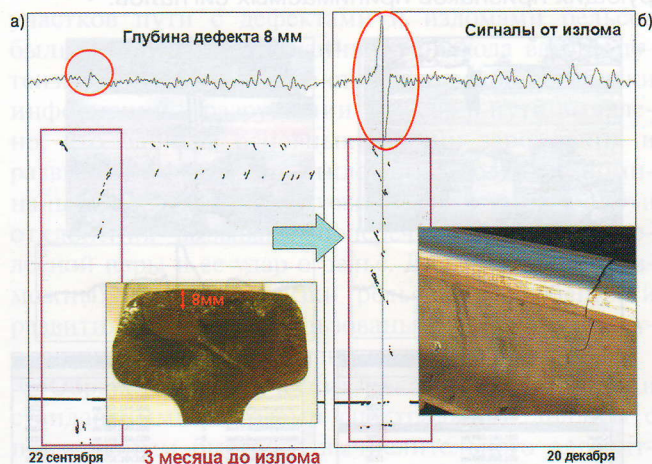


Рис. 11. Сигналы от поперечной трещины в головке рельса (дефект 21.2) на разных стадиях развития:

а — за три месяца до излома (верхний край трещины находится на глубине 8 мм от поверхности катания); б — поперечный излом рельса

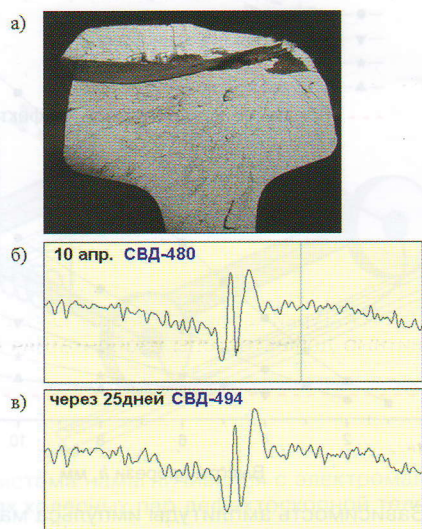


Рис. 12. Сигналы от горизонтальной трещины в головке рельса, зафиксированные разными вагонами-дефектоскопами с комплексом «АВИКОН-03» с временным интервалом 25 дней:

а — вид трещины (дефект 30Г по [3]); б — дефектограмма вагона-дефектоскопа № 480 (1997 г. выпуска); в — дефектограмма вагона № 494 (2011 г. выпуска)

нения в них не приводят к существенным искажениям формы сигналов от отражателей в рельсах. Все это находит подтверждение на практике. На рис. 12 изображены сигналы от горизонтальной трещины в головке рельса (дефект 30Г), сделанные двумя разными вагонами с комплексом «АВИКОН-03» с временным интервалом 25 дней. Схожесть сигналов свидетельствует, во-первых, о хорошей воспроизводимости сигналов магнитного канала и, во-вторых, о высокой культуре проектирования и производства, позволяющей изготавливать комплексы с идентичными характеристиками в течение десятилетий.

Хорошая воспроизводимость сигналов делает магнитный канал пригодным для автоматической расшифровки результатов сплошного контроля рельсов. Действительно, повторяемость сигналов — это необходимое условие выявления классифицирующих признаков принимаемых сигналов.

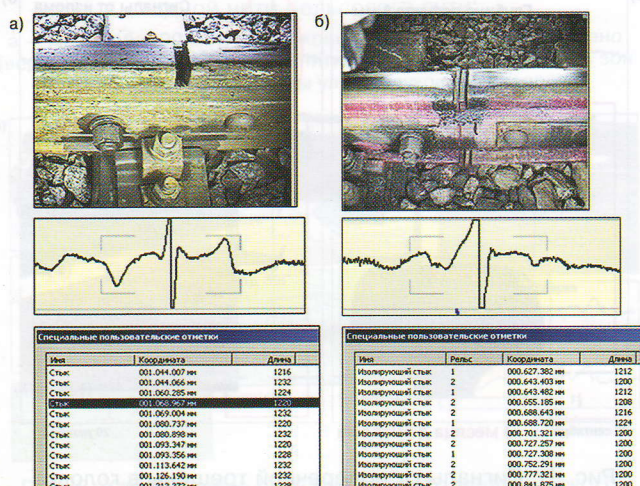


Рис. 13. Автоматическое формирование отдельных протоколов с выделением стыков рельсов:

а — болтовых; б — изолирующих

В настоящее время в программно-аппаратный комплекс вагонов-дефектоскопов «АВИКОН-03» успешно внедрена система автоматического поиска регулярных объектов рельсового пути — стыков рельсов различного вида и стрелочных переводов. Стыки классифицируются по следующим категориям: типовые болтовые и изолирующие стыки, сварные стыки, выполненные электроконтактной сваркой, и алюминотермитные (в накладках). Информация обрабатывается непосредственно при проезде, в режиме реального времени (рис. 13).

Селекция стыков и других конструктивных элементов рельсового пути производится по специфическим признакам сигналов магнитного канала дефектоскопического комплекса «АВИКОН-03М». В нем предусмотрено дополнение магнитограмм конструктивных элементов тремя фотокадрами, полученными с разных ракурсов и, естественно, сигналами с ультразвуковых каналов. В перспективе система распознавания должна выявлять сигналы от опасных дефектов рельсов, а также определять некоторые числовые параметры обнаруженных объектов.

Таким образом, магнитодинамический метод контроля, реализованный в дефектоскопических комплексах совмещенных вагонов-дефектоскопов, обладает рядом положительных качеств, позволяющих ему не только дополнять ультразвуковые методы контроля, повышая надежность и вероятность обнаружения дефектов [7], но и выступать самостоятельным методом контроля при сложных условиях (низкие температуры, высокие скорости) эксплуатации железнодорожных путей.

Как показывает анализ, ряд изломов рельсов, допущенных на дорогах в зимний период в последние годы, мог быть предотвращен при использовании на этих участках средств диагностики с корректно функционирующим магнитодинамическим каналом. К сожалению, не все эксплуатирующиеся на сети дорог автомотрисы и вагоны-дефектоскопы, декларируемые как совмещенные (совмещены ультразвуковые и магнитодинамические методы в одном комплексе), являются таковыми. Во многих средствах контроля в магнитных каналах наблюдается псевдогармонический сигнал, разнообразные шумы, сигналы от стыковых зазоров и полностью отсутствуют сигналы от дефектов. Это свидетельствует о недостатках конструкции системы намагничивания рельса и практической неработоспособности канала.

В связи с этим на дорогах с продолжительным периодом низких температур воздуха (Забайкальская, Красноярская, Дальневосточная, Западно-Сибирская и Северная) необходимо ускорить внедрение средств диагностики (СВД) с эффективно действующими магнитодинамическими каналами.

Выводы

1. Исторически магнитодинамический метод был первым методом, массово применявшимся в скоростной дефектоскопии рельсов. За многие годы эксплуатации он доказал свою эффективность. В отдельных, часто в экстремальных случаях, магнитный канал СВД является единственным, своевременно обнаруживающим дефекты критических размеров.

2. Дефектоскопные средства, основанные на магнитных (магнитодинамических) методах контроля, обладают рядом положительных качеств:

могут работать во всех климатических зонах при любых погодных условиях;

результаты контроля не зависят от загрязненности поверхности катания рельсов;

позволяют однозначно соотносить результаты контроля с реальным путем за счет фиксации полем рассеяния многих конструктивных элементов рельсового пути (скреплений, элементов стрелочных переводов, стыков и др.);

имеют высокую повторяемость сигналов, что дает возможность наблюдать (проводить мониторинг) развития отдельных дефектов.

3. Конструкция системы намагничивания рельсов, используемая в вагонах с дефектоскопическим комплексом «АВИКОН-03», позволяет обнаруживать дефекты в головке рельсов на глубине до 8 мм и более в зависимости от размера (высоты) поперечной трещины.

4. Объединение ультразвуковых и магнитных методов (а также видеорегистрации) в одном дефектоскопическом комплексе обуславливает повышение точности локализации обнаруженных дефектов на рельсовом пути и достоверности их обнаружения за счет синергетического эффекта.

5. Автоматизация расшифровки сигналов дополнительно повышает достоверность и произво-

дительность контроля рельсов при значительных (до 80 км/ч) скоростях сканирования.

6. Необходимо ускорить внедрение совмещенных вагонов-дефектоскопов с эффективно работающими магнитодинамическими каналами, особенно на железных дорогах с продолжительным периодом низких температур.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П., Довнар В.Б., Г.А. Козлов и др. / Под ред. А.К. Гурвича. М.: Транспорт, 1983. 318 с.
2. Магнитные дефектоскопы изобретателя Ф.М. Карпова. М.: ВНТМ, 1939.
3. НТД/ЦП 1-2-3-93. Классификация дефектов рельсов. Каталог дефектов рельсов. Признаки дефектных и острodefектных рельсов. М.: Транспорт, 1993.
4. Халилов П.А.. Рождение рельсовой дефектоскопии // Дефектоскопия, 1999. № 12. С. 73—82.
5. Дефектоскопический комплекс магнитного вагона-дефектоскопа / О.А. Кононов, В.В. Осипов, А.А. Марков и др. // Путь и путевое хозяйство, 2000. № 5. С. 23—25.
6. Антипов Г.А. Марков А.А. Современное состояние и перспективы развития магнитных методов контроля рельсового пути // Сб. науч. тр. «Современные технологии извлечения и обработки информации». СПб.: ОАО «Радиоавионика», 2001. С. 45—52.
7. Метелкин А.П. Комплексное использование методов контроля — путь к повышению эффективности дефектоскопии рельсов // В мире неразрушающего контроля, 2005. № 2 (28). С. 65—67.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВ

П.С. ИВАНОВ, докт. техн. наук, Л.Ю. КАТАЕВА, докт. физ.-мат. наук,
С.Ф. ДАНЬКОВ, генеральный директор ООО «Инвестстрой»,
О.В. ЮЗЫК, технический директор ООО «Инвестстрой»

В современных условиях эксплуатации пути на сети дорог РФ проводится периодическое дефектоскопирование рельсов для выявления и последующего изъятия дефектных и острodefектных рельсов. Дефектоскопирование позволяет обнаружить дефекты тогда, когда они проявились, оценить степень их опасности. Но проблема прогнозирования места и времени зарождения дефектов при этом не решается.

В последние годы условия появления дефектов и последующие изломы рельсов под поездами рассматриваются с позиции механики разрушения. При движении колесной пары ее центр совершает в горизонтальной плоскости колебательные поперечные смещения согласно уравнению Клингеля. При этом происходит ударное взаимодействие колесной пары с рабочей гранью рельса. Этот удар является одной из причин зарождения дефектов в головке рельсов, а сила удара определяет интенсивность развития дефекта. Таким образом, условия возникновения трещин в головке рельса связаны с дополнительными ударными нагрузками и перегрузками рельсов при влинии колесной пары

в колее в местах резкого изменения параметров последней.

Результаты обширных натурных обследований участков пути с дефектами и изломами рельсов были сопоставлены с данными прохода вагона-путеизмерителя. На основе статистической обработки информации о разрушении рельсов в пути выявлено, что одна из основных причин зарождения и развития дефектов — отклонения колеи от номинальных параметров по левой и правой нитям. Эти отклонения вызывают поперечное смещение колесной пары и ее удар о рельс. Для выявления возможных мест перегрузки рельсов, зарождения и развития трещин использованы данные по отступлениям в плане рельсовых плетей.

Обработку фактических показателей проводили стандартными методами спектрального анализа с применением быстрого вычислительного алгоритма, именуемого быстрым преобразованием Фурье. Оно основано на модели представления фактических данных по отступлениям в плане с помощью рядов Фурье, т.е. предполагалось, что анализируемый процесс влиния колесной пары в колее со-