



Estimation of Inspection Quality of Rails in Analysis of Defects Recording

A. A. Markov, D. V. Fedorenko, E. A. Kuznetsova

Problems that take place in interpretation of defects recording of ultrasonic inspection of rails with the use of removable and portative flaw detectors are discussed. On the basis of actual signal analysis, criteria was proposed. According to this criteria rails are referred to non-diagnosable or non-tested because of bottom signals absence. The program of automated search and recording of such areas was worked out.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ДЕФЕКТОГРАММ

Об авторах

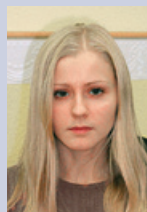
Сотрудники НТК «Средств НК» ОАО «Радиоавионика», Санкт-Петербург:



Марков Анатолий Аркадиевич
Директор,
д. т. н., III уровень
по акустическому виду НК.



Федоренко Денис Владимирович
Ведущий инженер-программист, разработчик ПО для средств УЗК рельсов. Научные интересы в области автоматического распознавания дефектов рельсов. Лауреат Всероссийского конкурса «Инженер года» в 2005 г.



Кузнецова Екатерина Алексеевна
Инженер. Сфера интересов: анализ результатов ультразвуковой дефектоскопии рельсов.

Обеспечение надежного акустического контакта при УЗК рельсового пути – крайне важная задача. Усилия разработчиков новой дефектоскопической техники по совершенствованию приборов НК могут быть сведены на нет, если по каким-либо причинам сплошной контроль рельсов производится при нестабильном акустическом контакте между поверхностью катания рельсов и ПЭП искательной системы.

При плохом акустическом контакте на дефектограмме эхо-сигналы от опасного дефекта могут либо вообще отсутствовать, либо будут слабо выделяться и восприниматься расшифровщиками как помеха, что приведет к пропуску дефекта. Качество акустического контакта при сплошном контроле рельсов зависит от скорости контроля, состояния поверхности катания рельса, температуры окружающей среды, качества изготовления ПЭП, качества контактирующей жидкости, надежности ее подачи и других причин.

Причинами нарушения акустического контакта обычно являются:

- недостаточно плотный контакт ПЭП с поверхностью катания головки рельса;
- песок, грязь, лед, мазут и пр. на поверхности катания рельсов;
- плохое качество контактирующей жидкости (зимой), периодическое прекращение ее подачи (например, когда она замерзает), задержка ее поступления;
- смещение искательной системы при проходе дефектоскопной тележки по кривым участкам малого радиуса с большим боковым износом головки рельса;
- конструктивные особенности рельсового пути (стрелочные переводы, сварные стыки, болтовые стыки, содержащиеся с нарушением технологии);
- значительный боковой износ головки рельса;

- поверхностные дефекты рельса: пробуксовки, отслоения, выкрашивания, смятия, седловины; поверхностные дефекты после прохода шлифовальных поездов;
- внутренние дефекты (например, расслоения головки, шейки).

В настоящее время в рельсовой дефектоскопии отсутствуют четкие параметры оценки и количественные характеристики качества акустического контакта. До сих пор на практике основным способом оценки при сплошном контроле рельсов является наличие отражения от поверхности подошвы рельса – донного сигнала в канале прямых или наклонных ПЭП. На дефектограммах донные сигналы, полученные при сканировании рельса, формируют прямую линию (линию донного сигнала), которая может прерываться при наличии конструктивных несплошностей, дефектов рельсов или при нарушении акустического контакта.

Следует отметить, что при анализе дефектограмм расшифровщики достаточно часто встречаются с участками, на которых наблюдается прерывание линии донного сигнала. Для мобильных средств НК эта ситуация распространена, и при нарушении акустического контакта повторный контроль таких участков невозможен, и их приходится относить к непроконтролированным. В процессе контроля съемными дефектоскопами таких ситуаций, в принципе, не должно быть, т. к. при прерывании донного сигнала оператор должен принять соответствующие меры по выяснению причин и произвести повторный контроль участка с применением, при необходимости, ручных искателей. На практике достаточно часто случается, что операторы по каким-либо причинам нарушают технологию контроля рельсов. При этом расшифровщику трудно принять решение о наличии или отсутствии дефек-

та рельса только по прерыванию линии донного сигнала. Такие участки также принято считать непроконтролируемыми; их следует зафиксировать, измерить протяженности и сформировать протокол непроконтролируемых участков.

Однако в нормативной документации, во-первых, отсутствует четкое определение,

рельсов непроконтролируемым даже только по признаку пропадания линии донного сигнала из-за отсутствия четкого указания минимально допустимого значения ΔL_{\min} .

Следует отметить особенности отображения донного сигнала на развертке типа В (рис. 1). При реализации зеркально-теневого метода в качестве исходно-

Очевидно, оценка качества акустического контакта только по донному сигналу на В-развертке будет неполной и не совсем корректной. В некоторых случаях при анализе уровня (огигающей) донного сигнала можно наблюдать, что хотя линия донного сигнала является непрерывной, фактически уровень донного сигнала едва превышает заданный уровень $K_y = 0,2$, а значит, ка-

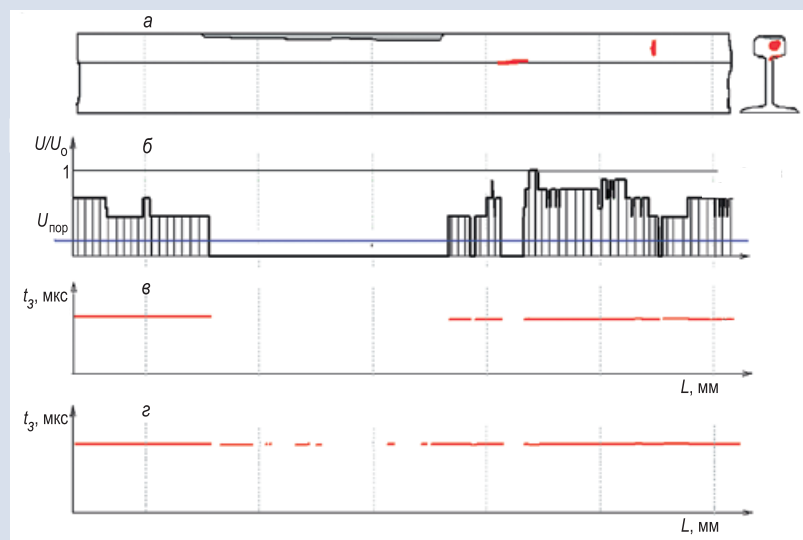


Рис. 1. Представление донного сигнала: а – рельс с поверхностным повреждением и внутренними дефектами; б – огигающая амплитуды донного сигнала; в – отображение на развертке типа В линии донного сигнала на уровне чувствительности контроля K_y ; г – то же на уровне «– 6 дБ»

что следует считать «непроконтролируемыми участками», а во-вторых, не указано конкретное значение ΔL_{\min} пропадания линии донного сигнала, при котором участок следует считать непроконтролируемым.

Согласно «Временному положению по организации использования съемных двухниточных дефектоскопов с регистраторами» расшифровщик при анализе дефектограмм должен фиксировать участки с отсутствием акустического контакта и составлять «Протокол непроконтролируемых участков пути (по причинам: плохого акустического контакта, если потеря акустического контакта по длине рельса превысила 0,1 м, контроленепригодности рельсов, отказов в работе искательной и следящей систем, электронного блока дефектоскопа и др.). На основании анализа расшифрованных дефектограмм и заключения о качестве работы оператора дефектоскопа мастер участка дефектоскопии в трехдневный срок организует (при необходимости) повторный контроль рельсов другими средствами дефектоскопии непроконтролируемых участков пути...» [1].

В соответствии с п. 1.6.4 [2] о порядке действий оператора дефектоскопа при УЗК рельсов в случае потери донного сигнала следует «при отсутствии поперечной трещины и условной протяженности горизонтального подповерхностного расслоения более 70 мм дефекту присваивать код 30Г и изымать его из пути».

Согласно новому указанию минимальная протяженность пропадания донного сигнала составляет уже $\Delta L_{\min} = 40$ мм.

Таким образом, рядовому расшифровщику трудно принять решение о признании участка

го уровня U_0 используют сигнал от внутренней (донной) поверхности подошвы рельса на бездефектном участке [3]. На дефектограмме линия донного сигнала прерывается лишь в случае уменьшения его амплитуды ниже $U_{\text{пор}}$, соответствующего значению условной чувствительности контроля K_y , обычно равной –14 дБ (согласно руководствам по эксплуатации многих съемных дефектоскопов), что соответствует уровню $0,2U_0$ (рис. 1б).

В регистраторе РИ-01 дефектоскопа АВИКОН-01 предусмотрена возможность записи и отображения эхо-сигналов на дополнительном уровне регистрации «–6 дБ» (относительно $U_{\text{пор}}$), что равносильно выполнению контроля при повышенной (на 6 дБ) чувствительности (относительно установленной условной чувствительности K_y). При этом при условной чувствительности прямого ПЭП $K_y = -14$ дБ на дефектограммах донный сигнал прерывается уже в случае уменьшения его амплитуды ниже –20 дБ (уровень $0,1U_0$) (рис. 1г). Поэтому необходимо, чтобы величина ΔL_{\min} непроконтролируемого участка (участка прерывания донного сигнала) указывалась для конкретного значения условной чувствительности контроля K_y (порога отображения эхо-сигналов на дефектограммах).

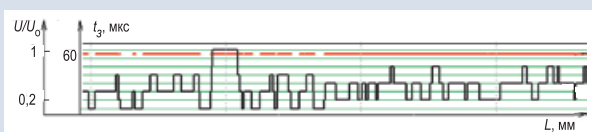


Рис. 2. Анализ огигающей донного сигнала, показывающий, что качество акустического контакта на данном участке неудовлетворительно

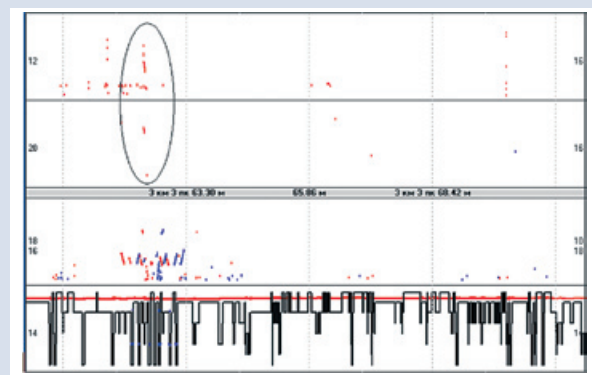


Рис. 3. Некачественная запись дефектограммы из-за слабого акустического контакта

чество акустического контакта на данном участке трудно признать удовлетворительным (рис. 2). Для учета этой особенности в программе отображения АВИКОН-01 предусмотрена функция отображения огигающей донного сигнала (поскольку регистрируются изменения значения амплитуды донного сигнала на каждом шаге датчика пути). В целях экономии рабочей плоскости дефектограммы огигающая донного сигнала отображается непосредственно на дорожке прямого ПЭП (рис. 2). Эта функция позволяет более детально проанализировать сигналы прямого ПЭП, в том числе наглядно оценить качество акустического контакта при выполненном сплошном контроле участка рельсового пути.

По приведенной на рис. 3 дефектограмме также можно сделать вывод, что на данном участке контроль производился неэффективно: несмотря на то, что значения условной чувствительности K_y каналов контроля соответствуют нормативным значениям и даже превышают их (на дефектограммах на каждой дорожке указано числовое значение K_y для «наезжающих» и «отъезжающих» каналов), пачки сигналов от торцов в зоне болтового стыка в эхо-и зеркальных каналах контроля головки прописались очень слабо, «отъезжающие» ПЭП вовсе не работали, а огигающая донного сигнала крайне нестабильна. При

таким качестве контроля, когда каналами контроля головки практически не прописались стыки, трудно рассчитывать на то, что могут быть зафиксированы сигналы от дефектов. Вероятной причиной неудовлетворительной записи дефектограммы может быть то, что в данном случае контроль производился в условиях низких температур (в январе).

можно одним преобразователем, реализующим указанную схему, «заглянуть» под горизонтальное расслоение протяженностью до 100 мм. Кроме того, практически во всех средствах дефектоскопии при контроле головки рельса применяют так называемые «наезжающие» и «отъезжающие» преобразователи, осуществляющие ввод колебаний по и против хода движе-

с удовлетворительной записью сигналов. Как и предполагалось, качество акустического контакта сильно зависит от погодных условий, поэтому отдельно проанализированы файлы с результатами контроля за летний и зимний периоды. При этом выявлено, что зимой количество непроконтролированных участков в 2 – 4 раза больше, чем летом. Гистограмма

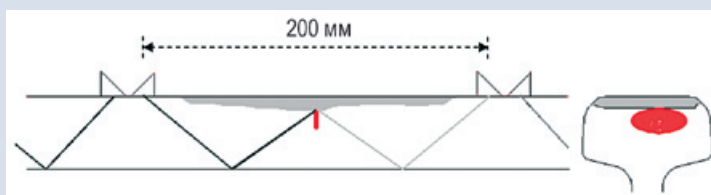
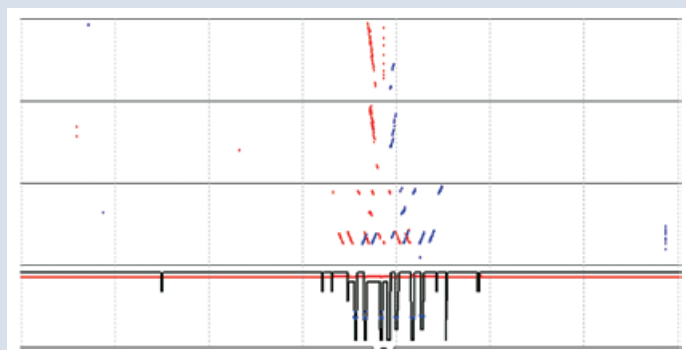


Рис. 4 (слева). По четким сигналам от конструктивных отражателей болтового стыка и уровню амплитуды донного сигнала (черная линия) выявлено удовлетворительное качество акустического контакта

Рис. 5 (вверху). Обнаружение поперечных дефектов в головке рельса под горизонтальными расслоениями схемой «РОМБ»

68

Качество записи сигналов в зоне болтового стыка и высокий уровень огибающей донного сигнала на дефектограмме на рис. 4 говорят о хорошем акустическом контакте.

Хочется отметить еще один аргумент о некорректности признания участков непроконтролированными лишь по пропаданию донного сигнала на нем. Принятые схемы прозвучивания осуществляют поиск дефектов в головке рельса в основном за счет однократно отраженных от нижней выкружки головки ультразвуковых лучей. При этом, даже если поперечный дефект находится под горизонтальным расслоением, мешающим вводу ультразвуковых колебаний, в отдельных случаях сигналы от дефекта фиксируются весьма надежно за счет «подстрела» плоскости дефекта с определенного расстояния. Поэтому при выборе критерия отнесения локального участка пути к непроконтролированным необходимо учесть и применяемую схему прозвучивания.

Наиболее эффективной схемой прозвучивания головки, позволяющей «заглянуть» под горизонтальное расслоение, является предложенная ОАО «Радиоавионика» схема «РОМБ», осуществляющая одновременный ввод колебаний в рабочую и нерабочую части головки рельса и реализующая эхо- и зеркальный методы контроля. Контроль боковых частей головки рельса осуществляется эхо-методом аналогично традиционной схеме «змейка», а поперечные трещины в центральной части головки обнаруживаются зеркальным методом за счет совместной работы обеих пьезопластин [4, 5]. При принятых на Российских ж. д. углах ввода колебаний и разворота ПЭП относительно продольной оси рельса воз-

никания дефектоскопической единицы. Как следует из рис. 5, при этом возможности обнаружения поперечных трещин под горизонтальными расслоениями головки расширяются и, благодаря двухстороннему озвучиванию, имеется теоретическая возможность обнаружить поперечную трещину под горизонтальным расслоением протяженностью до 200 мм.

Таким образом, для дефектоскопических единиц, использующих схему прозвучивания «РОМБ», с точки зрения обнаружения поперечных трещин в головке минимальная величина допустимого непроконтролированного участка прямым ПЭП (зона отсутствия донного сигнала) может составлять до 200 мм. Иными словами, при отсутствии донного сигнала на участке до 200 мм благодаря наклонному вводу ультразвуковых колебаний большинство опасных дефектов в головке рельса могут быть обнаружены. Аналогичные рассуждения с учетом глубины залегания дефектов могут быть приведены и для преобразователей, осуществляющих контроль зоны шейки и подошвы рельса наклонными преобразователями, осуществляющими ввод колебаний под углами 42 – 45°.

Анализ реальных дефектограмм

С целью оценки числа и протяженности участков с отсутствием донного сигнала на реальных дефектограммах с помощью специально разработанной программы выполнен анализ более 100 файлов дефектограмм АВИКОН-01 с общей протяженностью пути более 300 км и осуществлен подсчет участков с пропаданием линии донного сигнала (при чувствительности в 2 раза выше нормативной), рис. 6. При анализе отбирались дефектограммы

усредненной зависимости числа N участков на 1 км пути с пропаданием линии донного сигнала от их протяженностей L представлена на рис. 6.

При анализе дефектограмм выявлено, что лишь около 15 % от общего числа участков с пропаданием линии донного сигнала повторяются на дефектограммах предыдущих проходов дефектоскопов. Эти участки целесообразно считать контроленепригодными (дефектными).

Рекомендации по анализу дефектограмм

При расшифровке дефектограмм специалист должен отмечать и фиксировать в рабочем журнале все случаи нарушения оператором технологии контроля рельсов и, при необходимости, обучать оператора.

При отсутствии в эксплуатируемых дефектоскопах систем оценки качества акустического контакта во время проведения контроля рельсов расшифровщик может проанализировать пачки сигналов от торцов и болтовых отверстий в зонах болтовых стыков и оценить уровень огибающей донного сигнала. Пачки сигналов должны быть протяженными, четкими, с большой амплитудой, а огибающая донного сигнала – достаточно стабильной и иметь в целом высокий уровень (0,8 – 1,0) U_0 . При обнаружении участков с отсутствием линии донного сигнала расшифровщику необходимо проанализировать предыдущие записи и попытаться выяснить причину нарушения акустического контакта (если необходимо, с участием оператора тележки). Следует отметить, что анализ предыдущих проходов дефектоскопа расшифровщику следует производить при обнаружении любых «подозрительных» сигналов.

Некоторые примеры причин нарушения акустического контакта на участках дефектограмм АВИКОН-01 представлены в таблице.

Если на дефектограмме наблюдаются участки с пропаданием донного сигнала, качество записи ближайшего болтового стыка по всем каналам вполне удовлет-

влетает, а на предыдущих дефектограммах донный сигнал также отсутствует, то на такие участки следует обратить особое внимание. Они требуют проведения повторного ручного контроля.

В практике дефектоскопии рельсов достаточно часто возникают ситуации, когда расшифровщик сталкивается с наличием на дефектограмме большого количества участков с отсутствием донного сигнала

на участке, с помощью которой расшифровщик может оперативно проанализировать причину нарушения акустического контакта на данном участке.

Разработанная в ОАО «Радиоавионика» (2005 г.) программа автоматизированной расшифровки дефектограмм производит автоматический поиск непрокон-

Таблица. Возможные причины отсутствия донного сигнала

Причина	Анализ донных сигналов	Иллюстрация
Неудовлетворительное качество акустического контакта	Наблюдается периодическое (похожее на штрих-пунктир) прерывание линии. По всему файлу присутствуют участки с протяженным пропаданием линии. При анализе огибающей наблюдаются многочисленные резкие выбросы и спады, средний уровень огибающей низкий.	
Пауза в работе (задержка поступления воды после паузы); прекращение подачи воды	Значительная протяженность прерывания линии. Огибающая показывает, что сигнал отсутствовал. На дефектограмме имеется знак «Стоп», после него линия отсутствует.	
Подпрыгивание/смещение лыжи	Линия отсутствует, а по краям участка в наклонных каналах наблюдаются ударные помехи в виде вертикальных строчек (из-за попадания под лыжу песка и т. д.).	
Смещение искательной системы	Сигнал прерывается, а в прямом эхо-канале имеются пачки с задержками, кратными 15 мкс (из-за отражения от подложочной грани).	
Пробуксовка, сварные стыки	В обоих нитках сигнал незначительно прерывается на одной и той же путевой координате	

ворительное, а на предыдущих дефектограммах донный сигнал также отсутствует, то на такие участки следует обратить особое внимание. Они требуют проведения повторного ручного контроля.

Любые участки дефектограмм с отсутствием донного сигнала не должны оставаться без внимания, поскольку в любом случае должна быть установлена объективная причина его отсутствия: нарушение акустического контакта или наличие дефектов в рельсах. Стоит отметить, что при сплошном контроле рельсов съемными дефектоскопами пропадания линии донного сигнала не должно быть, если оно не вызвано конструктивными особенностями рельсового пути, наличи-

разной протяженности. А ведь надо зафиксировать, измерить параметры каждого из них и записать в рабочий журнал. При этом далеко не во всех программах отображения дефектограмм присутствует функция автоматизированного поиска таких участков и вывода протокола. В результате расшифровщик тратит массу рабочего времени на указанные манипуляции. Очевидно, что процедуру поиска участков с пропаданием донного сигнала необходимо автоматизировать, т. е. в программах отображения должна присутствовать функция поиска непроконтролированных участков по заданным параметрам с возможностью формирования соответствующего протокола. Кроме того, должна быть предусмотрена функция перехода на непроконтролирован-

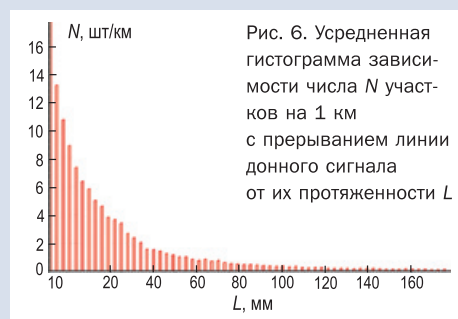


Рис. 6. Усредненная гистограмма зависимости числа N участков на 1 км с прерыванием линии донного сигнала от их протяженности L

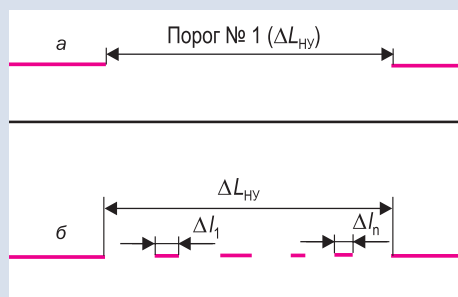


Рис. 7. К определению параметров поиска: а – порог № 1; б – порог № 2

тролированных участков в соответствии с заданными параметрами поиска – порогом. Анализ реальных дефектограмм показал, что целесообразно предусмотреть три порога обработки.

Порог № 1 – это минимальная длина локального участка с пропаданием линии донного сигнала (рис. 7а).

При нарушениях акустического контакта, например, из-за наледи на рельсах, часто наблюдается многократное прерывание линии донного сигнала (рис. 7б). Поэтому предложено ввести еще один параметр – суммарную протяженность наличия акустического контакта внутри локального непроконтролированного участка $\Delta L_{\Sigma} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_{\text{нy}}$. Эта величина является порогом № 2 и задается в процентах от общей длины данного непроконтролированного участка $\Delta L_{\text{нy}}$.

Далее, поскольку непроконтролированные участки могут быть произвольно «разбросаны» по всему файлу (например, на участке протяженностью 1 км имеется 15 локальных участков с потерей донного сигнала от 0,1 до 0,5 м и расстояние между участками от 50 м), то отдельный контроль каждого участка практически не представляется реальным. Поэто-

му группы участков можно объединять в один протяженный участок для его повторного контроля целиком. Длина объединения локальных непроконтролированных участков в один протяженный задается порогом № 3.

В качестве примера в нашей программе заданы следующие параметры поиска участков: № 1 – 70 мм ($\Delta L_{\text{нп min}}$); № 2 – 50 % (ΔI_{Σ}); № 3 – 50 м. По мере набора статистических данных и получения определенного опыта расшифровщик дефектограмм впоследствии может изменять параметры поиска.

По окончании поиска программа формирует протокол непроконтролированных участков в данном файле прохода, на котором имеется графическое представление распределения непроконтролированных участков (локальные участки выделены красным цветом, протяженные – синим), и выводится общая протяженность участков по каждой нитке в процентах от протяженности всего участка. На основании суммарной протяженности непроконтролированных участков, а также путем визуальной оценки расшифровщик может оценить качество проведенного контроля. Мастер цеха принимает решение о необходимости повторного контроля выделенных на графике участков.

Выводы

Рассмотренные проблемы характерны для любых средств сплошного контроля рельсов. Проблема обеспечения надежного акустического контакта является еще более актуальной для мобильных средств НК рельсов (вагонов-дефектоскопов и автомотрис дефектоскопных), т. к. они производят контроль при высоких скоростях движения.

Естественно, эти вопросы волнуют и зарубежных специалистов. Например, в США в нормах безопасности Федеральной железнодорожной администрации (FRA) предусмотрено, что если работник, обслуживающий дефектоскопическую технику, приходит к выводу, что состояние поверхности рельсов не позволяет выполнить эффективную проверку наличия внутренних дефектов рельсов, то проверка на этом участке не может рассматриваться как контроль наличия внутренних дефектов рельсов. В этом случае необходимо до истечения назначенного времени или пропуска установленного нормативного тоннажа повторить поиск внутренних дефектов рельсов или снизить скорость до уровня не более 25 миль/ч (40 км/ч) до выполнения несостоявшейся проверки или заменить непроверенные рельсы. В отчете должны быть документированы: проверенный путь, дата проверки,

месторасположение и характер любого отклонения от требований FRA и принятые немедленные действия лица, проводившего проверку [6].

К сожалению, на сегодняшний день отсутствуют обоснованные требования к отнесению участков рельсов к непроконтролированным и контроленепригодным. Использование принципа определения наличия акустического контакта только по присутствию на В-развертке линии донного сигнала не является корректным.

Нами предлагается следующее определение понятий «непроконтролированные» и «контроленепригодные» участки рельсов.

Непроконтролированными целесообразно считать участки рельсов любой протяженности, при сплошном контроле которых имело место нарушение технологии контроля, в результате чего расшифровщик (да и оператор) не может выдать заключение о наличии или отсутствии дефектов на данном участке. Нарушением являются неправильные действия оператора дефектоскопа (необоснованное снижение чувствительности контроля, некачественная настройка дефектоскопических каналов, если при пропадании донного сигнала не производился повторный контроль участка рельса, если не работал хотя бы один ПЭП искательной системы и т. д.), в результате которых текущую проверку участка рельсового пути нельзя считать эффективной.

Контроленепригодными при сплошном контроле целесообразно считать рельсы, состояние поверхности катания которых из-за расслоения металла не позволяет выполнить их эффективную проверку.

Критерии контроледоступности и контролепригодности рельсов рассмотрены в предыдущей статье.

Анализ качества проведенного сплошного контроля и анализ сигналов на конкретном участке пути целесообразно производить по амплитудной огибающей донного сигнала. В новых дефектоскопах должна быть предусмотрена регистрация амплитуды донного сигнала при каждом шаге датчика путейской координаты, а в программах отображения сигналов – просмотр огибающей донного сигнала и функция автоматического выделения непроконтролированных (контроленепригодных) участков с возможностью задания параметров поиска и распознаванием конструктивных особенностей рельсового пути (болтовые стыки, стрелочные переводы).

Новые дефектоскопы предоставляют оператору возможность видеть на экране сигналы на развертке типа В, что позволяет ему оперативно оценить качество акустического контакта, качество записи дефектограммы непосредственно в пути и, в случае неудовлетворительной записи, предпринять меры по улучшению контакта.

В то же время в кратчайшие сроки необходимо разработать более достоверные способы оценки качества акустического контакта под всеми преобразователями (в том числе и наклонными) и предусмотреть автоматическую корректировку чувствительности контроля в зависимости от состояния контакта. Подобные работы уже ведутся разными специалистами на протяжении нескольких лет. В частности, в [8] описан метод оценки качества акустического контакта, основанный на оценке энергии шумов зернистой структуры металла или диффузного рассеяния от поверхностей рельса.

На сегодняшний день выход из ситуации видится в повышении квалификации и технологической дисциплины операторов дефектоскопов, а также их добросовестного отношения к своим обязанностям.

Крайне важно, чтобы расшифровщики, операторы (и наладчики) работали в тесном взаимодействии для обеспечения высокого качества работы дефектоскопов. На дистанциях пути должны быть контрольные тупики с реальными дефектами и моделями, по дефектограммам которых специалисты могут судить о качестве настройки дефектоскопов.

Литература

1. Приказ С-795у от 03.09.02. Временное положение по организации использования съемных двухниточных дефектоскопов с регистраторами.
2. Приказ 4Ц МПС РФ от 04.02.02 г. «О крушении грузового поезда № 2304 на Вологодском отделении Северной железной дороги».
3. Гурвич А. К. Зеркально-теневой метод ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Машиностроение, 1976. – 35 с.
4. Патент № 2184374, МКИ G01 N 29/04. Ультразвуковой способ контроля головки рельса/ Марков А. А., Белоусов Н. А., Бершадская Т. Н. и др. – № 2001123742. Заявл. 28.08.01. Опубл. 27.06.02. Бюлл. № 18, с. 15.
5. Патент № 2184960, МКИ G01 N 29/04. Способ ультразвукового контроля головки рельсов/ Марков А. А., Бершадская Т. Н., Белоусов Н. А. и др. № 2001124269. Заявл. 24.08.01. Опубл. 10.07.02. Бюлл. № 19, с. 15.
6. Железнодорожный транспорт за рубежом. Серия 4: Путь и путевое хозяйство. Проектирование и строительство. Экспресс-информация. Выпуск 1–2. – М., 2002.
7. Тарабрин В. Ф., Одынец С. А., Кисляковский О. Н. Управление чувствительностью УЗК рельсов с учетом состояния акустического контакта. – В мире НК. 2003. № 3(21). С. 74.

Статья получена 16 марта 2006 г.