

А. А. Марков, А. Б. Козьяков, Е. А. Кузнецова

РАСШИФРОВКА ДЕФЕКТОГРАММ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ



Санкт-Петербург

2006

УДК 625.143.3:620.179
ББК 32.87

Рекомендовано к печати
Ученым советом Центра подготовки «РАДИОАВИОНИКА»

Марков А. А., Козьяков А. Б., Кузнецова Е. А.
М47 Расшифровка дефектограмм ультразвукового контроля рельсов.
– СПб.: «Образование – Культура». 2006. – 206 с.

Рассмотрены принципы формирования сигналов при ультразвуковом контроле железнодорожных рельсов и способы их представления на дефектограммах съёмных и мобильных средств дефектоскопии. Приведены особенности представления сигналов на развертке типа В от дефектов в отдельных частях рельсов. Даны рекомендации по расшифровке дефектограмм ультразвукового контроля рельсов. Рассмотрены функциональные возможности программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля (ПАК НК), позволяющего осуществлять совместный анализ сигналов всех средств дефектоскопии рельсов.

Практическое пособие предназначено для специалистов по дефектоскопии рельсов, студентов железнодорожных ВУЗов, техникумов и колледжей, и будет полезно как в практике анализа сигналов контроля, так и при подготовке дефектоскопистов в образовательных учреждениях железнодорожного транспорта.

Ил. 92, табл. 5, библиогр. назв. 26.

ISBN 5-88857-103-3

© Изд-во «Образование – Культура», 2006.
© А. А. Марков, А. Б. Козьяков,
Е. А. Кузнецова, 2006; текст

Оглавление

Сокращения, обозначения и некоторые определения	6
Введение	9
1. Способы представления сигналов контроля	13
2. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа А	15
3. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа В	17
3.1. Основные принципы	17
3.2. Формирование развертки типа В при нормальном вводе ультразвука	19
3.3. Формирование развертки типа В при наклонном вводе ультразвука	20
3.4. Особенности практической реализации отображения результатов контроля на развертке типа В	22
4. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке	25
4.1. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании его прямым ($\alpha=0^\circ$) преобразователем	25
4.2. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании наклонным преобразователем ($\alpha=45^\circ$)	27
4.3. Формирование развертки типа В при озвучивании зоны голов- ки болтового стыка рельса (эхо-метод, ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$)	28
5. Формирование развертки типа В при озвучивании дефектов в рельсах	29
5.1. Предварительные замечания	29

А. А. Марков, А. Б. Козьяков, Е. А. Кузнецова

РАСШИФРОВКА ДЕФЕКТОГРАММ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ

Практическое пособие



«Образование – Культура»
Санкт-Петербург
2006

УДК 625.143.3:620.179
ББК 32.87

Рекомендовано к печати
Ученым советом Центра подготовки «РАДИОАВИОНИКА»

Марков А. А., Козьяков А. Б., Кузнецова Е. А.
М47 Расшифровка дефектограмм ультразвукового контроля рельсов.
– СПб.: «Образование – Культура». 2006. – 206 с.

Рассмотрены принципы формирования сигналов при ультразвуковом контроле железнодорожных рельсов и способы их представления на дефектограммах съемных и мобильных средств дефектоскопии. Приведены особенности представления сигналов на развертке типа В от дефектов в отдельных частях рельсов. Даны рекомендации по расшифровке дефектограмм ультразвукового контроля рельсов. Рассмотрены функциональные возможности программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля (ПАК НК), позволяющего осуществлять совместный анализ сигналов всех средств дефектоскопии рельсов.

Практическое пособие предназначено для специалистов по дефектоскопии рельсов, студентов железнодорожных ВУЗов, техникумов и колледжей, и будет полезно как в практике анализа сигналов контроля, так и при подготовке дефектоскопистов в образовательных учреждениях железнодорожного транспорта.

Ил. 92, табл. 5, библиогр. назв. 26.

ISBN 5-88857-103-3

© Изд-во «Образование – Культура», 2006.
© А. А. Марков, А. Б. Козьяков,
Е. А. Кузнецова, 2006; текст

Оглавление

Сокращения, обозначения и некоторые определения	6
Введение	9
1. Способы представления сигналов контроля	13
2. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа А	15
3. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа В	17
3.1. Основные принципы	17
3.2. Формирование развертки типа В при нормальном вводе ультразвука	19
3.3. Формирование развертки типа В при наклонном вводе ультразвука	20
3.4. Особенности практической реализации отображения результатов контроля на развертке типа В	22
4. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке	25
4.1. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании его прямым ($\alpha=0^\circ$) преобразователем	25
4.2. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании наклонным преобразователем ($\alpha=45^\circ$)	27
4.3. Формирование развертки типа В при озвучивании зоны головки болтового стыка рельса (эхо-метод, ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$)	28
5. Формирование развертки типа В при озвучивании дефектов в рельсах	29
5.1. Предварительные замечания	29
5.2. Формирование сигналов от поперечных трещин в головке рельса (дефекты второй группы)	30



5.3. Формирование сигналов от продольных трещин в головке рельса (дефекты кодов 30В.1-2 и 30Г.1-2).....	31
5.4. Формирование сигналов от продольных трещин в зоне сопряжения головки и шейки рельса (дефекты кода 52.1-2).....	32
5.5. Формирование сигналов от продольных трещин в шейке рельса (дефект кода 55.1-2).....	35
5.6. Отображение сигналов от дефектов в виде расслоения шейки рельса (дефект кода 50.1-2).....	37
5.7. Обнаружение дефектов в шейке рельса в зоне сварного соединения (дефект кода 56.3).....	38
5.8. Формирование сигналов от радиальных трещин болтовых отверстий (дефект кода 53.1).....	39
5.9. Формирование сигналов от поперечных трещин в подошве рельса (дефект кода 69).....	42
6. Принципы расшифровки дефектограмм	45
6.1. Этапы расшифровки.....	45
6.2. Некоторые практические рекомендации по анализу дефектограмм.....	48
6.3. Определение измеряемых характеристик отражателей по развертке типа В.....	50
6.4. Примеры записей сигналов от моделей и реальных дефектов.....	54
7. Особенности применения развертки типа В при контроле сварных стыков рельсов портативными дефектоскопами	61
7.1. Предварительные замечания.....	61
7.2. Порядок протоколирования результатов контроля.....	62
7.3. Особенности вторичного контроля рельсов.....	66
8. Программно-аппаратный комплекс неразрушающего контроля цеха дефектоскопии (ПАК НК)	70
8.1. Назначение ПАК НК.....	70
8.2. Возможности ПАК НК по работе с данными средств НК рельсов.....	72
8.3. Установка ПАК НК.....	76

8.4. Рекомендуемая форма организации данных на жестком диске.....	78
8.5. Импорт данных от средств неразрушающего контроля в систему ПАК НК.....	81
8.6. Совместный анализ данных.....	88
8.7. Создание «записных книжек» и ведомостей контроля.....	89
8.8. Основные проблемы при работе с программой.....	92
8.9. Обратная связь.....	93

Заключение.....	94
------------------------	-----------

Литература.....	95
------------------------	-----------

Приложения:

1. Альтернативное представление дефектоскопической информации в переносных ультразвуковых дефектоскопах.....	99
2. Особенности расшифровки сигналов при ультразвуковом контроле рельсов с поверхностными повреждениями.....	117
3. Комплексное использование методов контроля – путь к повышению эффективности дефектоскопии рельсов.....	127
4. Программа трехмерного моделирования сигналов ультразвукового контроля изделий.....	138
5. Проблема оценки качества контроля рельсов при анализе дефектограмм.....	166
6. Общие требования к системе регистрации дефектоскопической информации съемных и мобильных средств неразрушающего контроля.....	184

Сокращения, обозначения и некоторые определения

НК – неразрушающий контроль.

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь.

КИ – контролируемое изделие.

ЗИ – зондирующий импульс.

ДС – донный сигнал.

Зона ВС – зона временной селекции.

Б/о – болтовое отверстие.

ПЧ – подразделение, обслуживающее отдельный участок железнодорожного пути – дистанция пути.

ПАК НК – программно-аппаратный комплекс неразрушающего контроля рельсов участка дефектоскопии.

Развертка типа А – это представление сигналов в координатной плоскости «амплитуда сигнала – время распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии» в конкретной точке нахождения ПЭП: « U , дБ – t_p , мкс».

Развертка типа В – это представление сигналов в координатной плоскости «время распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии – время движения пьезоэлектрического преобразователя по изделию» « t_p , мкс – $t_{пэп}$, с».

Схема «РОМБ» – схема прозвучивания головки рельса пьезоэлектрическим преобразователем с двумя пьезопластинами, имеющими угол ввода луча $\alpha=58^\circ$, развернутыми в рабочую и нерабочую грани на угол $\gamma=34^\circ$ каждая, включенными в одном такте работы дефектоскопа по отдельной или совмещенной схеме (значе-

ния углов приведены в качестве примера).

c_l – скорость продольной волны (в рельсовой стали $c_l=5,9$ мм/мкс).

c_t – скорость поперечной волны (в рельсовой стали $c_t=3,26$ мм/мкс).

α – угол ввода ультразвукового луча в материал контролируемого изделия.

γ – угол разворота ультразвукового луча.

U – амплитуда сигнала.

$U_{\text{э}}$ – амплитуда эхо-сигнала.

$U_{\text{пор}}$ – величина порогового уровня дефектоскопа.

t_p – время распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии.

$t_{\text{э}}$ – время задержки эхо-сигнала.

Δt – временной интервал между эхо-сигналами.

$t_{\text{пэп}}$ – время движения пьезоэлектрического преобразователя по изделию.

$t_{\text{пэп}}^d$ – время движения пьезоэлектрического преобразователя по изделию в момент озвучивания дефекта.

$\tau_{\text{пор}}^{\text{ЗИ}}$ – длительность зондирующего импульса на пороговом уровне.

$\tau_{\text{пор}}$ – длительность эхо-сигнала от дефекта на пороговом уровне.

$X_{\text{пэп}}$ – путейская координата пьезоэлектрического преобразователя.

$X_{\text{пэп}}^d$ – путейская координата пьезоэлектрического преобразователя в момент озвучивания дефекта.

L_d – протяженность дефекта.

ΔL – условная протяженность дефекта.

$\Delta L_{\text{эхо}}$ – условная протяженность дефекта, измеренная по эхо-методу.

$\Delta L_{\text{ЗТМ}}$ – условная протяженность дефекта, измеренная по зеркально-теневому методу.

ΔX – условная ширина дефекта.

ΔH – условная высота дефекта.

h_d – глубина залегания дефекта.

K_d – коэффициент выявляемости дефекта при эхо-методе соответствует отношению максимальной амплитуды эхо-сигнала от дефекта к максимальной амплитуде эхо-сигнала от отверстия диаметром 6 мм на глубине 44 мм в образце СО-ЗР (СО-2) (ГОСТ 18576-96).

h_{Σ} – суммарное расстояние между несколькими пачками сигналов от дефекта.

n – количество пачек сигналов от дефекта.

m – количество переотражений ультразвукового луча от стенок изделия при озвучивании дефекта.

N_o – показание аттенюатора, соответствующее ослаблению эхо-сигнала от отверстия диаметром 6Н14 в образце СО-ЗР до уровня, при котором оценивают условную чувствительность, дБ (ГОСТ 18576-96)

Введение

В последние годы в железнодорожной отрасли, наиболее массово использующей ультразвуковые методы для контроля качества многих ответственных объектов (в первую очередь – рельсов), произошли коренные изменения в области неразрушающего контроля. Активно внедряются мобильные средства контроля – автотрисы и вагоны-дефектоскопы, с 2002 года начато широкое применение дефектоскопных тележек с приставными или встроенными регистраторами сигналов контроля. На начало 2006 г. на сети дорог ОАО «Российские железные дороги» эксплуатируется более 100 единиц мобильных средств и более 2500 съёмных двухниточных средств дефектоскопии с регистраторами для поиска контактно-усталостных дефектов в рельсах и обеспечения требуемого уровня безопасности движения поездов.

Все эти средства осуществляют регистрацию сигналов контроля на дефектограммах в виде так называемой «развертки типа В». В связи с этим персонал, обслуживающий данные средства контроля, должен уметь правильно интерпретировать информацию, зарегистрированную на дефектограммах.

Естественно, для освоения особенностей формирования и тонкостей процесса расшифровки зарегистрированных особым образом сигналов необходим соответствующий учебник. Однако создание основательного учебного пособия, подробно рассматривающего все аспекты принципов формирования и отображения сигналов многоканальных средств ультразвукового контроля рельсов и других металлоизделий, требует значительных усилий и времени.



В то же время линейные подразделения, операторы и инженеры, занимающиеся анализом сигналов контроля рельсов, испытывают острый недостаток учебных материалов, методических решений и рекомендаций по расшифровке дефектограмм мобильных и съемных средств дефектоскопии. Для частичного восполнения указанного недостатка и сформировано настоящее практическое пособие.

В данном пособии рассмотрены наиболее часто применяемые способы представления сигналов контроля, даны определения и пояснены принципы формирования разверток типов А и В, приведены примеры отображения сигналов от дефектов рельсов на развертке типа В и рассмотрены особенности их расшифровки.

Пособие предназначено для специалистов по расшифровке дефектограмм участков дефектоскопии дистанций пути, инженеров и наладчиков мобильных (автоматрис и вагонов-дефектоскопов) средств неразрушающего контроля (НК) и операторов съемных двухниточных дефектоскопов типа АВИКОН-01(МР), АВИКОН-11, РДМ-2, РДМ-22 и АДС-02, оснащенных регистраторами сигналов сплошного контроля рельсов.

При создании пособия учтен накопленный опыт обучения специалистов со всех железных дорог ОАО «РЖД» в Центре подготовки «Радиоавионика». Отметим, что на конец 2005 г. в Центре на двух- и трехнедельных курсах обучено более 1000 специалистов по обслуживанию дефектоскопов нового поколения и расшифровке дефектограмм контроля рельсов.

В книге кратко рассмотрены способы представления сигналов ультразвукового контроля и весьма подробно – принципы формирования развертки типа В при озвучивании каждой зоны рельса (головки, шейки и подошвы) при сканировании их типовыми ультразвуковыми преобразователями. Приведены особенности формирования сигналов от наиболее характерных дефектов – поперечных и продольных трещин по всей высоте рельса, радиальных трещин от



стенок болтовых отверстий и т.д. Даются рекомендации по практическому анализу реальных дефектограмм съемных и мобильных средств дефектоскопии, в том числе и при контроле сварных стыков рельсов переносными дефектоскопами. Для лучшего понимания приведенных материалов авторы рекомендуют предварительно изучить соответствующие главы книг [1 и 2], где более подробно рассмотрены особенности формирования указанных сигналов и отображения их на традиционной развертке типа А.

В последней главе приведены сведения об уникальной программе, позволяющей совместно просматривать на одном экране дефектограммы практически всех средств дефектоскопии, осуществляющих сплошной контроль рельсов. Это программно-аппаратный комплекс неразрушающего контроля (ПАК НК), обладающий, кроме названной способности, рядом функций, существенно облегчающих процесс расшифровки дефектограмм. По заданию Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» в 2005 г. завершена поставка этой программы на все дистанции пути сети железных дорог. Поэтому знание особенностей и основных возможностей этой программы необходимо всем, кто занимается анализом дефектограмм ультразвукового контроля рельсов.

В пособии приведены статьи (Пр. 2 и 3) слушателей Центра подготовки – работников Октябрьской и Горьковской железных дорог, в которых даны конкретные ответы, как поступить при расшифровке отдельных, весьма сложных дефектограмм, получаемых на практике. Тут же (Пр. 4) приведены результаты компьютерного моделирования с помощью новой программы RAIL-3D, также позволяющей решать реальные задачи, возникающие в практике расшифровки сигналов контроля. В частности, рассмотрен пример формирования ложных сигналов при контроле зоны болтовых стыков рельсов, возникающих при плотном прилегании болта к стенке отверстия. Получены конкретные значения измеряемых параметров, по которым можно распознать сиг-



нал от дефекта (радиальной трещины кода 53.1) на фоне указанных помех.

Эти материалы опубликованы в последние годы в общероссийских журналах «В мире неразрушающего контроля», «Путь и путевое хозяйство» и в журнале Российской академии наук «Дефектоскопия». Однако специализированные журналы не всегда доступны рядовым работникам путевого хозяйства, поэтому указанные публикации приводятся в Приложении (Пр. 1-4) пособия практически без сокращений.

До настоящего времени нет конкретных требований по вопросу отнесения того или иного участка к «контроленепригодным». В то же время этот вопрос требует скорейшего решения и непосредственно влияет на обеспечение безопасности движения поездов. В Пр. 5. приведены основные соображения авторов, сотрудников ОАО «Радиоавионика», по данному вопросу и даны предложения по автоматизации процесса поиска контроленепригодных участков пути по сформулированным в работе критериям.

В заключении (в Пр. 6) приведены «Общие требования к системе регистрации дефектоскопической информации съёмных и мобильных средств неразрушающего контроля» ЦПД-5д/410, утвержденные Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 08 ноября 2005 г. Учет этих требований разработчиками дефектоскопической техники и создателями программного обеспечения как при разработке новых средств, так и при модернизации эксплуатируемых, позволит заметно упростить и облегчить работу линейных работников, занятых анализом дефектограмм средств дефектоскопии.

1. Способы представления сигналов контроля

В настоящее время от оператора, обслуживающего средство неразрушающего контроля, уже не требуется досконального знания функциональной, и, тем более, электрической (принципиальной) схемы дефектоскопа. В то же время, он обязан адекватно воспринимать представляемую ему индикаторами дефектоскопа информацию и грамотно распознавать сигналы от опасных дефектов на фоне возможных помех.

Можно привести как минимум семь видов представления результатов контроля, которые позволяют отображать современные дефектоскопы. Все они имеют определенные преимущества и недостатки и в той или в иной степени используются в средствах контроля рельсов.

В последние годы наиболее актуальным является представление сигналов контроля на развертке типа В. Это, в первую очередь, связано с появившимися новыми возможностями цифровых средств дефектоскопии с графическими (матричными) дисплеями и стремлением разработчиков повысить информативность приборов. Поэтому многие современные ультразвуковые дефектоскопы общего назначения для отображения результатов контроля одновременно с традиционной разверткой типа А предоставляют возможность использования и развертки типа В. При этом последнее представление во многих случаях оказывается более информативным и наглядным, чем традиционное представление сигналов на амплитудно-временной развертке.

Наиболее широко развертка типа В используется при контроле железнодорожных рельсов.

В настоящий момент железнодорожные рельсы, уложенные в путь, подвергаются сплошному контролю съемными дефектоскопами (тележками типа АВИКОН-01, АВИКОН-11, РДМ-2, РДМ-22, АДС-02) и скоростному контролю мобильными средствами (автомотрисами и вагонами-дефектоскопами). Формы представления сигналов, получаемых указанными средствами, в определенной степени различны: все съемные дефектоскопы традиционно информируют оператора о наличии дефекта посредством звуковой индикации в головных телефонах. Сам же сигнал от дефекта (или другого отражателя) можно посмотреть в виде детектированного импульса на развертке типа А по каждому из каналов контроля. При этом эксплуатируемые в настоящее время дефектоскопные тележки оснащены средствами регистрации результатов контроля, производящими запись сигналов в виде развертки типа В. Что же касается мобильных средств НК, то их дефектоскопические комплексы традиционно в течение нескольких десятков лет отображают результаты контроля только в виде развертки типа В.

В приведенных разделах указанные формы представления информации рассматриваются подробно.

2. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа А

Развертка типа А – это представление сигналов в координатной плоскости «амплитуда сигнала – время распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии (КИ)» в конкретной точке нахождения ПЭП (рис. 2.1): « $U, \text{дБ} - t_p, \text{мкс}$ ».

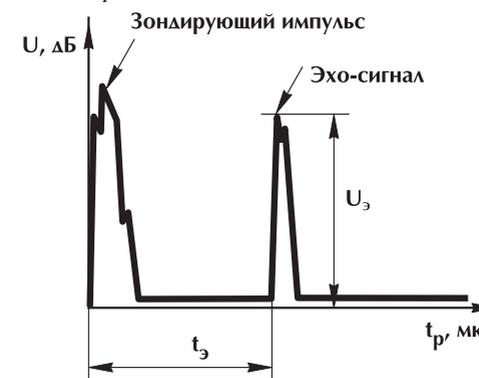


Рис. 2.1. Представление сигнала ультразвукового контроля на развертке типа А

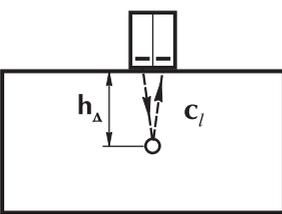
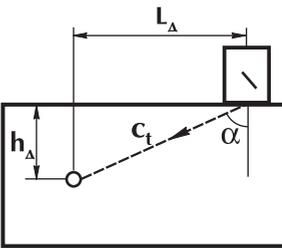
Данный вид развертки получил свое название от слова «Amplitude» («амплитуда») по причине того, что на А-развертке принятые эхо-сигналы отображаются в виде импульсов, имеющих определенную форму, длительность и амплитуду.

Горизонтальная развертка типа А синхронизирована с временем распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии. На А-развертке в каждой точке расположения ПЭП эхо-сигнал от дефекта отображается в виде импульса, временное положение которого относительно зондирующего импульса пропорционально расстоянию до дефекта.

Информация о дефекте, фиксируемая на развертке типа А, приведена в табл. 1.

Применение развертки типа А целесообразно при контроле небольших участков рельсов (сварных стыков и отдельных сечений) портативными одноканальными дефектоскопами. Однако данный способ отображения информации является неэффективным при контроле длинномерных изделий многоканальными дефектоскопическими системами на высоких скоростях сканирования. Анализ результатов контроля на А-развертке особенно затрудняется при приеме сигналов от нескольких отражателей в изделии и при озвучивании конструктивных отражателей (торцов рельсов и отверстий в зоне болтовых стыков, маркировочных знаков, неочищенного грата в области сварных стыков).

Таблица 1

Информация, получаемая о дефекте при помощи А-развертки	
при нормальном вводе УЗК	при наклонном вводе УЗК
	
<ul style="list-style-type: none"> - глубина залегания дефекта h_d - форма эхо-сигнала от дефекта - амплитуда эхо-сигнала от дефекта N_d - коэффициент выявляемости дефекта K_d 	<ul style="list-style-type: none"> - глубина залегания дефекта h_d - форма эхо-сигнала от дефекта - амплитуда эхо-сигнала от дефекта N_d - коэффициент выявляемости дефекта K_d - расстояние от точки выхода луча до проекции дефекта на поверхность сканирования L_d

3. Представление сигналов ультразвукового контроля на развертке типа В

3.1. Основные принципы

Развертка типа В – это представление сигналов в координатной плоскости «*время распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии – время движения ПЭП по изделию*»: « t_p , мкс – $t_{пэп}$, с».

Ультразвуковые дефектоскопы, индицирующие результаты контроля в виде развертки типа В, оснащены, как правило, датчиками пути, позволяющими производить привязку принятых сигналов не ко времени от момента начала движения, а непосредственно к координате перемещения ПЭП ($X_{пэп}$). В этом случае сигналы от дефектов и других несплошностей отображаются на развертке типа В в координатах « t_p , мкс – $X_{пэп}$, мм».

Данный вид развертки получил свое название от английского слова «*Bright*» («яркость») по причине того, что сигналы на развертке типа В отображаются в виде ярких отметок.

На развертке типа В фиксируются не все сигналы, принятые дефектоскопом, а только те, амплитуда которых превышает пороговый уровень дефектоскопа.

Принцип представления сигналов на развертке типа В проиллюстрирован на рис. 3.1 на примере одного эхо-сигнала от дефекта. Видно, что для отображения сигнала на развертке типа В ее координатные оси (« t_p , мкс – $t_{пэп}$ ($X_{пэп}$), мм») расположены непосредственно под контролируемым изделием. Координатная плоскость же развертки типа А ориентирована таким образом, чтобы ось времени задержки сигнала t_p была бы параллельна оси t_p координат развертки типа В.

Далее отображение эхо-сигнала в координатах разверт-

ки типа В производится в следующем порядке:

1. По горизонтальной оси откладывается время движения (координата перемещения) ПЭП в данный момент времени при озвучивании дефекта (или отражателя) $t_{пэп}^A (X_{пэп}^A)$.
2. По вертикальной оси t_p откладывается время задержки сигнала t_3 .
3. На развертке типа В отображается точка с координатами $t_{пэп} (t_p)$ или $X_{пэп} (t_p)$, представляющая собой эхо-сигнал.

Строго говоря, представленный выше эхо-сигнал пересекает пороговый уровень дефектоскопа не в одной точке, а в пределах отрезка, равного длительности рассматриваемого сигнала на пороговом уровне. Вместе с этим, как отмечено выше, на развертке типа В в виде яркостных отметок отображаются все сигналы, которые превышают пороговый уровень дефектоскопа.

Из этого следует, что сигнал в ее координатах представляет собой не безразмерную точку, а отметку, имеющую определенный размер, равный длительности $\tau_{пор}$ данного сигнала на пороговом уровне.

Кроме того, на развертке типа А присутствует и зондирующий импульс (ЗИ), также имеющий определенную длительность $\tau_{пор}^{ЗИ}$ на пороговом уровне. Это означает, что его также необходимо отобразить на развертке типа В. Но, так как зондирующий импульс имеет место на всем протяжении процесса контроля, и величина $\tau_{пор}^{ЗИ}$ как правило, не изменяется в ходе перемещения ПЭП по изделию, то и размер яркостной отметки также изменяться не будет, и на В-развертке зондирующий импульс отобразится в виде слегка флуктуирующей горизонтальной линии, расположенной в начале координат, именуемой линией зондирующего импульса.

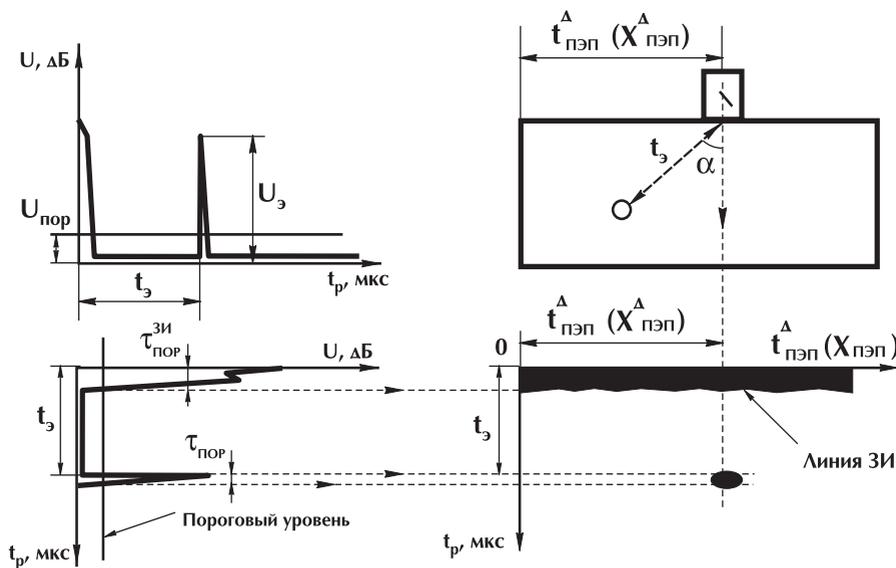


Рис. 3.1. Принципы представления сигнала в виде развертки типа В

3.2. Формирование развертки типа В при нормальном вводе ультразвука

При нормальном вводе ультразвуковых колебаний в плоскопараллельное изделие на развертке типа В формируются две параллельные линии: линия зондирующего импульса и линия донного сигнала. При этом эхо-сигналы от возможных дефектов формируются в виде пачек сигналов (яркостных отметок) между этими параллельными линиями (рис. 3.2). Даже от точечного отражателя (например, от отверстия диаметром 2 мм) по мере перемещения ПЭП на развертке типа В формируется дугообразная линия, вызванная последовательным озвучиванием дефекта под разными углами в пределах диаграммы направленности ПЭП.

При обнаружении дефекта по В-развертке можно измерить глубину залегания дефекта и его условную протяженность по длительности пачки эхо-сигналов $\Delta L_{эхо}$ и пропадания донного сигнала $\Delta L_{ЗТМ}$. Как видно из рис. 3.2, реальный

размер дефекта, расположенного параллельно поверхности сканирования, следует оценивать не по $\Delta L_{\text{эхо}}$, а по $\Delta L_{\text{ЗТМ}}$, так как длительность пропадаания донного сигнала близка к реальному размеру продольного дефекта.

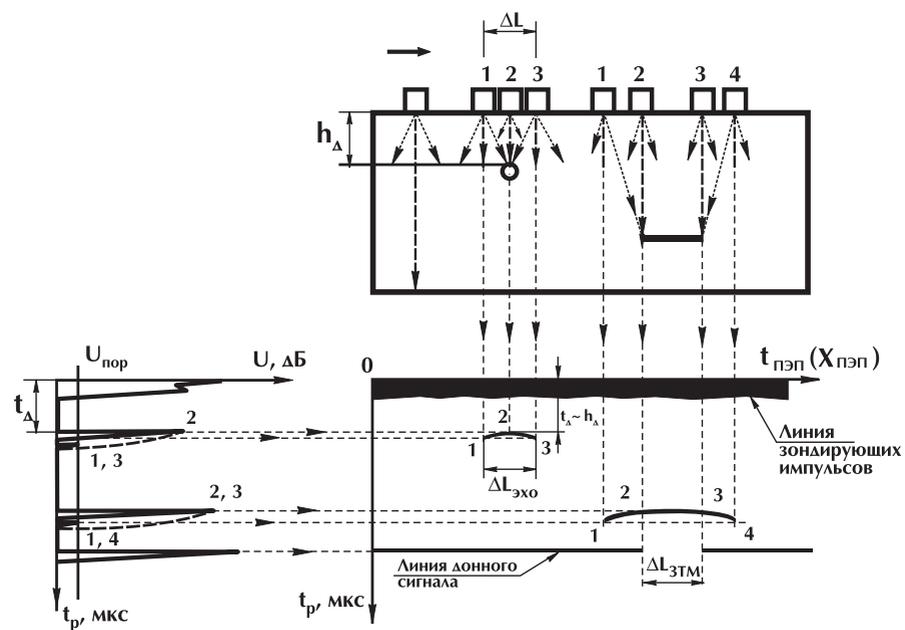


Рис. 3.2. Принцип формирования развертки типа В при нормальном вводе ультразвука

3.3. Формирование развертки типа В при наклонном вводе ультразвука

При контроле изделия наклонным ПЭП также, как и при нормальном вводе УЗК, озвучивание любого дефекта происходит по мере перемещения ПЭП в пределах его диаграммы направленности (ДН) сначала крайним лучом ДН,

затем – акустической осью, после чего – снова крайним лучом ДН. При этом на развертке типа А формируется огибающая амплитуд эхо-сигналов, а на развертке типа В – наклонная пачка сигналов, как показано на рис. 3.3.

В процессе сканирования наклонным ПЭП даже от точечного отражателя на В-развертке формируется наклонная линия (пачка сигналов), вызванная последовательным озвучиванием этого отражателя под разными углами в пределах диаграммы направленности ПЭП.

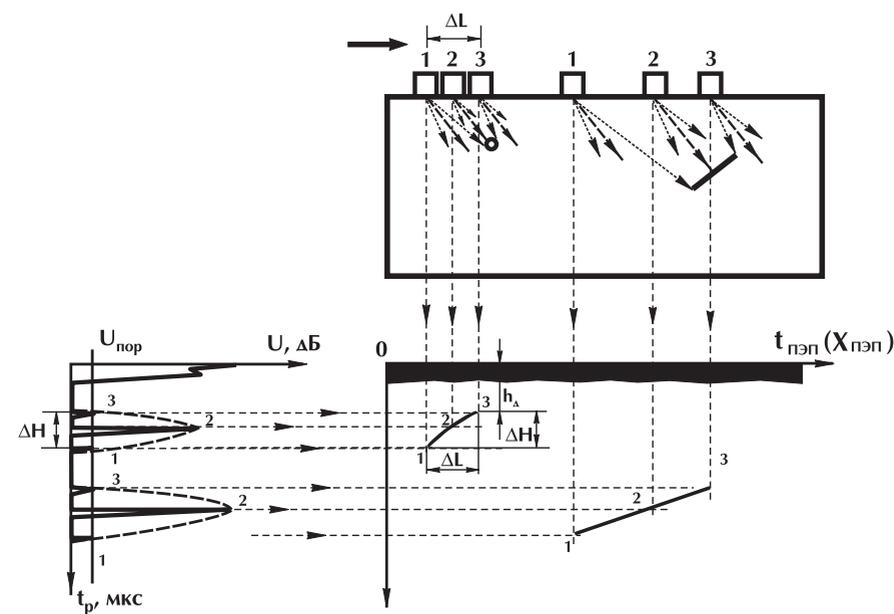


Рис. 3.3. Принцип формирования развертки типа В при наклонном вводе ультразвука

При наклонном вводе ультразвука в изделие по развертке типа В можно судить:

- о глубине залегания дефектов h_d ;
- об условных размерах дефектов (ΔL и ΔH);



— о взаимном расположении дефектов и конструктивных отражателей в изделии.

Недостатком развертки типа В при однопороговой регистрации результатов контроля является невозможность определения амплитуды сигнала и, как следствие – коэффициента выявляемости дефекта K_d , характеризующего отражающие свойства последнего.

3.4. Особенности практической реализации отображения результатов контроля на развертке типа В

В настоящее время в средствах сплошного контроля рельсов, выпускаемых большинством фирм-производителей, результаты контроля рельсов, представляемые в виде развертки типа В, отображаются в соответствии со следующими принципами (рис. 3.4):

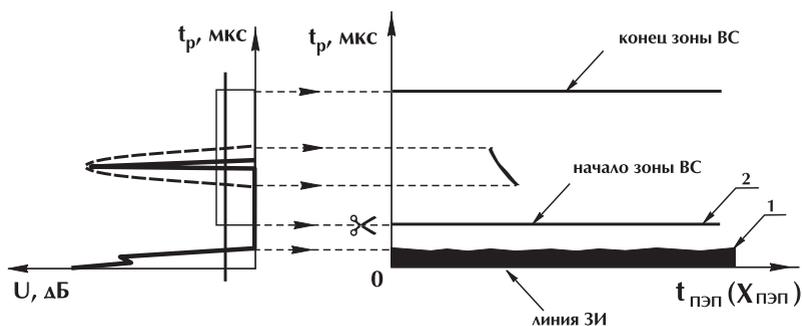


Рис. 3.4. Особенности отображения результатов контроля в действующих дефектоскопических комплексах:
1 – линия зондирующих импульсов отображается внизу;
2 – регистрацию сигналов производят с момента начала зоны временной селекции

— начало координат (зондирующий импульс) располагается внизу – ось ординат направлена при этом вверх;

— отображение сигналов начинается не от зондирующего импульса, а от начала зоны временной селекции, которая выбрана таким образом, чтобы линия ЗИ не прописывалась на дефектограмме, так как она практически не несет информации о качестве контролируемого изделия, занимая при этом значительный объем памяти устройства регистрации.

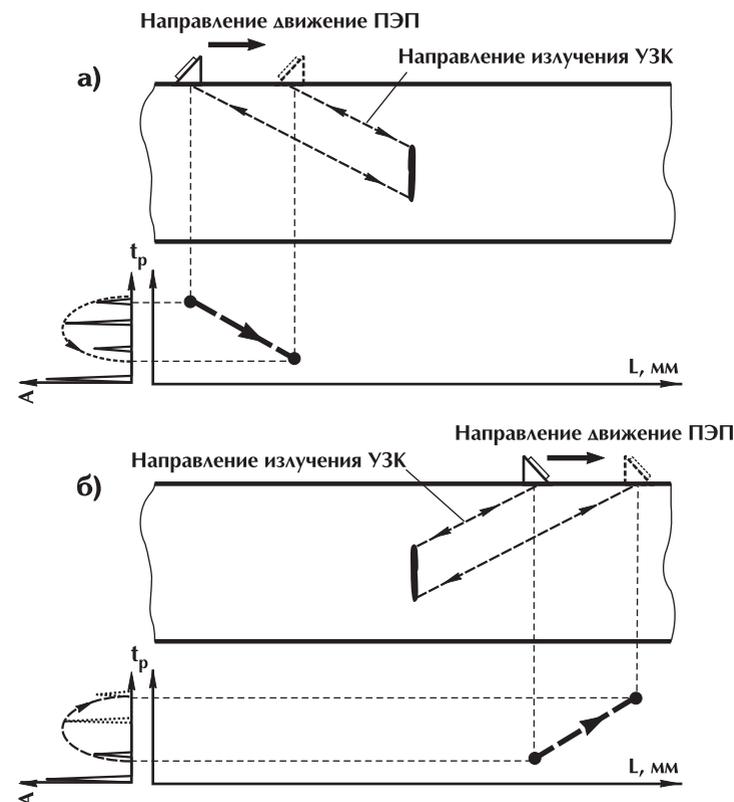


Рис. 3.5. Формирование В-развертки при излучении ультразвуковых колебаний по и против движения ПЭП («наезжающий» и «отъезжающий» ПЭП):
а – ПЭП «наезжает» на дефект: временные и амплитудные огибающие эхо-сигналов формируются от больших значений времени и задержки;
б – ПЭП «отъезжает» от дефекта: огибающие эхо-сигналов формируются к большим значениям времени и задержки



При расшифровке дефектограмм в зависимости от направления излучения ультразвуковых колебаний и направления движения дефектоскопной тележки принято разделять каналы контроля на «наезжающие» и «отъезжающие» [2]. У «наезжающих» каналов направление излучения ультразвуковых колебаний совпадает с направлением движения тележки, при этом ультразвуковые колебания озвучивают дефект с одной стороны. У «отъезжающих» каналов направление излучения ультразвуковых колебаний противоположно движению тележки и при этом прозвучивается другая плоскость дефекта (рис. 3.5). Естественно при этом несколько отличается и отображение сигналов на развертке типа В: в первом случае пачка сигналов имеет один наклон, а во втором случае – иной.

4. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке

4.1. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании его прямым ($\alpha=0^\circ$) преобразователем

При формировании пачки эхо-сигналов от стенки болтового отверстия по мере перемещения ПЭП эхо-сигналы дают только те ультразвуковые лучи в пределах диаграммы направленности, которые как бы проходят через центр отверстия. Дефектограмма бездефектного болтового стыка при озвучивании прямым ПЭП приведена на рис. 4.1.

Иногда от болтового отверстия возможно получение второго эхо-сигнала, вызванного двукратным переотражением ультразвукового луча от стенки болтового отверстия и от поверхности катания рельса. При этом положение пачки сигналов, соответствующее второму отражению, зависит от глубины залегания отражателя и может быть как до линии донного сигнала, так и после нее (рис. 4.2).

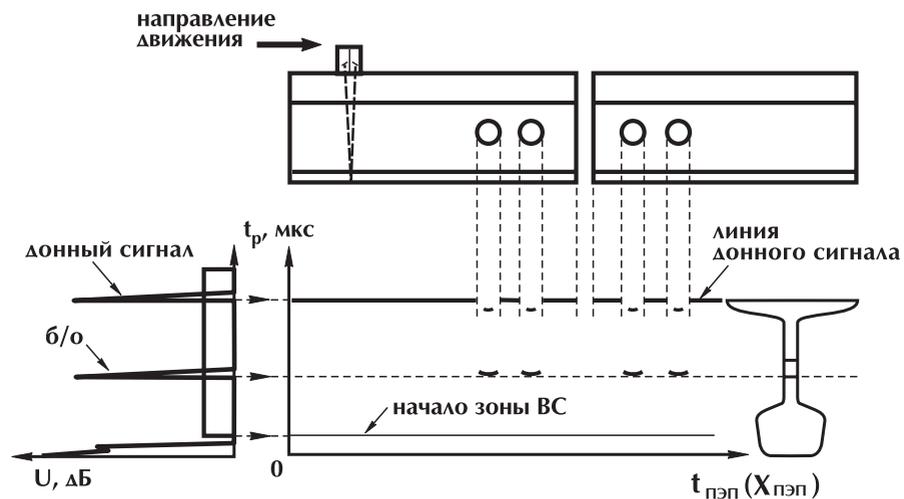


Рис. 4.1. Дефектограмма бездефектного болтового стыка

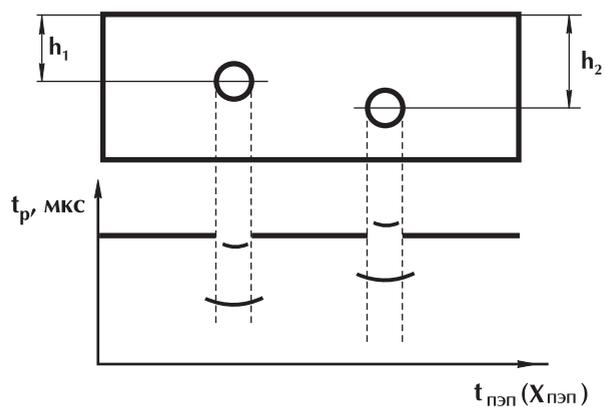


Рис. 4.2. Отображение на развертке типа В сигналов от болтовых отверстий в зависимости от глубины залегания: $h_2 > h_1$

4.2. Формирование развертки типа В на бездефектном болтовом стыке при озвучивании наклонным преобразователем ($\alpha=45^\circ$)

При озвучивании зоны болтового стыка наклонными ПЭП с углом ввода $\alpha=45^\circ$, развернутыми вдоль продольной оси рельса ($\gamma=0^\circ$), формируются наклонные пачки сигналов, вызванные отражением ультразвуковой волны от небольшой части стенки болтовых отверстий. При озвучивании первого болтового отверстия принимающего рельса «наезжающим» ПЭП стыковой зазор мешает формированию полной пачки сигналов, поэтому она получается короче.

При озвучивании бездефектного болтового стыка ПЭП с $\alpha=45^\circ$ пачки сигналов от торца рельса в зоне подошвы могут отсутствовать. Это имеет место в тех случаях, когда первое болтовое отверстие перекрывает (экранирует) ультразвуковой пучок. Дефектограмма бездефектного болтового стыка при озвучивании его ПЭП с $\alpha=45^\circ$ приведена на рис. 4.3.

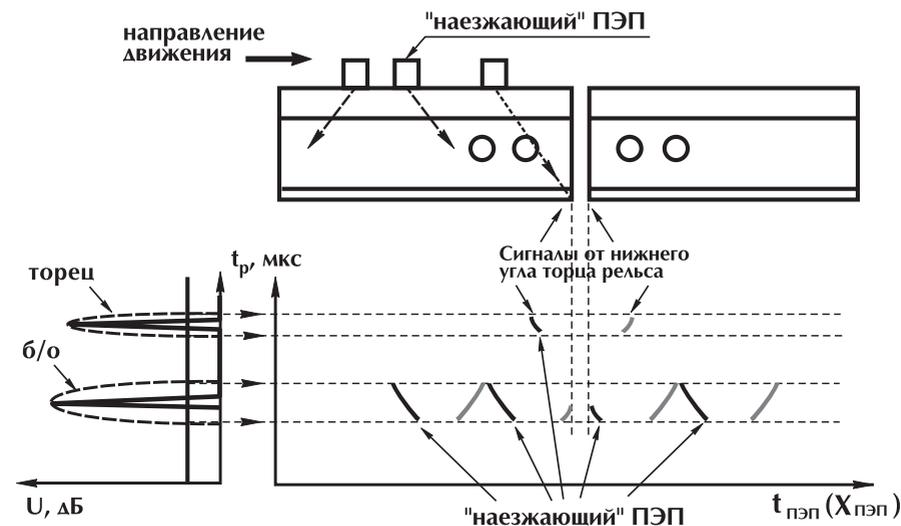


Рис. 4.3. Дефектограмма бездефектного болтового стыка при озвучивании ПЭП $\alpha=45^\circ$

4.3. Формирование развертки типа В при озвучивании головки рельса в зоне болтового стыка (эхо-метод, ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$)

В процессе перемещения ПЭП по рельсу относительно его торца формируются несколько групп (пачек) сигналов, вызванных отражениями ультразвукового пучка от торца рельса в области головки прямым, одно- и двукратно отраженными лучами. Пачки сигналов при этом формируются от различных зон головки рельса в зависимости от того, каким лучом происходит озвучивание (рис. 4.4).

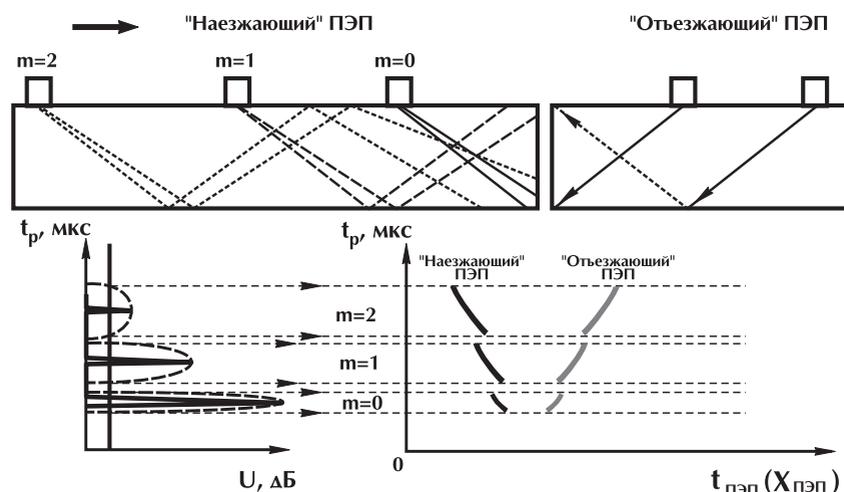


Рис. 4.4. Принцип формирования развертки типа В при озвучивании головки рельса в зоне стыка ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$.

Примечание: на данном рисунке и далее черным цветом показаны пачки сигналов, полученные при озвучивании «наезжающим» ПЭП, серым цветом – полученные «отъезжающим» ПЭП.

В процессе сканирования зоны болтового стыка по эхо-методу двумя ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$, направленными в противоположные стороны, происходит последовательное озвучивание торцов рельса:

- «наезжающим» ПЭП – торца «отдающего» рельса;
- «отъезжающим» ПЭП – торца «принимающего» рельса.

5. Формирование развертки типа В при озвучивании дефектов в рельсах

5.1. Предварительные замечания

В настоящей главе рассмотрены принципы отображения дефектов рельсов на развертке типа В при их озвучивании в соответствии с применяемыми в настоящее время методами сплошного и скоростного контроля. При анализе каждого кода дефектов рассмотрению подлежат все пачки сигналов, которые могут быть сформированы в процессе контроля участка рельса с данным дефектом. Следует отметить, что представленные ниже записи дефектов на развертке типа В являются идеальными моделями и, как отмечено выше, отображают все пачки сигналов, которые могут быть получены при озвучивании того или иного дефекта.

На практике записи дефектов во многих случаях отличаются от приведенных ниже прежде всего тем, что на реальных дефектограммах, как правило, присутствуют не все из возможных пачек сигналов. Кроме того, те пачки сигналов, которые отобразились на реальной дефектограмме, могут быть прописаны на ней не полностью по сравнению с идеальной моделью.

Такое расхождение теоретического представления и практического результата связано, в первую очередь, с тем, что каждый дефект даже в пределах одного типа имеет свои сугубо индивидуальные отражающие свойства. Кроме того, на качество записи дефекта на В-развертке влияют такие факторы, как акустический контакт ПЭП с рельсом, центровка исследовательской системы, а также степень износа головки рельса.



5.2. Формирование сигналов от поперечных трещин в головке рельса (дефекты второй группы)

Поперечные трещины головки рельса кодов 20.1-2, 21.12 и 26.3 по своим отражающим свойствам достаточно близки бездефектному торцу рельса в области головки. Также, как и торец, при контроле по эхо-методу наклонными ПЭП ($\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$) данные дефекты могут озвучиваться прямым, одно- и двукратно отраженными от поверхностей головки рельса лучами. При этом на развертке типа В формируются аналогичные пачки сигналов, что и при озвучивании торца рельса в области головки (принципы ее формирования рассмотрены в разделе 4.2) с отличающимися временными сдвигами.

При контроле головки рельса по эхо-методу ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$ возможно появление сигналов от отражателей на подголовочной грани (коррозия, капли воды и т.п.), а также от закалочных микротрещин на выкружке рабочей грани. В первом случае сигналы имеют задержку порядка $t_{\text{подг}}=40$ мкс, во втором – вдвое большую: порядка $t_{\text{раб}}=65-80$ мкс. В обоих случаях время задержки сигналов постоянно (так как местоположение отражателей по глубине не изменяется), вследствие чего на развертке типа В отображается множество точек (эхо-сигналов), формирующих горизонтальные дорожки, воспринимаемые оператором как помехи (рис. 5.1).

Кроме этого, на выкружке рабочей грани головки рельса нередко возникает возникновение дефектов кодов 10.1-2 и 11.1-2. При контроле головки рельса по эхо-методу наклонными ПЭП ($\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$) данный дефект (точнее угол, образованный дефектом и выкружкой рабочей грани) озвучивается только однократно ($m=1$) отраженным ультразвуковым лучом. В связи с этим на развертке типа В могут быть сформированы две принятые пачки сигналов: «наезжающим» и «отъезжающим» ПЭП, имеющие задержку (посередине пачки) порядка $t_c=65-80$ мкс.

Что же касается поперечных трещин, расположенных в центральной части головки рельса (дефекты кодов 24.1-2,

25.1-2 и 27.1-2), то при их озвучивании по схеме «РОМБ» формируются пачки сигналов, имеющие задержку порядка $t_c=100$ мкс (по «наезжающему» и по «отъезжающему» ПЭП).

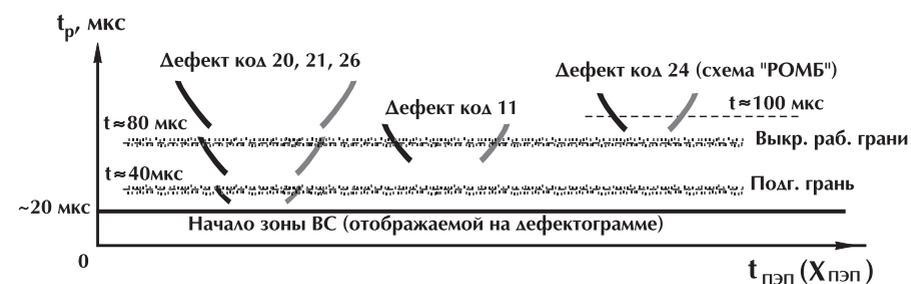


Рис. 5.1. Отображение сигналов от дефектов второй группы на В-развертке

Если поперечные трещины в головке рельса (дефекты кодов 20 и 21) имеют значительный размер (перекрывают проекцию шейки), то при контроле данного участка рельса прямым ПЭП может иметь место ослабление донного сигнала и, как следствие – разрыв линии ДС, что является дополнительным признаком наличия дефекта.

5.3. Формирование сигналов от продольных трещин в головке рельса (дефекты кодов 30В.1-2 и 30Г.1-2)

Необходимо отметить, что обнаружение продольных трещин в головке рельса наклонными ПЭП эхо-методом контроля затруднено. Однако при озвучивании продольных трещин кодов 30В и 30Г наклонными ПЭП ($\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$) могут быть приняты сигналы, отраженные от краев трещин (точки 1 и 2 на рис. 5.2а). Данные сигналы возникают при озвучивании прямым, одно- и, реже, двукратно отраженными лучами (рис. 5.2б). Как правило, амплитуда этих сигналов значи-



тельно меньше, чем при озвучивании поперечных трещин.

При наличии на дефектограмме двух параллельных пачек сигналов, полученных при озвучивании дефекта одним и тем же лучом (прямым или n-кратно отраженным) можно оценить реальный размер дефекта как расстояние между его краями L_d (рис. 5.2б).

При озвучивании дефекта кода 30В, расположенного вблизи продольной оси рельса (в пределах ± 5 мм) прямым ПЭП, может иметь место ослабление донного сигнала и, как следствие – прерывание линии донного сигнала.

При озвучивании дефекта кода 30Г, находящегося в зоне проекции шейки рельса, прямым ПЭП на развертке типа В формируются горизонтальные пачки эхо-сигналов от дефекта и происходит прерывание линии донного сигнала на дефектном участке (рис. 5.3).

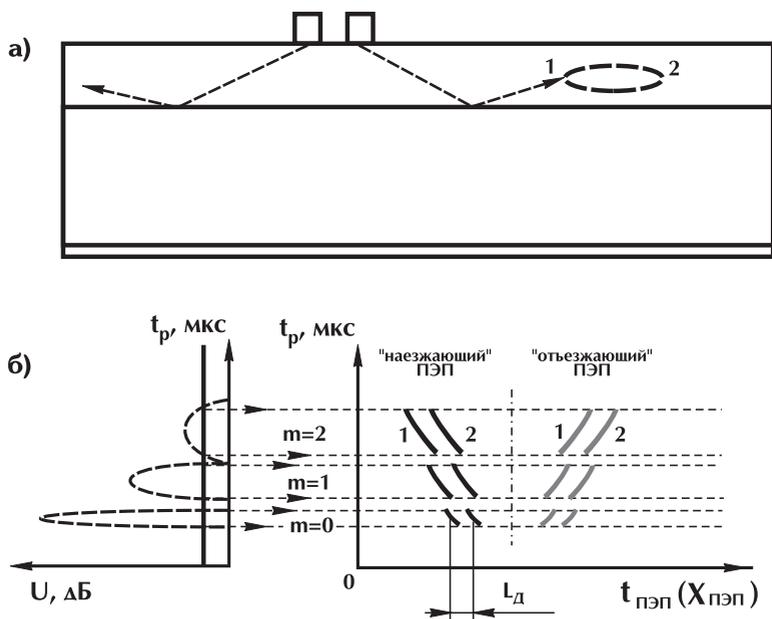


Рис. 5.2. Отображение эхо-сигналов от дефектов кодов 30В.1-2 и 30Г.1-2 на развертке типа В ($\alpha=58^\circ, \gamma=34^\circ$)



Глубина залегания дефекта может быть весьма точно измерена как расстояние между любыми двумя соседними пачками или рассчитана по выражению (5.1):

$$h_d = h_\Sigma / (n - 1), \quad (5.1)$$

где h_Σ – суммарное расстояние между несколькими пачками сигналов;

n – количество пачек сигналов от дефекта.

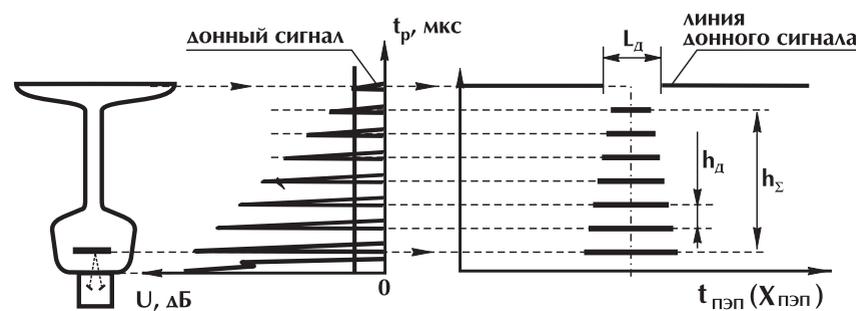


Рис. 5.3. Отображение сигналов от дефекта кода 30Г.1-2 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП

5.4. Формирование сигналов от продольных трещин в зоне сопряжения головки и шейки (дефекты кода 52.1-2)

При озвучивании продольных трещин в зоне сопряжения головки с шейкой рельса (код 52.2) наклонными ПЭП $\alpha=38^\circ - 45^\circ$, как правило, принимаются сигналы, отраженные только от краев трещины (точки 1 и 2 на рис. 5.4а). Если поверхность дефекта диффузная, имеют место отражения и от точек на поверхности дефекта (точка 3 на рис. 5.4а). При наличии на дефектограмме двух параллельных пачек сигналов от краев дефекта можно оценить реальный размер дефекта L_d как расстояние между его краями.

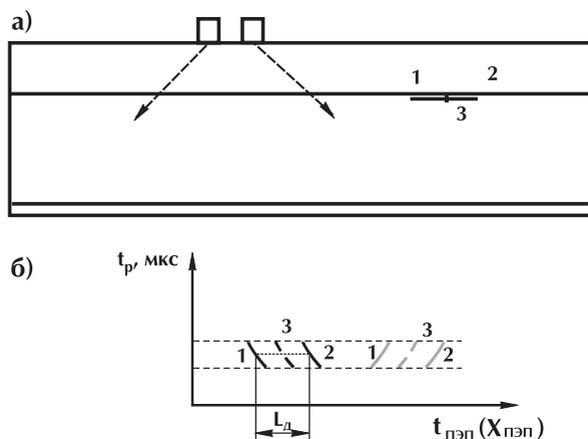


Рис. 5.4. Отображение сигналов от дефекта кода 52.2 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

При озвучивании наклонным ПЭП дефекта кода 52.1 (трещина от торца рельса) образуется угловой отражатель, и размер пачки 2 на рис. 5.4 может быть значительно большим, чем размер пачки 1.

При контроле участка рельса с дефектом кода 52.1-2 прямым ПЭП на В-развертке формируются горизонтальные пачки эхо-сигналов, вызванные многократными отражениями ультразвуковых колебаний от плоскости дефекта и появляется прерывание линии донного сигнала на дефектном участке (рис. 5.5).

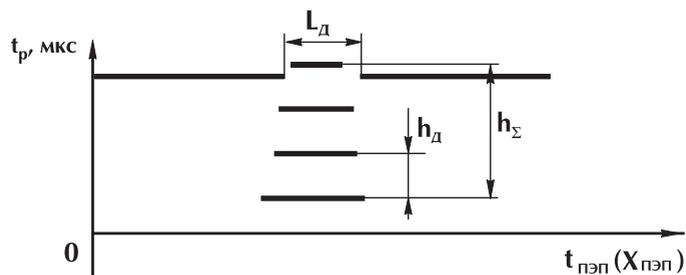


Рис. 5.5. Отображение сигналов от дефекта кода 52.1-2 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП

Глубина залегания дефекта может быть измерена как расстояние между любыми двумя соседними пачками или рассчитана по выражению (5.1). В отдельных случаях (при диффузной поверхности плоскости трещины) возможно формирование только одной пачки сигналов (одной горизонтальной линии) и соответствующего пропадания донного сигнала над дефектом.

5.5. Формирование сигналов от продольных трещин в шейке рельса (дефекты кода 55.1-2)

В данном разделе рассмотрены принципы формирования дефектограмм для дефектов кода 55.1-2, имеющих различную ориентацию: параллельно поверхности катания головки рельса (вариант «а») и под наклоном к ней, но не перпендикулярно акустической оси ПЭП (вариант «б»). В первом случае дефект отображается аналогично дефекту кода 52, с той лишь разницей, что при озвучивании участка рельса с дефектом кода 55 наклонными ПЭП ($\alpha=38^\circ - 45^\circ$) пачки сигналов расположены дальше от начала координат (линии ЗИ), так как у него больше глубина залегания, чем у дефекта кода 52 (рис. 5.6).

При озвучивании участка рельса с горизонтальным дефектом в шейке рельса (кода 55) прямым ПЭП на развертке типа В формируются одна-две горизонтальные пачки эхо-сигналов и происходит прерывание линии донного сигнала. При этом расположение пачек эхо-сигналов зависит от глубины залегания дефекта (рис. 5.7).

В случае, когда дефект кода 55 имеет наклонную ориентацию (рис. 5.6 б), при его озвучивании наклонными ПЭП ($\alpha=38^\circ - 45^\circ$) формируются пачки сигналов от краев дефекта и запись его на развертке типа В имеет вид, изображенный на рис. 5.8. Производить оценку реального размера такого дефекта нельзя, так как в этом случае измеряется лишь его проекция на поверхность сканирования.

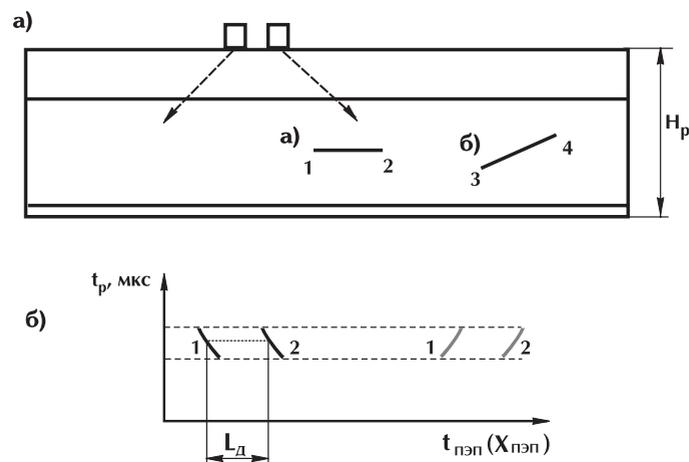


Рис. 5.6. Отображение сигналов от горизонтального дефекта кода 55.1-2 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

При озвучивании наклонного дефекта (кода 55.1-2) прямым ПЭП на В-развертке формируются пачки сигналов от его краев и присутствует прерывание линии донного сигнала, как показано на рис. 5.9.

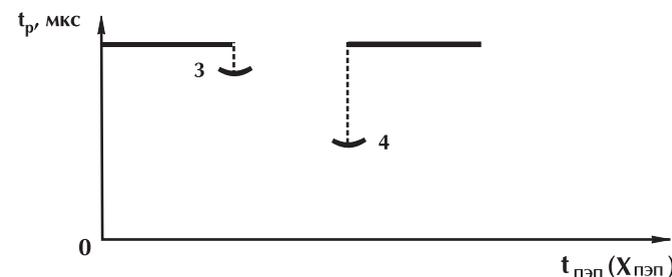


Рис. 5.9. Отображение сигналов от наклонного дефекта кода 55.1-2 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП ($\alpha=0^\circ$)

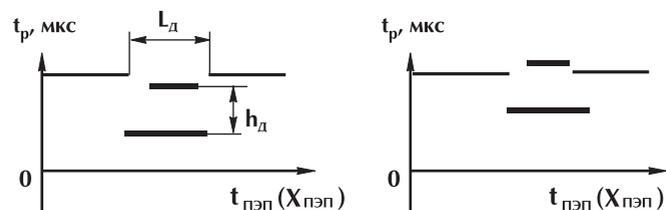


Рис. 5.7. Отображение сигналов от горизонтального дефекта кода 55.1-2 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП: а) $h_d < 0.5H_{\text{рельс}}$; б) $h_d > 0.5H_{\text{рельс}}$

5.6. Отображение сигналов от дефектов в виде расслоения шейки рельса (дефекты кода 50.1-2)

При озвучивании вертикального расслоения шейки рельса (дефект кода 50) наклонными ПЭП ($\alpha=38^\circ - 45^\circ$) могут быть сформированы пачки эхо-сигналов от верхнего края дефекта (рис. 5.10). При озвучивании прямым ПЭП также может формироваться пачка сигналов от данного отражателя и наблюдается прерывание линии донного сигнала (рис. 5.11). Необходимо отметить, что в целом данный дефект эхо-методом обнаруживается весьма ненадежно и вполне возможно, что единственным признаком наличия дефекта при ультразвуковом контроле будет являться ослабление донного сигнала над дефектом.

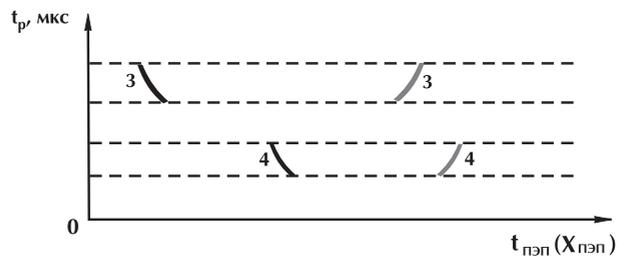


Рис. 5.8. Отображение наклонной трещины кода 55.1-2 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

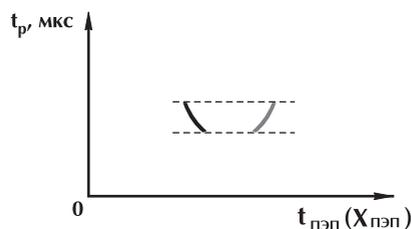
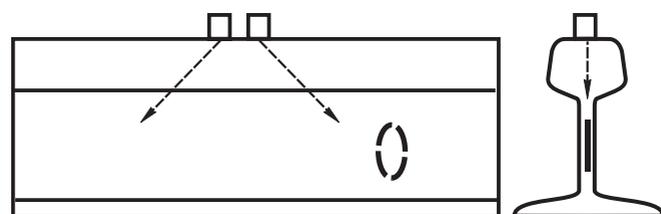


Рис. 5.10. Отображение сигналов от дефекта кода 50.1-2 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

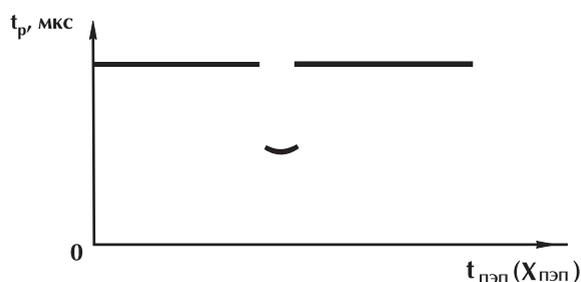


Рис. 5.11. Отображение сигналов от дефекта кода 50.1-2 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП ($\alpha=0^\circ$)

5.7. Обнаружение дефектов шейки рельса в зоне сварного соединения (дефекты кода 56.3)

Как показывает практика, трещина в шейке рельса в зоне сварного стыка (дефект кода 56.3) может иметь различную ориентацию. В случаях, когда трещина горизонтальная или наклонена под некоторым углом к поверхности катания, при озвучивании наклонными ПЭП ($\alpha=38^\circ - 45^\circ$) на развертке

типа В она отобразится аналогично дефекту кода 55 соответствующей ориентации (см. п. 5.5). В случае, когда трещина развивается вертикально, при контроле зоны сварного стыка указанными выше ПЭП на дефектограмме могут быть сформированы пачки сигналов, отраженные только от кромок дефекта: нижней (точка 1) и верхней (точка 2), как показано на рис. 5.12.

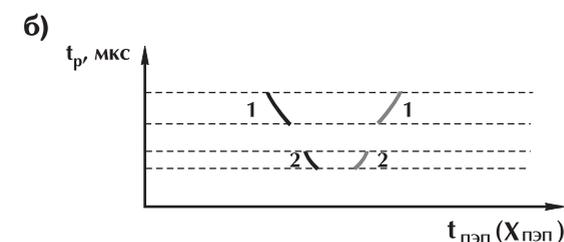
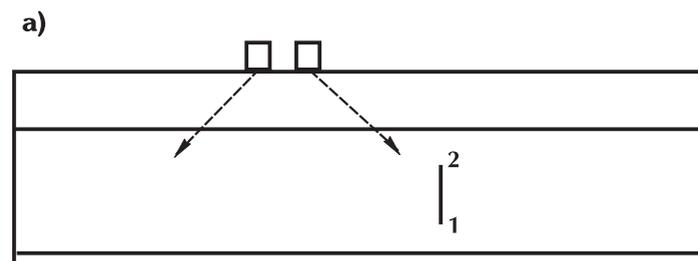


Рис. 5.12. Отображение сигналов от вертикального дефекта кода 56.3 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

5.8. Формирование сигналов от радиальных трещин болтовых отверстий (дефекты кода 53.1)

В данном разделе рассмотрен принцип отображения на развертке типа В дефекта кода 53.1, направленного вправо вверх относительно болтового отверстия при озвучивании его «наезжающим» ПЭП с $\alpha=38^\circ - 45^\circ$ (рис. 5.13).

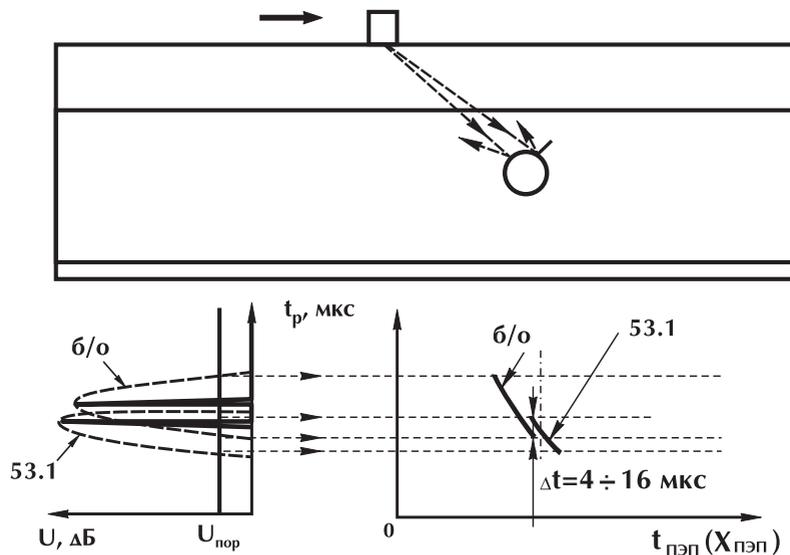


Рис. 5.13. Отображение сигналов от дефекта в виде радиальной трещины от стенки болтового отверстия (код 53.1) на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

По мере перемещения ПЭП по рельсу (движение слева направо) ультразвуковой пучок озвучивает первой стенку болтового отверстия. Амплитуда эхо-сигнала сначала растет, достигает максимума, а затем начинает уменьшаться. При этом, когда амплитуда сигнала от отверстия уменьшится на определенную величину относительно своего максимального значения, в какой-то момент ультразвуковой пучок начнет прозвучивать угол, образованный поверхностью трещины и стенкой болтового отверстия. Амплитуда эхо-сигнала от угла практически сразу достигнет своего максимума, а затем начнет плавно уменьшаться.

На развертке типа В указанные сигналы отобразятся в виде наклонных пачек: от болтового отверстия и от угла, образованного плоскостью трещины и стенкой болтового отверстия. Временной интервал между пачками сигналов при

принятых в практике углах ввода ультразвуковых колебаний для отечественных рельсов находится в пределах $\Delta t = 4 \dots 16$ мкс. Сигналы от дефекта кода 53.1 всегда находятся дальше от зондирующего импульса, чем сигналы от болтового отверстия, так как путь ультразвука от точки выхода луча ПЭП до угла, образованного дефектом и стенкой отверстия, всегда больше, чем путь до отражающего в этот момент участка стенки болтового отверстия.

При озвучивании дефекта кода 53.1 прямым ПЭП формируются две пачки сигналов: от болтового отверстия и от угла, образованного трещиной и стенкой отверстия (рис. 5.14). Кроме этого, в зоне проекции болтового отверстия и дефекта имеет место ослабление донного сигнала и, как следствие, прерывание линии донного сигнала. При этом, если дефект выходит за проекцию болтового отверстия, длительность прерывания линии донного сигнала будет больше, чем на бездефектном отверстии, что также является дополнительным признаком обнаружения дефекта.

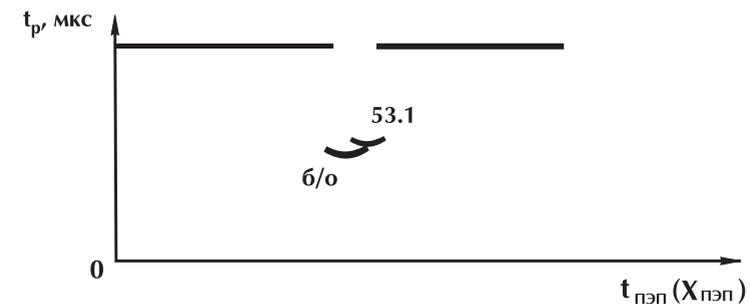


Рис. 5.14. Отображение сигналов от дефекта кода 53.1 на развертке типа В при контроле прямым ПЭП ($\alpha = 0^\circ$)

Ниже приводится отображение сигналов от дефектов кода 53.1 различной ориентации на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП с $\alpha = 38^\circ - 45^\circ$ (рис. 5.15).

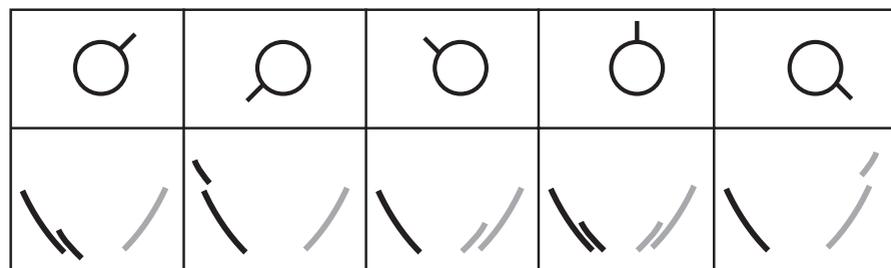


Рис. 5.15. Отображение сигналов от дефектов кода 53.1 различной ориентации на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП

5.9. Формирование сигналов от поперечных трещин в подошве рельса (дефекты кода 69)

При озвучивании поперечных дефектов коррозионного происхождения в зоне проекции шейки рельса (дефект кода 69) наклонными ПЭП ($\alpha=38^\circ - 45^\circ$) формируются пачки сигналов от угла, образованного плоскостью дефекта и нижней поверхностью подошвы рельса (рис. 5.16). Кроме этого иногда, особенно в сырую погоду, возможно возникновение сигналов от шпальных подкладок. При этом на развертке типа В сигналы от подкладок отображаются дальше, чем от дефекта (так как путь ультразвука в этом случае больше) и расстояние между пачками сигналов будет больше, так как в этом случае ультразвук отражается не от одной точки (как у дефекта кода 69), а от разных торцов подкладки.

Хорошим ориентиром для идентификации дефекта кода 69 является отражение от нижнего угла, образованного подошвой и торцом рельса, в зоне болтового стыка.

Кроме того, сигналы от шпальных подкладок можно весьма эффективно распознать, используя вспомогательную опцию некоторых программ отображения (в частности – регистраторов РИ-01 дефектоскопов АВИКОН-01) «Сведение в

единое сечение», когда пачки сигналов от шпальных подкладок будут располагаться на разных координатах и как бы заходить друг за друга (рис. 5.17). Пачки же сигналов, вызванные отражениями от поперечных трещин в подошве рельса при сведении отобразятся на одной путевой координате (рис. 5.18).

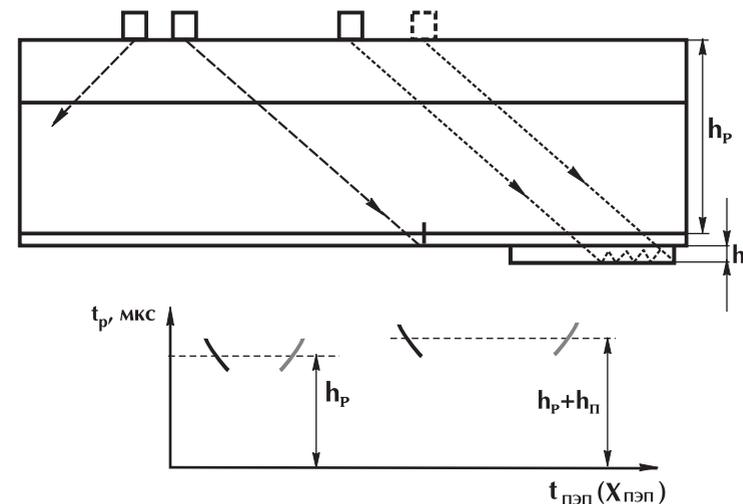


Рис. 5.16. Отображение сигналов от дефекта кода 69.1-2 на В-развертке при контроле наклонными ПЭП

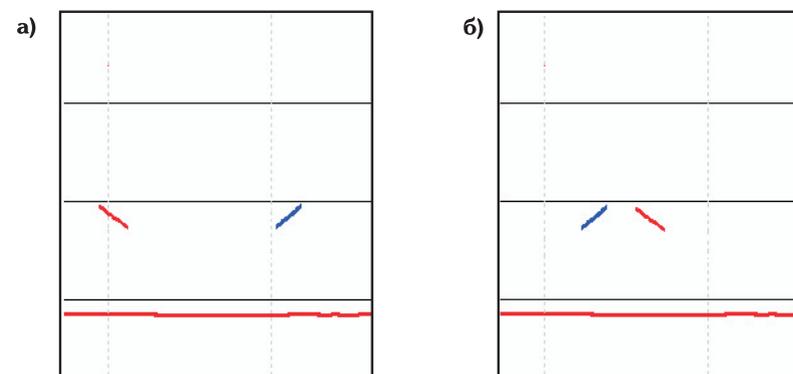


Рис. 5.17. Отображение сигналов от шпальной подкладки на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП: а) без сведения сигналов в единое сечение и б) при сведении

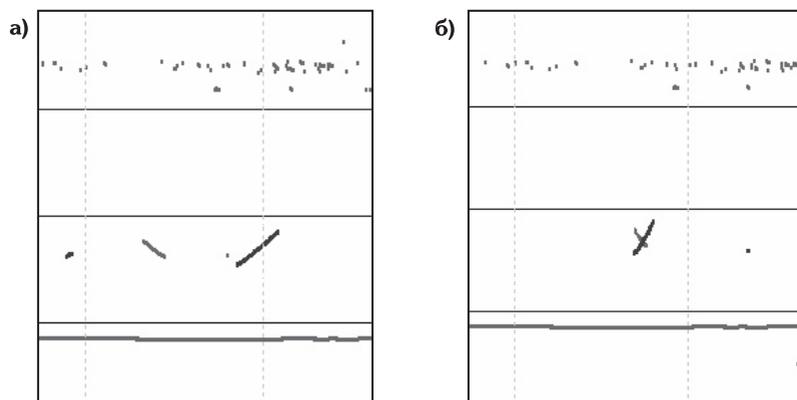


Рис. 5.18. Отображение сигналов от дефекта кода 69.1-2 на развертке типа В при контроле наклонными ПЭП: а) без сведения сигналов в единое сечение и б) при сведении

6. Принципы расшифровки дефектограмм

6.1. Этапы расшифровки

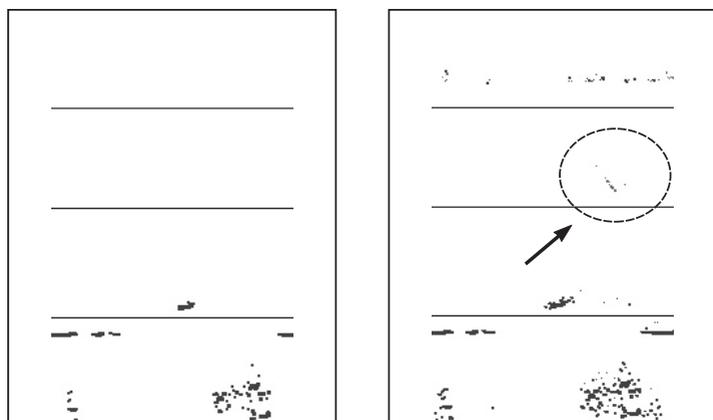
Расшифровка дефектограмм ультразвукового контроля представляет собой процесс, состоящий из нескольких этапов. В настоящем разделе рассмотрены этапы расшифровки, а также даны некоторые практические рекомендации по анализу дефектограмм.

Расшифровка дефектограмм включает в себя следующие этапы:

1) Поиск дефектоподобных пачек сигналов.

На данном этапе расшифровки следует учитывать, что оператор дефектоскопа, осуществляя сплошной контроль рельсов в пути, практически (по звуковой индикации) может зафиксировать только те сигналы, которые попали в строб-импульс, и их амплитуда превышает порог срабатывания 0 дБ. Расшифровщик дефектограмм имеет возможность анализировать зарегистрированные сигналы при чувствительности в два раза большей – на пороге отображения минус 6 дБ и в более широком временном диапазоне.

Сплошной анализ сигналов рекомендуется осуществлять на пороге отображения сигналов, равном минус 6 дБ, поскольку при этом обеспечивается достаточно высокая чувствительность и относительно низкий уровень шумов. На рис. 6.1. приведен фрагмент дефектограммы сканирования рельса с поверхностным повреждением головки и поперечной трещиной под ним. Опасный дефект выявлен благодаря анализу сигналов при пороге отображения минус 6 дБ. Оператор дефектоскопа в пути без анализа с помощью ручного ПЭП мог бы пропустить такую трещину.



Порог отображения: 0 дБ

Порог отображения: -6 дБ

Рис. 6.1. Иллюстрация выявления поперечной трещины, развившейся под поверхностным расслоением головки рельса каналом, реализующим эхо-метод контроля ($\alpha=70^\circ$)

При анализе же «шумящих» рельсов или при наличии множества помех для исключения пропуска опасных дефектов, замаскированных шумами, целесообразно осуществлять анализ сигналов при пороге отображения В-развертки 0 дБ и выше.

Некоторые программы отображения (программное обеспечение ИПБ-01, программа дефектоскопа АВИКОН-11) имеют функцию автоматического выделения значимых участков для акцентирования внимания расшифровщика на дефектоподобных пачках сигналов. Такие участки отображаются непосредственно на дефектограмме. Эта функция является элементом полуавтоматической расшифровки и позволяет сократить время, затрачиваемое на сплошной анализ сигналов.

2) Оценка найденных пачек сигналов

Включает в себя:

- определение глубины залегания отражателя h_d (или времени задержки сигнала для каналов контроля го-

ловки по эхо-методу ПЭП с $\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$ в программе отображения регистратора РИ-01 дефектоскопа АВИКОН-01);

- определение условных размеров отражателя: условного размера дефекта по длине рельса (условной протяженности) ΔL и условной высоты ΔH . Условная ширина дефекта ΔX при этом не измеряется, так как в процессе сплошного и скоростного контроля сканирование искательной системой производится только в плоскости падения луча (вдоль рельса по его длине);
- определение коэффициента выявляемости дефекта K_d (только для регистраторов с многоуровневой регистрацией).

3) Оценка исследуемого сечения рельса по результатам контроля другими дефектоскопическими каналами.

4) Просмотр дефектограмм предыдущих проездов (до 2-х, 3-х) по данному участку рельса с целью сравнения результатов контроля. При наличии на записи В-развертки признаков явного дефекта (характерные для дефектов пачки эхо-сигналов в нескольких каналах, большая величина условных размеров пачек и амплитуд отсчетов) необходимо обязательно сравнить дефектограммы данного участка пути в текущем и предыдущих проездах. Если на дефектограммах имеются явные признаки дефекта или наблюдается рост условных размеров пачек, необходимо распечатать ведомость контроля и передать ее начальнику участка дефектоскопии ПЧ для принятия соответствующих мер.

5) Просмотр сигналов на дефектограмме другой нитки пути на данной путевой координате. Наличие идентичных пачек сигналов одновременно на обеих нитках пути свидетельствует о присутствии в рельсах однотипных поверхностных отражателей, таких как пробуксовка, не снятый валик в зоне сварного стыка и других.



6.2. Некоторые практические рекомендации по анализу дефектограмм

6.2.1. Рекомендуемый масштаб экрана:

- 1) При анализе «подозрительного» сечения и болтовых стыков – 5 м/экран.
- 2) При поиске дефектов на звеньевом пути – 5 м/экран.
- 3) При поиске дефектов на бесстыковом пути – 20 – 30 м/экран.

Строго говоря, количество метров, отображающихся на экране, зависит от установленной величины разрешения монитора. Например, если разрешение составляет 1024 x 768 при масштабе 5 мм/точку, то на экране «помещается» 3,9 м, а при разрешении 1280 x 1024 – 5,2 м.

Дополнительно к изменению масштаба по горизонтали целесообразно (при наличии возможности в программе отображения) отдельную дорожку дефектограммы с анализируемыми сигналами раскрыть на весь экран, т.е. увеличить масштаб по вертикали. Эта функция является полезной для анализа отдельных пачек сигналов и измерения их параметров.

6.2.2. При расшифровке дефектограмм особое внимание следует обращать на участки, где производилось движение дефектоскопной тележкой «вперед-назад». Наличие указанного признака свидетельствует о том, что у оператора, производившего контроль съемным дефектоскопом, имели место подозрения по дефектности данного участка рельса. Также следует акцентировать внимание на результаты сканирования дефектных мест ручными ПЭП, оценивая затраченное время, качество его проведения и другие действия оператора дефектоскопа.

6.2.3. При подозрении на дефект кода 53.1 следует:

- 1) Измерять временной интервал по вертикали в микросекундах между пачками сигналов болтового отверстия и от угла, образованного стенкой отверстия и плоскостью трещины (рис. 6.2):

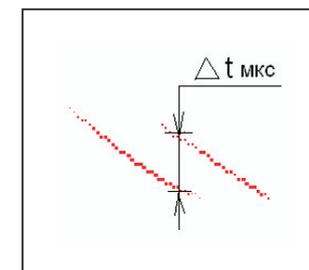


Рис. 6.2. Способ измерения временного интервала между пачками сигналов при подозрении на дефект кода 53.1

Указанный интервал должен лежать в пределах $\Delta t = 4...16$ мкс;

2) Обращать внимание на длительность пропадания донного сигнала в зоне болтовых отверстий и стыкового зазора.

3) Проанализировать взаимное расположение обеих пачек сигналов по вертикали и горизонтали для того, чтобы отличить пачку от ОДР от пачки из-за «притертости» болта.

Примеры характерных пачек сигналов от трещин болтовых отверстий и «притертости» болтов изображены на рис. 6.3.

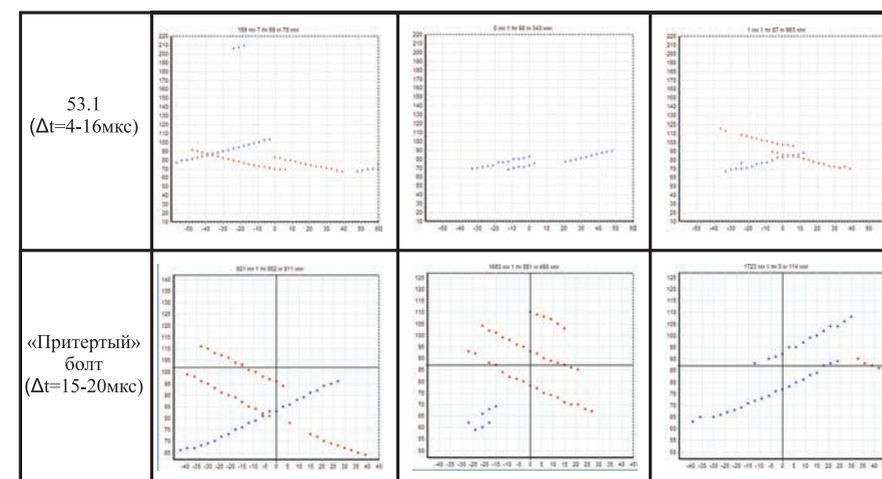


Рис. 6.3. Примеры пачек сигналов болтовых отверстий с трещинами и «притертых» болтов



В процессе расшифровки при обнаружении сигналов, которые вызывают определенные подозрения и трудности в оценке степени опасности дефекта, целесообразно занести соответствующую отметку в «электронный блокнот». В дальнейшем, при необходимости, расшифровщик может быстро вернуться на данную отметку.

Если в процессе расшифровки зафиксированы сигналы от опасных дефектов или же наблюдается рост размеров пачек сигналов относительно предыдущих проходов дефектоскопа, а также, если возникают затруднения в оценке степени опасности дефекта, необходимо распечатать ведомость для проведения натурального осмотра участка.

При расшифровке следует руководствоваться действующими нормативными документами ОАО «РЖД» по обработке дефектограмм съемных средств дефектоскопии с регистраторами:

— Указание С-795у от 03.09.02 «Временное положение по организации использования съемных двухниточных дефектоскопов с регистраторами»;

— Указание СИ-2592 от 24.03.04 и другие нормативные документы (телеграммы) ОАО «РЖД».

6.3. Определение измеряемых характеристик отражателей по развертке типа В

6.3.1. Определение условных размеров и глубины залегания дефектов

Как рассмотрено в разделе 3 настоящего Практического пособия, по развертке типа В возможно определение таких измеряемых характеристик отражателей, как глубина залегания дефекта h_d и его условные размеры. Следует отметить, что при сплошном контроле рельсов съемными и мобильными средствами определению подлежат только два из трех ти-

пов условных размеров: условная протяженность (условный размер дефекта по длине рельса) ΔL и условная высота ΔH . Условная ширина дефекта ΔX в этом случае не определяется, так как при сплошном контроле рельсов сканирование производится только в плоскости падения луча. Для измерения же ΔX необходимо, чтобы сканирование производилось в плоскости, перпендикулярной плоскости падения.

Принципы определения глубины залегания дефекта и его условных размеров ΔL и ΔH при прямом и наклонном вводе ультразвука при **однопороговой регистрации сигналов контроля** рассмотрены в п.п. 3.2 и 3.3 и проиллюстрированы на рис. 3.2 и 3.3 соответственно. Видно, что глубина залегания дефекта измеряется по времени задержки сигнала, расположенного в центре пачки. При этом предполагается, что данный сигнал является максимальным. Строго говоря, максимальный сигнал от отражателя находится в центре пачки только тогда, когда отражатель является ненаправленным. В других случаях сигнал от дефекта может располагаться и с некоторым смещением относительно центра пачки. Но при однопороговой регистрации информации определить максимальный сигнал не представляется возможным, поэтому, как указано выше, при определении глубины залегания дефекта предполагают, что он расположен в центре пачки.

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируются средства контроля, отображающие принимаемые сигналы на нескольких амплитудных уровнях, то есть реализующие так называемую многоуровневую регистрацию информации. Последняя, в свою очередь, предоставляет возможность точного определения глубины залегания дефекта по максимальному сигналу путем выделения последнего из пачки переключением амплитудных уровней отображения сигналов, реализованных в соответствующем программном обеспечении средства регистрации (рис. 6.4).

Амплитудные уровни отображения сигналов [дБ]	-6	0	+3	+6	+9	+12	+15	+18
Пачка сигналов								

Рис. 6.4. Способ определения максимального сигнала в пачке, отображаемого в виде развертки типа В в программе регистратора РИ-01 дефектоскопа АВИКОН-01

6.3.2. Определение коэффициента выявляемости дефекта

В процессе расшифровки дефектограмм, так же как и при сплошном контроле рельсов в пути съёмными средствами или ручной проверке отдельных сечений и сварных стыков, является целесообразным определение коэффициента выявляемости отражателей (дефектов) K_d . Данный коэффициент определяется выражением:

$$K_d = N_d - N_0, \quad (6.1)$$

где N_d – амплитуда эхо-сигнала от дефекта, приведенная к пороговому уровню дефектоскопа, [дБ].

N_0 – амплитуда эхо-сигнала от эталонного отражателя, приведенная к пороговому уровню дефектоскопа, [дБ].

Физический смысл K_d состоит в том, что он показывает, насколько амплитуда эхо-сигнала от дефекта больше (или меньше) амплитуды эхо-сигнала от эталонного отражателя, то есть позволяет оценить отражающие свойства дефекта, сравнить их с эталонным отражателем, по которому производилась настройка чувствительности дефектоскопа.

Из выражения (6.1) следует, что если $K_d < 0$, то $N_d < N_0$ и наоборот, если $K_d > 0$, то $N_d > N_0$.

Кроме того, K_d может быть определен и по выражению:

$$K_d = N - K_y^{тек}, \quad (6.2)$$

где N – превышение амплитудой эхо-сигнала порогового уровня дефектоскопа;

$K_y^{тек}$ – текущее значение условной чувствительности дефектоскопа (в момент определения K_d).

Из выражений (6.1) и (6.2) видно, что для определения K_d необходима информация об амплитуде сигнала от дефекта, приведенной к пороговому уровню дефектоскопа (N_d), или о значении превышения амплитудой эхо-сигнала порогового уровня дефектоскопа (N). Следовательно, определение K_d для сигналов, представленных в виде развертки типа В, при расшифровке дефектограмм может иметь место только в случае многоуровневой регистрации информации (в частности, в дефектоскопах АВИКОН-01МР и АВИКОН-11).

При этом сама процедура измерения K_d непосредственно по дефектограмме производится в соответствии с (6.2) и выглядит следующим образом:

1) запомнить текущее значение условной чувствительности дефектоскопа $K_y^{тек}$ (индицируется в одном из информационных полей программы отображения);

2) определить значение превышения амплитудой эхо-сигнала порогового уровня дефектоскопа N , для чего необходимо:

- переключая амплитудные уровни отображения информации, установить максимальный (последний) уровень, при котором сигнал еще присутствует на дефектограмме (рис. 6.4);

- запомнить значение данного амплитудного уровня, которое будет соответствовать величине превышения амплитудой эхо-сигнала порогового уровня дефектоскопа N ;

3) определить коэффициент выявляемости дефекта по выражению (6.2).

6.4. Примеры записей сигналов от моделей и реальных дефектов

В данном разделе приведены иллюстрации сигналов от искусственных и реальных дефектов рельсов аттестованного контрольного тупика Дорожной лаборатории дефектоскопии Октябрьской железной дороги. Контроль рельсов проводился дефектоскопом АВИКОН-11. Схема отображения сигналов для каждого канала контроля в оригинальной программе отображения приведена на рис. 6.5. Участки дефектограмм представлены не в виде обычной В-развертки, а в режиме «сведения» ПЭП к центру искательной системы.



Рис. 6.5. Структура отображения сигналов каналов контроля дефектоскопа АВИКОН-11. Дефектограмма болтового стыка

1. Сверление диаметром $d=4,5$ мм на глубину $h=10$ мм в центре головки со стороны рабочей грани (рис. 6.6). Выявлено «наезжающим» и «отъезжающим» ПЭП (с углом ввода $\alpha = 58^\circ$ и углом разворота $\gamma = 34^\circ$), реализующими эхо-метод контроля головки рельса, при однократном отражении от подголовочной грани. Глубина залегания отражателя по дефектограмме составляет $h_d = 50-58$ мкс.

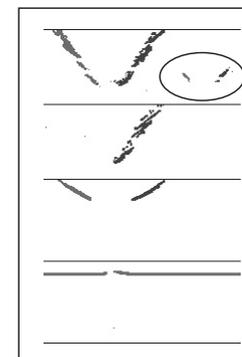
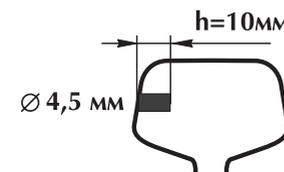


Рис. 6.6. Схема расположения цилиндрического сверления и сигналы от него на дефектограмме

2. Поперечный пропил высотой $h=15$ мм в нижней части головки рельса со стороны рабочей грани (рис. 6.7). Выявлен «наезжающим» и «отъезжающими» ПЭП ($\alpha = 58^\circ$, $\gamma = 34^\circ$), реализующими эхо- и зеркальный методы контроля головки рельса, при прямом и однократном отражении от подголовочной грани. Глубина залегания отражателя по наклонным эхо-каналам составляет $h_d = 41-51$ мкс.

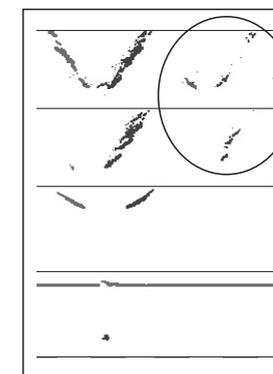


Рис. 6.7. Схема расположения пропила и сигналы от него на дефектограмме



3. Продольный дугообразный пропил длиной $L=45$ мм и глубиной $h=12$ мм с поверхности катания головки рельса (рис. 6.8). Зафиксирован прямым ПЭП и наклонными эхо-каналами контроля головки и шейки ($\alpha=58^\circ$, $\alpha=70^\circ$, $\alpha=42^\circ$) при прямом прозвучивании отражателя.

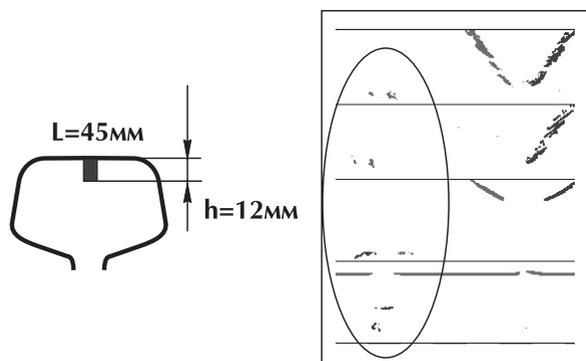


Рис. 6.8. Схема расположения пропила и сигналы от него на дефектограмме

4. Реальная поперечная трещина в центральной части головки рельса под поверхностным расслоением (рис. 6.9). Такие трещины наиболее эффективно выявляет наклонный ПЭП $\alpha=70^\circ$ при прямом отражении от поверхности трещины, а также ПЭП, работающие по схеме «РОМБ». На дефектограмме наблюдается пропадание линии донного сигнала, по которому можно судить о протяженности поверхностного расслоения, а также хаотические эхо-сигналы в прямом и наклонном канале ($\alpha=42^\circ$) из-за многократного переотражения ультразвука в толще пленки. Расположение пачки сигналов в канале ПЭП $\alpha=70^\circ$ соответствует 15-40 мкс.

5. Горизонтальный пропил длиной $L=20$ мм в месте перехода головки в шейку (рис. 6.10). Зафиксирован прямым ПЭП и наклонным «отъезжающим» ПЭП ($\alpha=42^\circ$). Про-

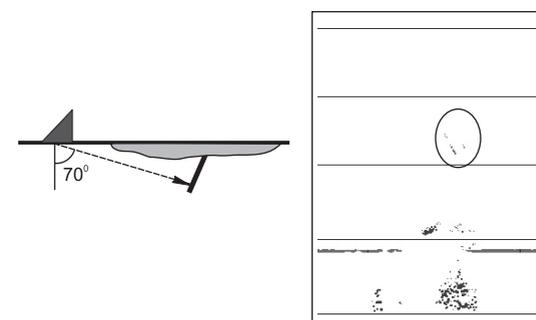


Рис. 6.9. Схема расположения дефекта и сигналы от него на дефектограмме

тяженность пропадания линии донного сигнала вместе со стыковым зазором составляет $\Delta L_{дс}=34$ мм, протяженности дефекта при измерении расстояния между двумя наклонными пачками эхо-сигналов в 42° -м канале и по длине пачки в прямом канале составила $L_{д}=20$ мм. Глубина залегания по наклонным пачкам $h_{д}=32$ мкс (37 мм) и $h_{д}=15$ мкс (45 мм) по прямому каналу.

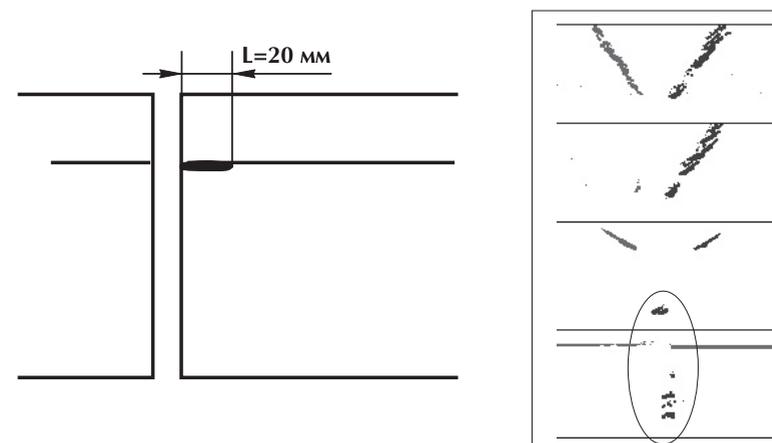


Рис. 6.10. Схема расположения пропила и сигналы от него на дефектограмме



6. Пропил в первом болтовом отверстии «принимающего» конца, ориентированный под углом 45° вверх и влево к торцу (рис. 6.11). Трещины такой ориентации фиксирует «отъезжающий» ПЭП ($\alpha = 42^\circ$). При его перемещении относительно стыка сначала формируется пачка сигналов от углового отражателя, образованного между стенкой болтового отверстия и трещиной (пачка слева на дефектограмме). Затем формируется пачка сигналов в результате прозвучивания верхней правой части стенки отверстия. Временной интервал между пачками по вертикали составляет $\Delta t = 13$ мкс. Протяженность пропадания донного сигнала $\Delta L_{\text{дс}} = 42$ мм, что на 11 мм больше, чем над бездефектным болтовым отверстием.

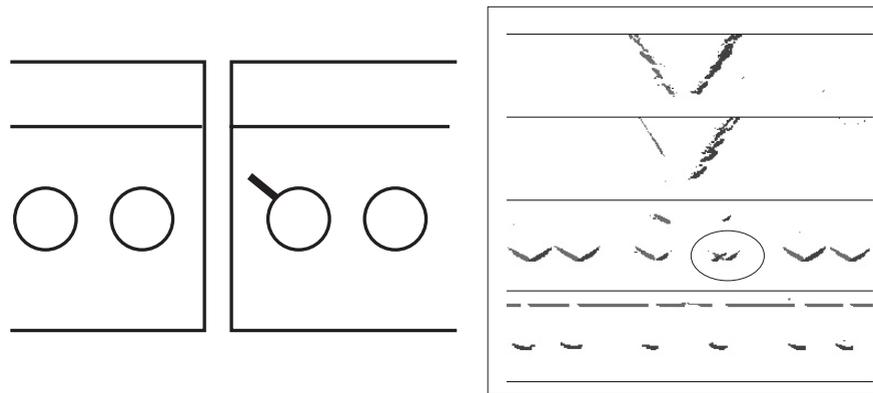


Рис. 6.11. Схема расположения пропила и сигналы от него на дефектограмме

7. Цилиндрическое сверление в шейке диаметром $d = 6$ мм и глубиной $L = 18$ мм (рис. 6.12). Выявлен наклонными ($\alpha = 42^\circ$) и прямым ПЭП. Глубина залегания: по наклонным пачкам $h_{\text{д}} = 72$ мкс (83 мм) и $h_{\text{д}} = 30$ мкс (90 мм) по прямому каналу.

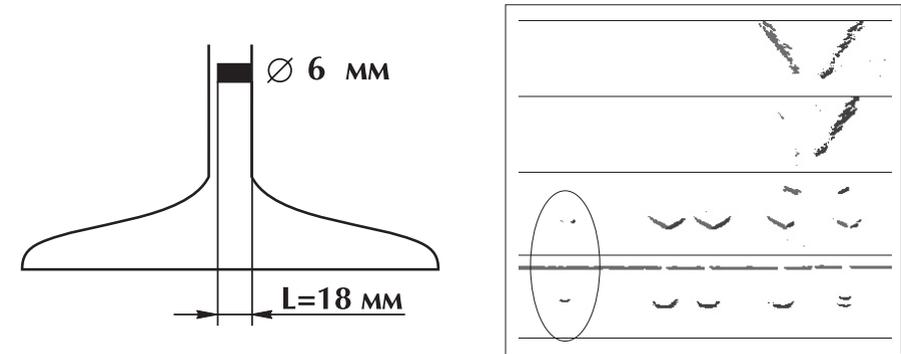


Рис. 6.12. Схема расположения цилиндрического сверления и сигналы от него на дефектограмме

8. Реальная трещина большого размера в сварном стыке в шейке рельса (рис. 6.13). Зафиксирована наклонными эхо-каналами контроля шейки (ПЭП $\alpha = 42^\circ$) и прямым ПЭП. Пачка сигналов в «отъезжающем» наклонном канале имеет протяженность 40-102 мкс (46-118 мм).

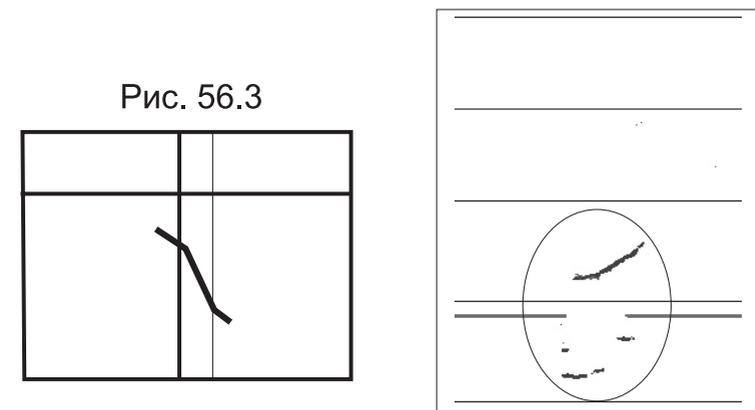


Рис. 6.13. Схема расположения дефекта в сварном шве и сигналы от него на дефектограмме



9. Вертикальное цилиндрическое сверление в подошве рельса диаметром $d=6$ мм глубиной $L=8$ мм (рис. 6.14). Выявлен наклонными ПЭП $\alpha = 42^\circ$. Надежным ориентиром для обнаружения дефектов в подошве рельсов являются пачки сигналов в зоне стыка от углов, образованных между торцами рельса и подошвой. Пачки сигналов от дефектов в подошве располагаются примерно на одном уровне с ними. Расположение пачек: $h_d = 140-160$ мкс.

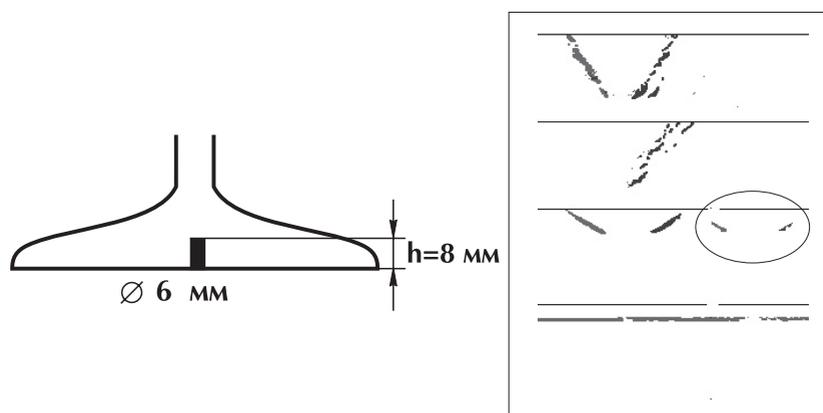


Рис. 6.14. Схема расположения цилиндрического сверления и сигналы от него на дефектограмме

Как видно из приведенных примеров (рис. 6.6 – 6.14), представление сигналов на развертке типа В во многих случаях позволяет весьма объективно и с достаточной на практике точностью определять расположение, конфигурацию и измеряемые параметры отражателей (дефектов).

7. Особенности применения развертки типа В при контроле сварных стыков рельсов портативными дефектоскопами

7.1. Предварительные замечания

В настоящее время при проведении проверки сварных стыков рельсов на РСП и в пути портативными дефектоскопами отсутствует объективное подтверждение самого факта контроля, а также параметров и результатов последнего, что в ряде случаев весьма негативно сказывается на качестве контроля.

В связи с этим в рельсовую дефектоскопию внедряется новая на данный момент технология протоколирования факта выполнения и результатов контроля каждого сварного стыка на повышенной (относительно номинальной) чувствительности вне зависимости от того, был ли обнаружен дефект в стыке или нет. В основу данной технологии положена идея, согласно которой, если в стыке дефект отсутствует, то на дефектограмме отобразятся структурные шумы металла рельса в зоне сварки. На развертке типа В они будут представлены в виде хаотично расположенных точек. При наличии же дефекта на фоне шумов отобразится четкая пачка сигналов от него (рис. 7.1).

Применение рассмотренной технологии позволит документально подтвердить факт контроля сварного стыка и отсутствие значительных по размеру дефектов на момент проверки стыка в той области сечения рельса, в которой производилось сканирование с записью сигналов на повышенной чувствительности.

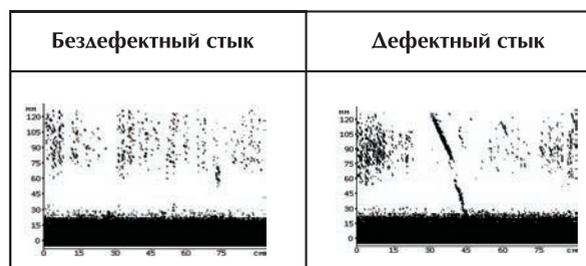


Рис. 7.1. Пример отображения сигналов в виде развертки типа В при сканировании сварного стыка по поверхности катания головки рельса над шейкой при условной чувствительности, увеличенной на 12 дБ относительно номинального значения

7.2. Порядок протоколирования результатов контроля

Ультразвуковой контроль сварных стыков рельсов производится по типовой методике в соответствии с «Технологической инструкцией по ультразвуковому контролю сварных стыков рельсов в рельсосварочных предприятиях и в пути» (ТИ 07.42-2004). Для сварных стыков рельсов, выполненных ПРСМ, необходимо действовать в соответствии с «Временными инструктивными указаниями по ультразвуковому контролю сварных стыков рельсов, выполненных ПРСМ, с получением объективного документа контроля», утвержденными Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 12 декабря 2005 года.

После завершения контроля каждого сварного стыка проводится дополнительное сканирование на повышенной чувствительности с фиксацией сигналов контроля на развертке типа В. При этом формируется документ (протокол), подтверждающий факт проведения контроля. Чувствительность дефектоскопа при дополнительном сканировании

устанавливается исходя из условия получения структурных шумов металла в зоне сварки.

При протоколировании факта контроля сканирование выполняется по поверхности катания головки рельса строго над шейкой. Перед началом перемещения пьезоэлектрический преобразователь устанавливается на расстояние, равное ≈ 250 мм от середины стыка. В процессе сканирования ПЭП перемещается на расстояние ≈ 25 мм за стык.

При этом происходит запись сигналов контроля зоны стыка по всей высоте рельса (в зоне шейки и ее продолжения в головку и подошву).

Для более полного протоколирования сигналов контроля осуществляется их запись при сканировании по:

- боковым поверхностям головки рельса (или одной из них). Перед началом сканирования ПЭП устанавливается на расстоянии, равном ≈ 100 мм от середины стыка. В процессе сканирования ПЭП перемещается на расстояние, равное ≈ 200 мм;

- верхним поверхностям перьев подошвы рельса. В процессе сканирования ПЭП разворачивают в сторону шейки рельса на угол $15^\circ - 25^\circ$. Перед началом сканирования ПЭП должен быть установлен на расстоянии, равном ≈ 100 мм от середины стыка. В процессе сканирования ПЭП перемещается на расстояние, равное ≈ 200 мм.

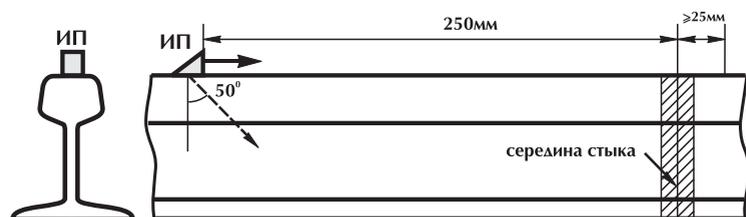
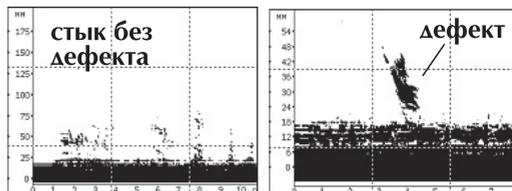
Вне зависимости от выбранной поверхности сканирования запись сигналов контроля производится в процессе одного непрерывного прохода ПЭП по рельсу. Акустическая ось ПЭП при этом должна быть развернута в сторону середины стыка.

Рекомендуемые параметры (зона сканирования и чувствительность) и последовательность действий оператора для каждой поверхности сканирования приведены на рис. 7.2.



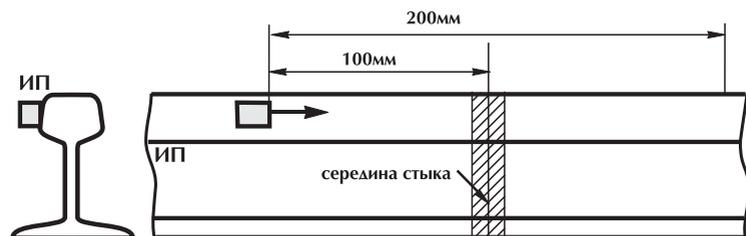
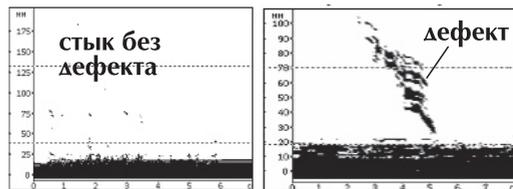
1. Сканирование головки рельса с поверхности катания

$K_y = 36 \text{ дБ}$
 $t = 12 \text{ с}$



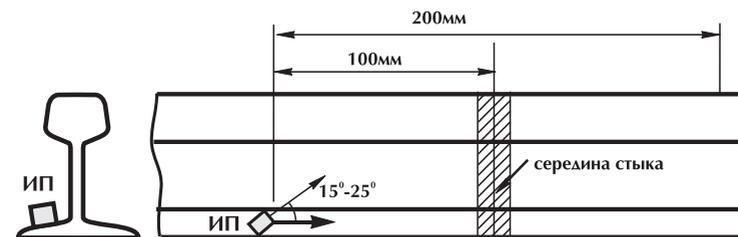
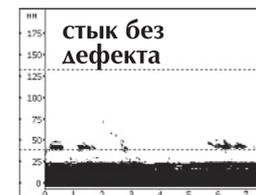
2. Сканирование головки рельса с поверхности боковой грани

$K_y = 36 \text{ дБ}$
 $t = 8 \text{ с}$



3. Сканирование пера подошвы рельса

$K_y = 42 \text{ дБ}$
 $t = 8 \text{ с}$



Запись протокола контроля

- 1) Дважды нажать кнопку «↶» («Оценка») в режиме «ПОИСК».
- 2) Кнопками «<<» и «>>» («Больше», «Меньше») установить время сканирования 8 с (12 с для головки).
- 3) Установить ПЭП в исходное положение (как показано на рисунке).
- 4) Нажать кнопку «⊕» («Старт»), одновременно с этим начав плавное перемещение ПЭП по поверхности рельса.
- 5) Нажать кнопку «⎓» («Запись»).
- 6) Ввести в таблицу электронного блокнота путевую координату, номер стыка и номер поверхности, с которой производилось сканирование.
- 7) Записать кадр В-развертки и данные электронного блокнота в память дефектоскопа, нажав кнопку «ВВОД».

Рис. 7.2. Рекомендуемые параметры и последовательность действий оператора для каждой поверхности сканирования



7.3. Особенности вторичного контроля рельсов

Во второй половине 2005 г. ряд изломов рельсов произошел по дефектам, сигналы от которых были зафиксированы на дефектограммах съемных и/или мобильных средств дефектоскопии. Однако по разным причинам эти дефекты при вторичном контроле не были подтверждены.

Наиболее слабым звеном в сложившейся системе неразрушающего контроля рельсов является вторичный контроль по показаниям мобильных и съемных средств с регистраторами.

Основная проблема – неточная (ложная) информация операторов при проведении натурных осмотров. После анализа дефектограмм расшифровщики выдают отметки для вторичного осмотра участков пути с подозрениями на дефекты. В некоторых случаях линейные операторы по ряду причин не проводят качественный контроль и дают необоснованный ответ: результаты расшифровки не подтвердились, «чистый» рельс. К сожалению, очень часто операторы дают «отписку» («поверхностный дефект»), даже не выезжая на дефектный участок рельсового пути. В результате создается реальная угроза безопасности движения поездов.

По мнению авторов первой и обязательной операцией при вторичном контроле рельсов должно быть повторное получение дефектограммы указанного сечения. Естественно, для этого оператор должен иметь портативный дефектоскоп с датчиком перемещения (ДП), позволяющим получить развертку типа В при сканировании локального участка пути любым типовым ПЭП.

В настоящее время промышленность выпускает только один дефектоскоп вторичного контроля рельсов, позволяющий полностью воспроизвести результат сплошного контроля рельсов по любому из каналов. Это дефектоскоп **АВИКОН-02Р** в комплекте со штангой, оснащенной датчиком пути (рис. 7.3, 7.4).



Рис. 7.3. Портативный дефектоскоп АВИКОН-02Р для ручного контроля отдельных сечений рельсов и сварных стыков



Рис. 7.4. Устройство сканирования ДП-СКАНЕР-02Р для вторичного контроля отдельных сечений рельсов, оснащенное датчиком пути



Иногда целесообразно получить дефектограмму всего рельсового звена. Необходимо иметь в виду, что мобильные средства контроля (автоматрисы и вагоны-дефектоскопы) осуществляют контроль рельсов при весьма высокой условной чувствительности. Поэтому для воспроизведения переданной с мобильного средства дефектограммы может потребоваться существенное увеличение условной чувствительности вторичного контроля относительно номинальной. Для ручного прозвучивания дефектного сечения необходимо подбирать ПЭП с углом ввода равным или близким к углу ввода преобразователя на искательной системе мобильного средства контроля, сигналы которого наиболее четко видны на дефектограмме.

Сопоставление выданной расшифровщиком дефектограммы с получаемой при вторичном контроле позволяет подтвердить факт выхода оператора именно на заданный участок пути (нитку пути). После операции подтверждения необходимо тщательно просканировать дефектное сечение ручным ПЭП. Во многих случаях требуется сканирование не только с поверхности катания, но и с боковых поверхностей головки рельса, шейки и перьев подошвы. Настоятельно рекомендуется получить дефектограмму с В-разверткой с сигналом от дефекта с той поверхности, с которой наилучшим образом выявляется дефект.

Отметим, что дефектоскоп АВИКОН-02Р дополнительно комплектуется сканирующим устройством САТС-02 для контроля алюминио-термитной сварки (рис. 7.5), которое может быть весьма полезно и при вторичном контроле по показаниям мобильных средств дефектоскопии. При этом очень просто реализуется зеркальный метод (тандем-метод) как с поверхности катания, так и с боковых поверхностей головки рельса.

Указанная технология проведения вторичного контроля апробирована на Дальневосточной и Горьковской железных дорогах. Очевидно, предлагаемая технология требует дополнительной проработки и уточнения параметров контроля.

Перед выездом на натурный осмотр оператору необходимо вручить фрагмент дефектограммы дефектного участка. При этом крайне желательно, чтобы на дефектограмме, кроме записей сигналов от возможных дефектов, были бы зафиксированы и сигналы от конструктивных элементов (болтовые стыки, отдельные отверстия и т.п.), что позволяет однозначно привязаться к конкретному участку пути.

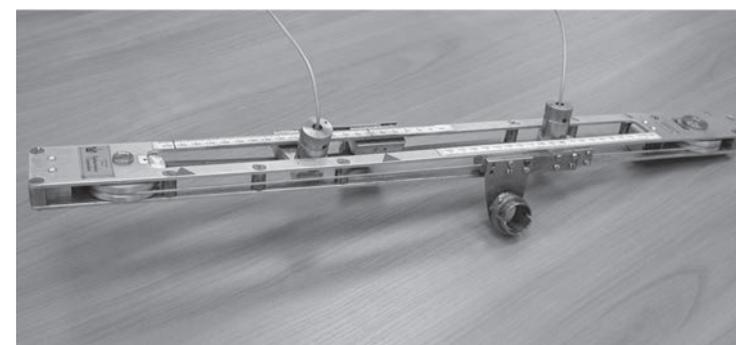


Рис. 7.5. Сканирующее устройство для контроля алюминио-термитных сварных стыков рельсов САТС-02Р



8. Программно-аппаратный комплекс неразрушающего контроля цеха дефектоскопии (ПАК НК)

8.1. Назначение ПАК НК

В последние годы на железных дорогах России появились новые средства неразрушающего контроля рельсового пути, решающие общую задачу – своевременное обнаружение внутренних дефектов рельсов. К ранее имеющимся ультразвуковым и магнитным вагонам-дефектоскопам добавились новые средства – автомотрисы дефектоскопные. Вагоны и автомотрисы становятся более универсальными, реализуя одновременно два физических метода контроля рельсов: ультразвуковой и магнитный. Съёмные тележки типа «Поиск» заменяют приборами нового поколения – двухниточными дефектоскопами с регистраторами (АВИКОН-01, РДМ-2, АДС-02, АВИКОН-11, РДМ-22).

Все эти средства объединяет то, что они осуществляют сплошную регистрацию у.з. дефектоскопической информации в виде так называемой развертки типа В. Ввиду этого возникает вопрос, как максимально эффективно использовать весь объем периодически получаемых данных контроля пути?

Необходимо осуществлять комплексный анализ информации со всех средств, контролирующей дистанцию пути. При этом сопоставление полученных от всех средств НК дефектограмм конкретного участка пути позволило бы повысить эффективность и достоверность расшифровки, обе-

спечивая требуемую безопасность движения поездов и снижая затраты на содержание пути.

Для решения данной задачи по заказу Департамента пути и сооружений ЦП МПС России (ОАО «РЖД») в ОАО «Радиоавионика» при содействии ведущих фирм-производителей дефектоскопных средств НК (ЗАО «Твема», НПП «Вигор», ЗАО «Зонд») разработан программно-аппаратный комплекс неразрушающего контроля цеха дефектоскопии (ПАК НК).

ПАК НК предназначен для расшифровки результатов контроля рельсов съёмными средствами НК и позволяет выполнять совместный анализ дефектоскопической информации практически со всех средств, эксплуатируемых на сети железных дорог.

В ПАК НК формируется единая база проездов (проходов) дефектоскопических средств, в которой хранится информация по каждому из них: дата, средство контроля, название перегона, номер пути, граничные координаты, отметки о дефектах и главное – сигналы контроля каждого миллиметра рельсового пути по всем каналам. Унифицировано визуальное представление сигналов, получаемых комплексами, реализующими различные схемы ультразвукового прозвучивания, осуществлена привязка дефектоскопической информации к координатам реального пути.

Возможность расшифровки дефектоскопических данных от разных типов съёмных средств в одной программе упрощает работу расшифровщика, а совместный анализ данных позволяет более обоснованно принимать решение о наличии или отсутствии дефектов в рельсах.

В сентябре 2005 г. на все железные дороги ОАО «РЖД», а значит, и на все дистанции пути поставлено более 400 комплектов ПАК НК.

В данной главе изложены основные моменты при работе с ПАК НК, вызывающие определенные трудности у пользо-

вателей. Более подробная информация изложена в Руководстве пользователя и электронной справке программы [7].

8.2. Возможности ПАК НК по работе с данными средств НК рельсов

Для считывания дефектоскопической информации и для расшифровки полученных данных для каждого типа регистрирующей аппаратуры служат свои специальные программы визуального отображения информации. Поскольку дефектоскопическая техника разработана разными производителями, имеют место различные методы контроля, схемы прозвучивания рельса и оригинальные программы отображения. Расшифровщик, анализирующий в соответствующих программах сигналы от разных типов регистраторов, сталкивается с неодинаковым набором имеющихся в них функций и способами работы с данными. Причем в некоторых программах не предусмотрены функции, которые есть в других программах отображения (например, сведение сигналов в единое сечение и т.д.). В то же время в них присутствуют второстепенные опции. Таким образом расшифровщик дефектограмм должен одновременно владеть навыками работы в разных программах. Все это вызывает определенные затруднения и снижает качество работы.

Альтернативой расшифровки сигналов в оригинальных программах отображения является расшифровка их в ПАК НК, который поддерживает работу с данными следующих средств НК:

- **съёмные дефектоскопы**
 - **АВИКОН-01МР** с регистраторами **РИ-01** (ОАО «Радиоавионика»),
 - **РДМ-2** с регистраторами **РСД-Т** (НПП «Вигор»),

- **РДМ-2** с регистраторами **УР-ЗР** (в том числе, модернизированные регистраторы) (ЗАО «Зонд»),
- **АВИКОН-11** (ОАО «Радиоавионика»);

- **мобильные средства** (вагоны и автотрисы дефектоскопные) с регистрирующей аппаратурой:
 - **Эхо-Комплекс и Эхо-Р** (ЗАО «Твема»),
 - **САРОС 3.3 и Р-2000** (НПП «Вигор»),
 - совмещенный (у.з. и магнитный методы НК) вагон-дефектоскоп **АВИКОН-03** (ОАО «Радиоавионика»),
 - магнитный вагон-дефектоскоп с системой регистрации фирмы «Техносенсор».

Передача файлов в единую базу данных ПАК НК осуществляется двумя способами: пакетный импорт (передача сразу группы файлов съёмных средств) и одиночный импорт файлов (мобильных и съёмных средств). В последних версиях программы доступна функция считывания результатов контроля рельсов дефектоскопа АВИКОН-01 непосредственно с регистратора РИ-01 (без использования оригинальной программы отображения). В базе данных хранятся все имеющиеся в файлах отметки операторов средств НК и расшифровщиков. Сигналы с перечисленных средств НК отображаются с учетом их особенностей.

В ПАК НК предусмотрены широкие возможности по расшифровке дефектоскопической информации. В частности, доступно несколько способов перемещения (навигации) по файлу, автоматическое перемещение, быстрый переход по отметкам из записных книжек, километровым столбам и по заданной путевой координате. Анализ данных можно производить при разных масштабах и в 4-х режимах сведения эхо-сигналов. Предусмотрен также режим «Лупа» для точного измерения параметров пачек сигналов. Осуществляется фильтрация эхо-сигналов по амплитуде и отражение огиба-



ющей донного сигнала. При выборе соответствующего пункта меню доступен просмотр настроек дефектоскопических каналов. Полезной функцией, существенно сокращающей рабочее время расшифровщика, является автоматический поиск участков с нарушением акустического контакта (непроконтролированных участков) с возможностью задания параметров поиска и выводом отчета.

Одной из важнейших функций ПАК НК является возможность одновременного просмотра и анализа дефектограмм интересующего участка пути, проконтролированного в разное время разными средствами НК. Эта функция призвана в помощь расшифровщику, если он не уверен в наличии (отсутствии) дефекта рельса, и полезна при осуществлении привязки для натурного осмотра дефектного места (например, привязка по шпалам при наличии магнитного канала контроля у одного из средства НК). В режиме совместного просмотра при расхождениях путейских координат на дефектограммах возможно быстрое совмещение по координате и корректировка ее отображения при дальнейшем перемещении.

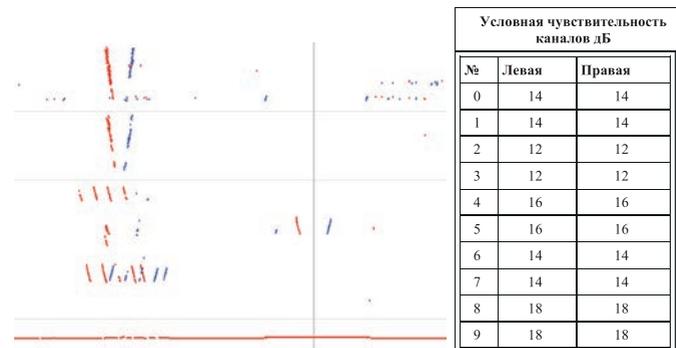
При просмотре сигналов в текущем файле оператор видит отметки «записной книжки» из других (уже расшифрованных) проездов на той же путейской координате, что упрощает процесс расшифровки и служит для наблюдения за неопасными, медленно развивающимися дефектами.

ПАК НК позволяет создавать необходимую отчетную документацию: ведомости контроля (рис. 8.1), отчеты о работе всех средств за любой период времени, вывод суммы протяженностей проездов за любой промежуток.

ВЕДОМОСТЬ КОНТРОЛЯ № 190204_00_17/1

Авикон-01(Авикон-01(7)) № 150 РИ-01 № 040 ПЧ 24 Октябрьская жд
 Дата дешифровки: 20_02_04 Участок: Гатчина-Верево
 Код направления: 31112 Размер экрана: 5691 mm

Путь: 1 Коорд. 0 км 4 м 345 мм ПК: 1 Нитка: Правая Звоно: 1
 Привязка:
 Смотреть как: 69.2 Результат натурного осмотра:



Порог отображения: -6 дБ
 Сведение: Без сведения

Примечания:
 Оператор:
 Выписку получил: Дата:

Рис. 8.1. Ведомость натурного осмотра дефектного рельса

Ниже перечислены еще некоторые функции ПАК НК:

1. Графическое представление результатов работы средств НК (экспресс-отчет) в удобном для восприятия виде (рис. 8.2).
2. Функция сохранения состояния хода расшифровки с возможностью быстрого возврата при перерыве в работе.
3. Копирование требуемого участка проезда в отдельный файл для создания баз ДР (дефектных рельсов) и ОДР (остродефектных рельсов).
4. Создание архивов данных средств НК с возможностью последующего восстановления (непосредственно с



компакт-диска). Автоматическое оповещение оператора о необходимости создания архива.

5. Возможность сохранения пользовательских настроек программы.

6. Передача данных о ДР и ОДР в автоматическую систему диагностики пути (АСДП).

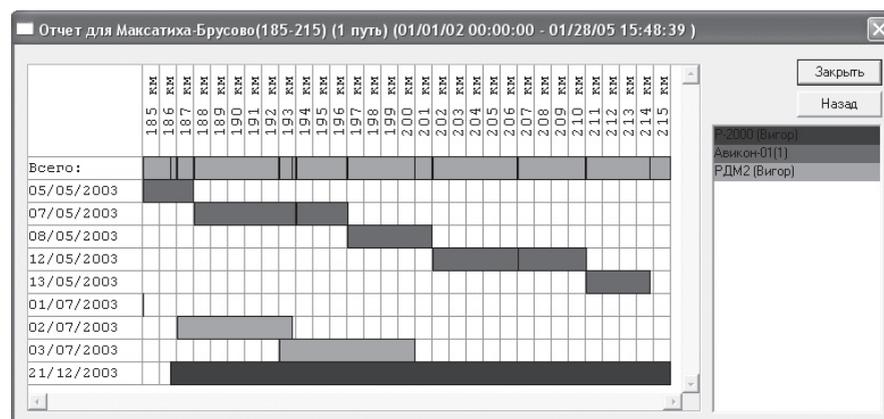


Рис. 8.2. Графическое представление результатов контроля рельсов (экспресс- отчет)

8.3. Установка ПАК НК

Программа ПАК НК работает под управлением операционной системы Windows 2000, XP (Service Pack 2). Установка ПАК НК в системе Windows 98 невозможна.

В комплект поставки ПАК НК входит установочный диск.

Установка (инсталляция) программного обеспечения (ПО) ПАК НК производится с помощью программы *Setup.exe* (Мастера установки программного обеспечения), расположенной на установочном диске.

Мастер установки предназначен для установки, обновления и удаления ПО.

В левой колонке таблицы окна Мастера установки виден перечень ПО, доступный для установки на компьютер. Во второй колонке отображается номер доступной версии. Красный цвет строк таблицы говорит о том, что соответствующее ПО в настоящий момент не установлено. В перечне ПО следует отметить те компоненты поддержки средств дефектоскопии (драйверы), которые необходимо установить. Не отмеченные компоненты не будут установлены и будут удалены, если они были установлены ранее.

После этого по нажатию на кнопку «Пакетная установка» производится установка выбранных компонентов на компьютер. Цвет строк, соответствующих установленным компонентам, изменится на зеленый. Это означает, что данные компоненты программного обеспечения установлены на компьютере и имеют номер версии, идентичный номеру версии ПО в поставке.

В правой части окна Мастера установки находятся кнопки, позволяющие установить, переустановить, обновить либо удалить отдельные компоненты ПАК НК без использования пакетной установки.

Инструкция по установке ПАК НК находится в файле «Инструкция по установке.txt», расположенном на компакт-диске.

После установки необходимо перейти к настройкам «Сведения о подразделении», доступных из меню «Пуск\Программы\Пак НК». В окне с закладкой «Путевая часть» нужно заполнить следующие поля для подстановки их в отчетные документы:

- «Наименование ж.д.» (например: Октябрьская ж.д.);
- «Наименование подразделения» (например: ПЧ-31);
- «Руководитель» (например: Начальник ПЧ-31 Иванов И.И);
- «Операторы» (здесь возможно задание списка рас-

шифровщиков, чтобы программа могла подставлять ФИО через пароль, под которым они загружают «Windows»).

Щелкнув по закладке «База данных», выставить требуемое значение «Актуальности данных (мес.)» (например, 3 месяца). Файлы, импортированные ранее установленного значения, в списке перегонов отображаться не будут.

8.4. Рекомендуемая форма организации данных на жестком диске

Для использования программ импорта данных поездок съемных средств НК в систему ПАК НК требуется, чтобы хранение данных было организовано в соответствии с рекомендациями, изложенными ниже.

При необходимости работы под управлением двух операционных систем на ПК, например, Windows 98 и Windows XP, рекомендуется разбить жесткий диск на 2 логических диска, например, «С» и «D». На диск «С» устанавливается операционная система «Windows 98» и программы, которые работают под ее управлением. На диск «D» устанавливается операционная система «Windows XP», ПАК НК, MS Office, программа для обмена электронной почтой и др. Также этот диск может предназначаться для формирования базы данных поездок средств НК, хранения результатов контроля рельсов и отчетной документации.

Для начала на диске «D» необходимо создать несколько каталогов по числу средств контроля и сформировать следующую структуру:

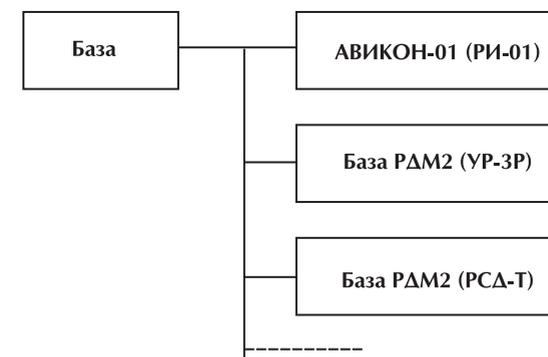


Рис. 8.3. К организации структуры хранения файлов дефектограмм

В каждом из этих каталогов необходимо сформировать несколько подкаталогов, имена которых совпадают с названиями перегонов (рис. 8.4).

Пример:



Рис. 8.4. К организации структуры хранения файлов дефектограмм

При формировании списка перегонов учесть, что рекомендуемая длина перегона (для удобного представления результатов контроля рельсов в графических отчетах) составляет 30 км,

т.е. несколько коротких перегонов можно объединить в один длиной около 30 км.

Если необходимо разбить базу данных не только по перегонам, но и по направлениям, необходимо создать дополнительные подкаталоги направлений. В этом случае создается подобная структура организации данных для каждого съемного средства (рис. 8.5):

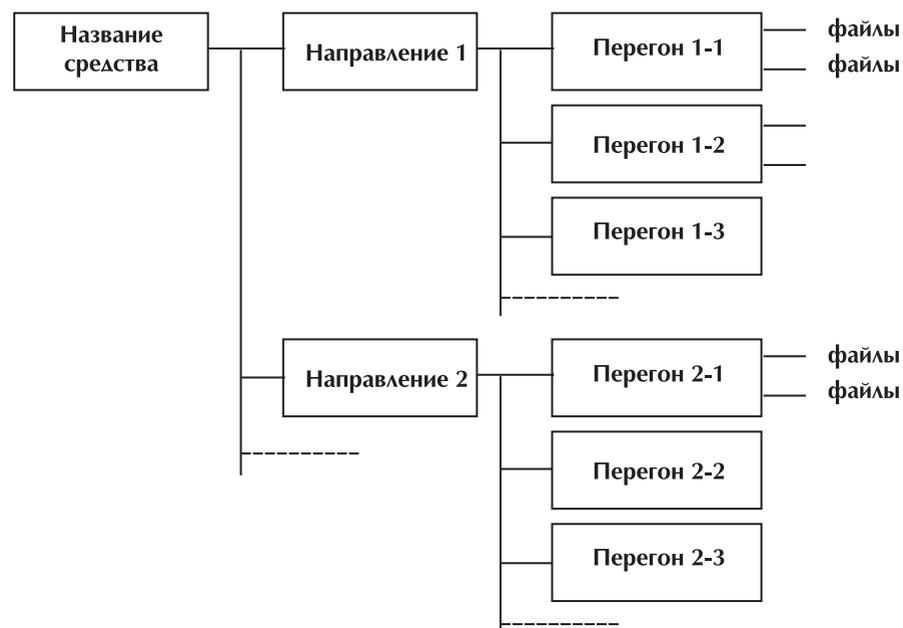


Рис. 8.5. Организация структуры хранения файлов дефектограмм

Заметим, что разбивать созданные каталоги базы данных по пути и/или по месяцу не нужно, т.к. программа при импорте файлов сама распределяет проезды по соответствующим путям, а в списке они отображаются отсортированными по дате.

Рекомендуемая выше структура организации данных предназначена для удобства в работе, в том числе и в про-

граммах отображения соответствующих средств НК.

При поступлении данных контроля рельсов съемными средствами НК рекомендуется скопировать их из регистратора на жесткий диск, например, во временный каталог «D:\Входящие\1_07_2004». Это может быть полезно для скорейшего возврата регистратора оператору тележки. Отметим удобство работы, если в имени считываемых файлов будет содержаться информация о дате прохода, начальном км и серийном номере регистратора (пример названия файлов: 200105_25_РИ-0546, где «200105» – дата прохода, «25» – начальный км, «РИ-0546» – тип и серийный номер регистратора).

Далее полученные файлы дефектограмм необходимо переместить в каталог **соответствующего перегона (станции) данного средства НК** и очистить временный каталог (в нашем примере – «D:\Входящие\1_07_2004»).

Данные контроля автомотрис и вагонов-дефектоскопов можно импортировать непосредственно с компакт-диска (копировать их на жесткий диск перед импортом в ПАК НК необязательно). Файлы проездов этих средств по умолчанию импортируются в каталог D:\Program Files\PakNK\PakNKImport. Удобно, если в названии файлов проездов мобильных средств имеется информация о дате и границах проконтролированного участка.

8.5. Импорт данных от средств неразрушающего контроля в систему ПАК НК

• **Пакетный импорт данных (съемных средств НК)**

Пакетный импорт – это импорт группы файлов.

Для осуществления импорта необходимо запустить программу ПАК НК из меню «Пуск – Программы – ПАК НК». В левой части экрана расположено окно списка перегонов (при первом использовании он будет пустой). Далее щелкнуть

правой клавишей мыши по надписи «Список перегонов». В появившемся меню выбрать пункт «Пакетный импорт» соответствующего типа средств регистрации (рис. 8.6).

В результате появится окно выбора пути к каталогу базы данных конкретного средства НК. При пакетном импорте необходимо руководствоваться представленными выше инструкциями по организации структуры хранения файлов дефектограмм на жестком диске.

Для осуществления импорта щелкнуть один раз левой кнопкой мыши по корневой папке, названной по типу средства, содержащей вложенные папки с названиями направлений, перегонов (в которых непосредственно лежат файлы проездов).

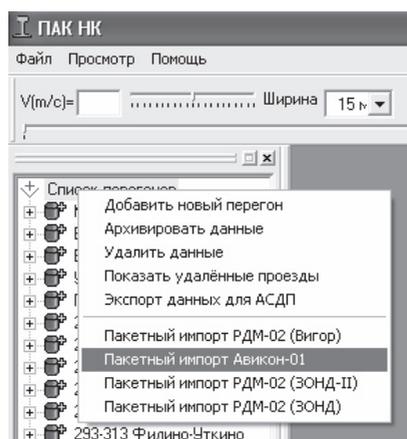


Рис. 8.6. Пакетный импорт файлов дефектограмм съёмных средств НК

В нашем примере при необходимости проимпортировать файлы проездов АВИКОН-01 по перегону Гатчина-Суйда щелкнуть один раз левой кнопкой мыши по корневой папке «D:\База\Авикон-01», а не по вложенной папке «D:\База\Авикон-01\Гатчина-Суйда»!

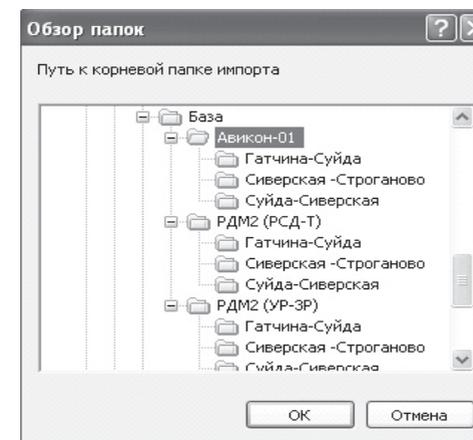


Рис. 8.7. Задание пути к папке импорта

Система ПАК НК позволяет при импорте копировать данные от съёмных средств НК в собственную папку импорта (D:\Program Files\PakNK\ PakNkImport) либо оставлять их на прежнем месте (D:\База\...). Первый подход позволяет отдельно использовать оригинальную программу просмотра средства НК и ПАК НК без опасения возникновения конфликтов, второй – приводит к экономии места на диске.

Далее последовательно для каждого найденного по указанному пути перегона будет предложено ввести его начальный и конечный километры. После введения данных нажать на кнопку «ОК» – начнется процедура импорта, во время которого будет отображаться процесс копирования файлов данных. При нажатии на кнопку «Отказ» данный перегон будет пропущен. В процессе процедуры пакетного импорта также будут проимпортированы отметки «записных книжек», сделанные при расшифровке в оригинальной программе отображения съёмного средства дефектоскопии.

Если ПАК НК был запущен в первый раз после установки, то необходимо закрыть программу и запустить снова. Щелкните мышкой по значку «+» в заголовке списка перегонов,

чтобы раскрыть список (в нем будут находиться проимпортированные перегоны). Если список перегонов не появился, необходимо зайти в настройки «Сведения о подразделении», доступные из меню «Пуск», и проверить строку «Актуальность данных (мес.)», перейдя на закладку «База данных».

При организации структуры хранения файлов дефектограмм на жестком диске нужно помнить, что алгоритм пакетного импорта построен таким образом, что программа просматривает содержимое указываемого в процессе импорта каталога и воспринимает имеющиеся в нем вложенные каталоги как перегоны. Папка импорта должна содержать вложенные каталоги, в которых хранятся файлы дефектограмм. При попытке указания каталога импорта, в котором непосредственно лежат файлы, импорт произведен не будет!

В дальнейшем при поступлении новых файлов с регистраторов съемных средств их нужно сохранять в подкаталог соответствующего перегона и средства, а при пакетном импорте необходимо выбирать лишь тип средства, а не перегон. Это связано с тем, что программа «просматривает» содержимое указываемого при импорте каталога, и если там имеются подкаталоги, то они воспринимаются как перегоны.

В случае разбивки базы данных каждого съемного средства не только по перегонам, а еще и по направлениям, при пакетном импорте также следует указывать корневой каталог с названием нужного средства, а не подкаталог направления или перегона.

• **Одиночный импорт данных (мобильных и съемных средств НК)**

Одиночный импорт (одного файла данных), а также импорт со съемных носителей (CD дисков) всегда выполняется с копированием данных в каталог D:\Program Files\PakNK\PakNkImport.

Для импорта одного файла необходимо в окне «Список перегонов» выбрать нужный перегон и путь, щелкнуть пра-

вой клавишей мыши по значку пути и указать пункт контекстного меню «Импортировать данные проезда». В диалоговом окне «Открыть» следует выбрать конкретный тип файла, соответствующий данному средству НК (рис. 8.8), а затем указать путь к импортируемому файлу данных проезда (или к паспорту проезда) и открыть его двойным щелчком мыши.

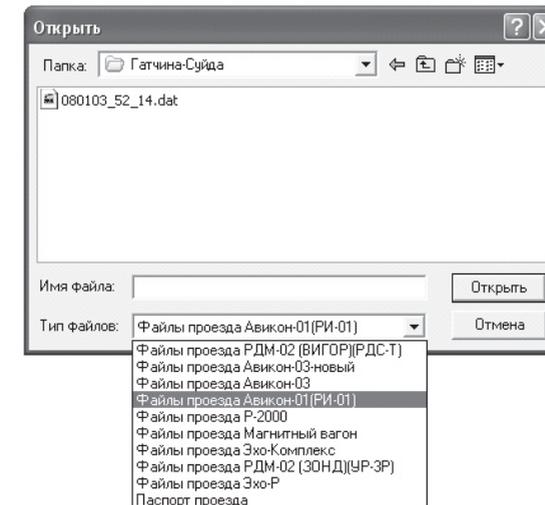


Рис. 8.8. Импорт одного файла дефектограммы

В случае отсутствия требуемого перегона и пути сначала их необходимо создать. Для этого нужно щелкнуть правой клавишей мыши по верхней надписи окна со списком перегонов и в выпадающем меню выбрать пункт «Добавить новый перегон». Появится окно с предложением ввести название перегона, а также его начальный и конечный километры. После этого – щелкнуть правой клавишей мыши на названии нового перегона и в появившемся списке выбрать пункт «Добавить новый путь». После создания пути можно приступить к импорту файла данных.

В процессе импорта автоматически передаются имеющиеся в файле «записные книжки».

Импорт участков файлов, созданных по команде «Скопировать участок проезда», осуществляется по паспорту, т.е. в списке «Тип файлов» нужно выбрать строку «Паспорт проезда».

• **Особенности импорта файлов данных Сарос 3.3**

Для всех типов средств регистрации, кроме Сарос 3.3, можно импортировать проезд непосредственно по файлу данных, а для Сарос 3.3 импорт производится только по паспорту проезда.

Для создания паспорта проезда Сарос 3.3 необходимо произвести следующую последовательность действий.

1. Запустить приложение «Утилита генерации паспорта Сарос 3.3» из «Меню Пуск – Программы – ПАК НК – Утилиты генерации паспорта и импорта данных».

2. В появившемся диалоговом окне нажать на кнопку «Выбрать данные». Программа генерации паспорта предложит выбрать месторасположение данных проезда. После этого при необходимости следует провести ручное заполнение пустых полей паспорта. Нажатие на кнопку «Сохранить» сохраняет сформированный паспорт проезда на жесткий диск в тот же каталог, в котором располагаются данные.

3. Для импорта данных нужно выбрать перегон и путь, для которого будет выполняться процедура импорта, и, вызвав контекстное меню, выбрать опцию «Импортировать данные проезда». По вызову данной опции должен появиться диалог выбора расположения паспорта проезда для импортирования в систему. После его выбора данные импортируются, и оператору выдается диалог, в котором он может отредактировать следующие параметры импортируемых данных:

- название данных;
- начальная координата;
- конечная координата;

— фамилия оператора, импортирующего данные в систему ПАК НК.

• **Импорт файлов дефектограмм модернизированного регистратора УР-ЗР («Зонд») из базы данных**

Пакетный импорт файлов дефектограмм модернизированного регистратора УР-ЗР из базы данных доступен при вызове функции «Список перегонов\Пакетный импорт РДМ-02 (Зонд-2)», а одиночный – по нажатию правой клавиши мыши по нужному пути и выборе пункта «Импортировать данные из регистратора\Из базы РДМ(Зонд)». При этом файлы дефектограмм из регистратора УР-ЗР считываются с помощью оригинальной программы отображения («ЦгЗР-5») и импортируются в ПАК НК из базы данных программы.

• **Импорт файлов дефектограмм с регистратора РИ-01**

Считывание результатов контроля рельсов из регистратора РИ-01 дефектоскопа АВИКОН-01 в базу данных ПАК НК производится по нажатию правой клавиши мыши по нужному пути и выборе пункта «Импортировать данные из регистратора\АВИКОН-01». При этом на экране появляется окно «Загрузка файлов регистратора» (рис. 8.9), с помощью кнопок «Обновить», «Загрузить» и «Удалить» производится, соответственно, вывод списка имеющихся на регистраторе файлов дефектограмм, их сохранение на жестком диске и очистка памяти регистратора.

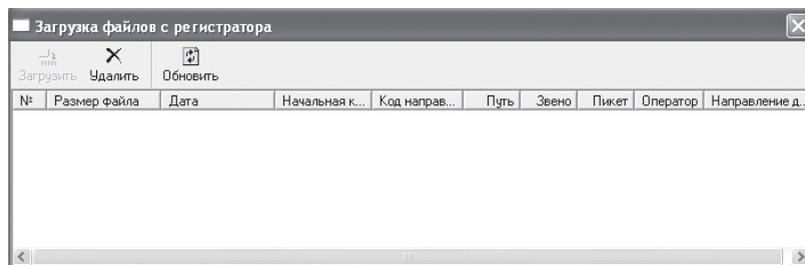


Рис. 8.9. Считывание результатов контроля рельсов из регистратора в базу данных ПАК НК

8.6. Совместный анализ данных

Программа позволяет открывать на одном экране несколько проездов и осуществлять совместный анализ данных (например, при подозрении на дефект). Для этого нужно щелкнуть правой кнопкой мыши по дефектограмме уже открытого проезда и выбрать пункт контекстного меню «Пересекающиеся проезды». При этом открывается окно «Список пересекающихся проездов», где синими полосками обозначены проезды, совпадающие с текущей по путевой координатой. Выбрав нужный файл, открыть его двойным щелчком мыши. Для открытия трех и более проездов одновременно – повторить описанную процедуру. При совместном просмотре этих проездов первое окно становится главным (дефектограмма выделена красной рамкой), а другое – дочерним. Любое окно с дефектограммой можно сделать главным, для этого сначала необходимо сделать его активным (щелкнув по нему левой кнопкой мыши) и затем выбрать пункт меню «Окна\Главное окно сведения по координате» или щелкнуть по соответствующей пиктограмме.

При совместном просмотре все действия, осуществляемые в главном окне, синхронно дублируются в дочерних (навигация, изменение масштаба и т.п.). Для снятия режима совместного просмотра необходимо активизировать главное

окно (если оно неактивно) и выбрать данную опцию меню повторно.

Если при перемещении в режиме совмещенного просмотра наблюдается постепенное расхождение по координате, то это вызвано различиями показаний путевой координаты датчиков пути средств регистрации.

Совмещать дефектограммы необходимо по стыкам, пикетным, километровым столбам или по другим явным отметкам.

Произвести совмещение можно вручную, сделав дочернее окно активным (щелкнув по нему мышью) и «пододвинув» его так, чтобы пачки эхо-сигналов от отметок в окнах совпали.

Для компенсации расхождения можно также воспользоваться пунктом меню «Спец.эффекты\Корректировка датчика координаты». Необходимо на дефектограммах в главном и дочернем окнах найти две характерные отметки, расположенные на расстоянии несколько метров друг от друга (например, отверстия в двух соседних болтовых стыках), и измерить это расстояние. Данные величины (в миллиметрах) нужно задать в качестве поправки координаты. Значения будут сохраняться либо до закрытия окна, либо до их изменения.

8.7. Создание «записных книжек» и ведомостей контроля

При обнаружении ДР или ОДР расшифровщик вносит в электронную «записную книжку» отметку о дефекте. Все отметки хранятся в базе данных ПАК НК. На основании записей «записной книжки» формируются ведомости контроля (отчеты), а также создаются формы для передачи данных об обнаруженных дефектах в систему АСДП. Оператор не может удалять записи «записной книжки», в то же время у него есть возможность пометать нужные записи для включения в отчет. Неотмеченные записи не будут попадать в отчет и передаваться в АСДП.

Место записи в «записную книжку» отображается на дефектограмме в виде тонкой вертикальной линии серого цвета со значком. Двойной щелчок мыши по значку приводит к вызову диалога редактирования записи.

Для создания отметки в «записную книжку» необходимо поместить курсор на область расположения дефекта и, щелкнув правой клавишей мыши, вызвать пункт контекстного меню «Добавить в записную книжку». Запись будет добавлена после заполнения необходимых полей и нажатия кнопки «Сохранить». Если для данной отметки нужно сформировать ведомость натурального осмотра (ведомость контроля), то нажать кнопку «Включено в отчет», а затем «Сохранить».

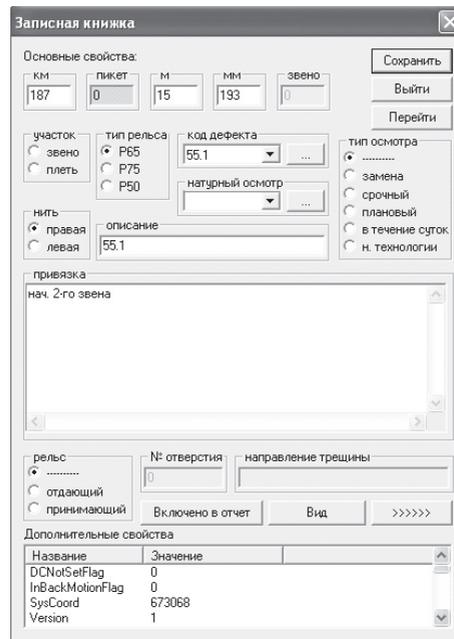


Рис. 8.10. Добавление отметки в записную книжку

Для печати ведомости контроля необходимо вызвать «записную книжку», выбрав пункт меню «Редактирование – Вызов записной книжки». В результате выводится диалог,

содержащий все записи «записной книжки» для текущего проезда:

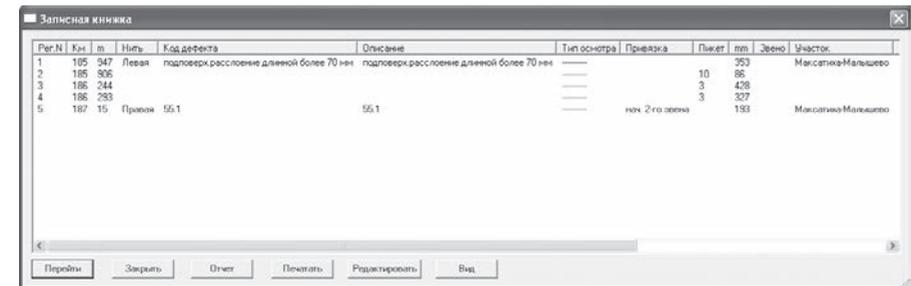


Рис. 8.11. Окно «Записная книжка»

В данном диалоге оператор может:

- перейти на данную отметку;
- сформировать ведомость контроля;
- распечатать фрагмент дефектограммы;
- отредактировать доступные поля записи;
- отредактировать привязку отметки и вид дефектограммы.

Отметки «записной книжки», помеченные на включение в отчет, подсвечиваются серым фоном.

При выборе кнопки «Отчет» оператору предлагается выбрать папку, в которую следует поместить ведомость. Если на пользовательском компьютере установлена программа «MS Word», то ведомость контроля автоматически открывается в ней и может быть отредактирована.

Ведомости контроля необходимо сохранять на жестком диске в отдельном каталоге отчетов.

В результате создания отметки «записной книжки» в других проездах на той же путевой координате будет отображаться ярлычок этой отметки. При наведении на него курсора всплывает надпись с указанием названия проезда, в котором была создана отметка. Данная функция служит в помощь расшифровщику, обращая его вни-

вание в случае затруднения в распознавании сигналов из-за нечеткой записи В-развертки в текущем файле.

8.8. Основные проблемы при работе с программой

В процессе общения разработчиков программы с пользователями ПАК НК выявлены следующие основные ошибки при работе с программой.

- *Не импортируются файлы*

В этом случае возможны следующие причины:

1. Отсутствует или неверно задан тип расширения файлов, считанных с регистрирующей аппаратуры. Файлы данных средств НК должны иметь такие расширения: АВИКОН-01(РИ-01), Эхо-Комплекс, Эхо-Р, Сарос 3.3, магнитный вагон – dat, РДМ-02 (РСД-Т) – rdl, РДМ-02 (УР-ЗР) – bin, РДМ-02 (модернизированный УР-ЗР) – ur3a, АВИКОН-03 – psp, Р-2000 – p2k, паспорт проезда – xml.

2. Неверная структура организации данных (см. раздел 8.4 данной книги «Рекомендуемая форма организации данных на жестком диске»).

3. Неверен указываемый при пакетном импорте путь к базе данных. Если вместо того, чтобы указать путь к корневому каталогу, имеющему название средства НК (см. пункт 7.4), указывается путь к подкаталогу перегона, в котором лежат файлы проездов, то импорт не произойдет. Т.е. в случае, если программа не обнаруживает подкаталоги внутри указываемого при импорте каталога, импорт не будет осуществлен.

4. Снять галочки атрибутов в файлах дефектограмм (снятие/установку атрибутов файлов можно произвести в Проводнике Windows, щелкнув правой кнопкой мыши по файлу и выбрав пункт «Свойства»).

- *После пакетного импорта список перегонов пуст*

В этом случае возможны следующие варианты:

1. Закрывать и открывать вновь программу.
2. Проверить настройки «Актуальность данных (мес.)» из меню «Пуск\ПАК НК\Сведения о подразделении\База данных».
3. См. пункт 3 данного раздела.

- *Графические отчеты пусты*

Не заданы границы перегонов и путей.

- *Не удается импорт участка проезда*

Импорт осуществляется по паспорту проезда (файл с расширением xml).

8.9. Обратная связь

Разработчики ПАК НК непрерывно совершенствуют программу и дополняют ее новыми функциями, упрощающими работу расшифровщика дефектоскопических сигналов.

В новые версии ПАК НК планируется включение следующих функций:

- передача файлов в единую базу данных ПАК НК непосредственно с регистраторов съемных средств НК,
- ведение баз непроконтролированных и контроленепригодных участков пути,
- отображение результатов ручного контроля рельсов,
- выделение «дефектоподобных» пачек сигналов,
- ведение единой базы дефектов,
- фильтрация одиночных шумов и др.

С вопросами, замечаниями и пожеланиями по работе программного обеспечения можно обратиться в ОАО «Радиоавионика» по ж.д. тел./факсу (912) 58-328; по городскому телефону-факсу (812) 768-83-28; по электронной почте avikon1@mail.ru, ж.д. ящик: AlekseevDV@ivc.orw.mps.

Мы надеемся, что тесное сотрудничество поможет нам лучше понять Ваши требования к системе и развить ее для достижения наибольшей надежности и удобства работы.



Заключение

В дефектоскопии железнодорожных рельсов в последние годы достигнуты значительные успехи по повышению достоверности результатов и надежности неразрушающего контроля. Несмотря на заметное увеличение грузонапряженности железных дорог ОАО «РЖД», за последнее десятилетие количество изломов рельсов уменьшилось более чем в десять раз. В этом немалая заслуга новых средств дефектоскопии, осуществляющих непрерывную регистрацию сигналов сплошного контроля и позволяющих осуществлять непосредственный и отложенный детальный анализ сигналов контроля рельсов.

Приведенные выше материалы книги призваны помочь специалистам Центров диагностики Служб пути железных дорог, экипажам мобильных средств, операторам съемных дефектоскопов с регистраторами сплошного контроля, операторам и инженерам-расшифровщикам цехов (участков) дефектоскопии дистанций пути в практической работе по анализу собранной средствами дефектоскопии информации о состоянии рельсового пути.

В то же время авторы понимают, что в материалах книги не рассмотрен ряд важных вопросов по комплексному анализу сигналов многоканальных дефектоскопических средств, каковыми являются сегодня практически все средства сплошного ультразвукового контроля рельсов, вопросы автоматизации расшифровки сигналов контроля, возможности обнаружения дефектов на ранней стадии развития и прогнозирования состояния рельсового полотна.

Это вопросы будущих исследований и внедрений в практику дефектоскопии рельсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Марков А. А., Шпагин Д. А.** Ультразвуковая дефектоскопия рельсов. Санкт - Петербург, Образование – Культура, 1999, 235с.
2. **Марков А. А., Шпагин Д. А.** Регистрация и анализ сигналов ультразвукового контроля. - СПб: Образование – Культура, 2003.- 148 с.
3. **Ермолов И. Н., Ланге Ю. В.** Ультразвуковой контроль. – Том 3 справочника в 8 т. «Неразрушающий контроль» – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
4. **ГОСТ 18576-85**, Контроль неразрушающий. Рельсы железнодорожные. Методы ультразвуковые. М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. **Марков А. А., Кузнецова Е. А., Тарнягин Д. В., Епанешников Д. С.** Повышение эффективности использования дефектоскопической информации. – Путь и путевое хозяйство, 2005, №2, с. 26-28.
6. **Марков А. А.** Идеология и принципы построения программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля. Задачи по организации и внедрению ПАК НК. Сб. статей «Состояние и направление развития средств дефектоскопии рельсов в условиях реформирования путевого хозяйства». СПб, ОАО «Радиоавионика», 2002, с. 64-76.
7. **Руководство пользователя ПАК НК.** СПб, ОАО «Радиоавионика», 2005.



ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Альтернативное представление дефектоскопической информации в переносных ультразвуковых дефектоскопах.
2. Особенности расшифровки сигналов при ультразвуковом контроле рельсов с поверхностными повреждениями.
3. Комплексное использование методов контроля – путь к повышению эффективности дефектоскопии рельсов.
4. Программа трехмерного моделирования сигналов ультразвукового контроля изделий.
5. Проблема оценки качества контроля рельсов при анализе дефектограмм.
6. Общие требования к системе регистрации дефектоскопической информации съемных и мобильных средств неразрушающего контроля.

Альтернативное представление дефектоскопической информации в переносных ультразвуковых дефектоскопах*

А. А. Марков

При автоматизированном ультразвуковом (у.з.) контроле изделий с большими скоростями сканирования представление информации в виде традиционной А-развертки неэффективно, т.к. за короткое время индикации эхо-сигнала на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) оператор не успевает среагировать на его появление. Поэтому в высокопроизводительных установках контроля железнодорожных (ж.д.) рельсов, труб и листов с последовательным сканированием широко применяют представление сигналов контроля в координатах *время задержки – время перемещения датчиков* в виде так называемой развертки типа В. Такая регистрация результатов используется в отечественных у.з. вагонах-дефектоскопах и дефектоскопных автомотрисах, в автоматизированных системах контроля рельсов Германии, США и Австралии.

Представление сигналов в виде развертки типа В является основой многих современных средств у.з. визуализации и, в частности, применяется в эффективных системах обработки информации методом АЛОК.

В последнее время и в дефектоскопах для ручного контроля, наряду с представлением сигналов на традиционной развертке типа А, в качестве дополнительной предусматри-

* Опубликовано в журнале «В мире неразрушающего контроля», 2000, № 1(7), с. 42-44. Печатается с незначительными изменениями

вают возможность отображения сигналов на развертке типа *B*. С помощью такого прибора можно реализовать новые технологии контроля, позволяющие, как будет показано ниже, существенно увеличить наглядность представления результатов и производительность контроля конкретного изделия.

Принцип формирования развертки типа *B*

В у.з. дефектоскопах для ручного контроля изделий (приборы типа ДУК 66ПМ, РЕЛЬС 6, УД2 12, Sonic 100, USN-52, USM-22 и др.) широко распространено представление информации о контроле на экране ЭЛТ в виде так называемой *A*-развертки. Развертка типа *A* – это представление амплитудной огибающей эхо-сигнала в координатах *амплитуда U* – *время t_p* , где t_p – время распространения у.з. колебаний в контролируемом изделии.

Развертка типа *A* позволяет наблюдать амплитуду, форму и временное положение эхо-сигнала от отражателя в изделии в каждый момент времени, но не позволяет проследить (запомнить) изменение этих параметров при перемещении преобразователя. Такой анализ особенно усложняется при приеме эхо-сигналов от нескольких отражателей в изделии.

Развертка типа *B* – это изображение сигналов в координатах *время t_p* – *время $t_{об}$* , где $t_{дв}$ – время движения пьезопреобразователя (ПЭП) по поверхности контролируемого изделия.

В пределах одного цикла излучения-приема у.з. колебаний эхо-сигнал в этих координатах отображается в виде точки (яркостного пятна), положение этой точки зависит от глубины залегания отражателя и от местоположения ПЭП по длине изделия (рис. 1).

Как видно из рисунка, при таком представлении теряется информация об амплитуде и форме эхо-сигналов. Однако *B*-развертка более наглядно представляет взаимное расположение отражателей по длине и глубине контролируемого изделия.

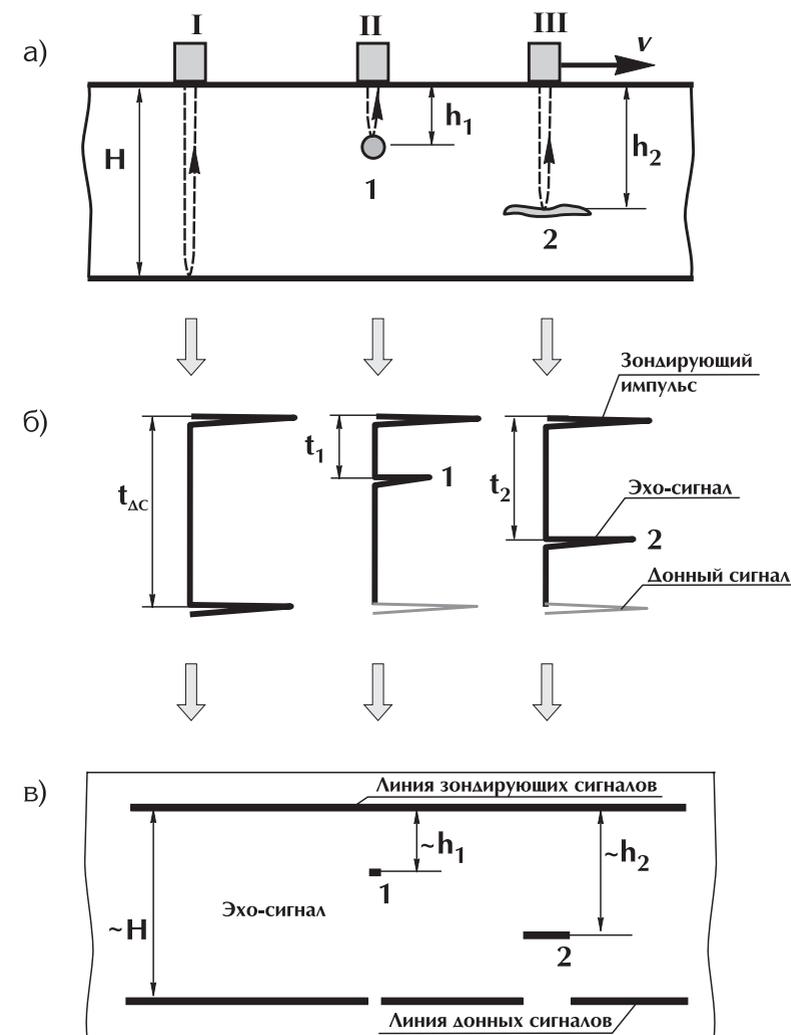


Рис. 1. Принципы отображения сигналов на индикаторах средств скоростного у.з. контроля при озвучивании прямым ПЭП:
 а – схема прозвучивания;
 б – отображение сигналов на экране типового дефектоскопа (*A*-развертка повернута на 90°);
 в – сигналы на развертке типа *B*

Формирование развертки типа В при нормальном вводе ультразвуковых колебаний

Наиболее просто изображение эхо-сигналов на развертке типа В формируется при контроле изделий с помощью прямых преобразователей, когда угол ввода у.з. колебаний в изделие $\alpha = 0^\circ$. При этом временное положение эхо-сигнала прямо пропорционально глубине залегания отражателя h и зависит только от скорости распространения ультразвуковых колебаний в изделии (рис. 1).

Реальная картина эхо-сигнала от точечного отражателя несколько сложнее, чем изображено на рис. 1, и представляет собой не одиночную точку, а короткую дугу. Это объясняется следующим: любой пьезоэлектрический преобразователь обладает определенной диаграммой направленности с углом раскрытия $2\varphi_p$. По мере перемещения ПЭП по поверхности изделия точечный отражатель первоначально будет озвучиваться одним краем у.з. пучка. При этом расстояние между ПЭП и отражателем несколько больше, чем глубина h залегания отражателя ($r_{\max} = h/\cos\varphi_p$). По мере перемещения ПЭП это расстояние уменьшается до величины h (в момент нахождения ПЭП над отражателем), а потом опять увеличивается, достигая значения r_{\max} в момент выхода другого края луча за пределы отражателя. В результате на дефектограмме образуется дугообразное изображение сигнала, причем длина этой дуги тем больше, чем больше угол раскрытия диаграммы направленности $2\varphi_p$. При прочих равных условиях без учета затухания у.з. колебаний в контролируемом изделии длина дуги изображения возрастает с увеличением глубины залегания дефекта.

На практике вследствие затухания и рассеяния у.з. колебаний в материале контролируемого изделия этот эффект не столь ярко выражен и при расшифровке сигналов практически не используется.

При контроле изделий с плоскопараллельными поверхностями в большинстве случаев одновременно с пропаданием донного сигнала во временной зоне между зондирующим и донным сигналами появляется эхо-сигнал от дефекта. При этом на развертке типа В прерывается линия донного сигнала, идущая параллельно линии зондирующего сигнала, и между этими двумя линиями появляется изображение эхо-сигнала от дефекта (рис. 1).

Размер изображения эхо-сигнала вдоль оси $t_{\text{дв}}$ может превышать размер просвета (зоны пропадания) линий донного сигнала. Как правило, просвет в линии донного сигнала больше соответствует размеру проекции дефекта на поверхность сканирования, чем линейный размер изображения эхо-сигналов.

При значительной отражающей способности дефекта возможны многократные переотражения у.з. колебаний от дефекта и поверхности сканирования. В этом случае на развертке типа В наблюдается серия равноотстоящих друг от друга эхо-сигналов от дефекта.

Как видно из рис. 1, на развертке типа В наглядно отображаются глубина залегания дефектов, взаимное их расположение относительно друг друга по длине изделия и, в отдельных случаях, размеры.

Формирование развертки типа В при наклонном вводе ультразвуковых колебаний

При наклонном вводе у.з. колебаний под определенным углом α расстояние между яркостным пятном, отображающим эхо-сигнал, и линией зондирующих импульсов, совпадающей с горизонтальной осью $t_{\text{дв}}$, также пропорционально времени распространения у.з. колебаний до отражателя и обратно (рис. 2). Однако время распространения t_p у.з. ко-

лебаний зависит не только от глубины залегания h отражателя и скорости поперечной у.з. волны c_t , но и от угла ввода α в контролируемое изделие:

$$t_p = \frac{2h}{c_t \cdot \cos \alpha}$$

В процессе сканирования текущий угол α_i озвучивания отражателя (дефекта) меняется в пределах угла раскрытия $2\varphi_p$, то есть $\alpha_i \in (\alpha_0 - \varphi_p; \alpha_0 + \varphi_p)$, где α_0 – угол наклона акустической оси диаграммы направленности ПЭП.

В соответствии с приведенным выражением будет меняться и временное положение эхо-сигнала на развертке типа В. Можно показать, что для углов раскрытия диаграммы направленности $2\varphi_p$ реальных ПЭП, не превышающих $14^\circ \dots 16^\circ$ ($2\varphi_p \leq 16^\circ$), изменение времени задержки t_p при равномерном движении ПЭП происходит почти по линейному закону. Таким образом, по мере перемещения ПЭП с наклонным вводом у.з. колебаний по зоне локации Δx дефекта на развертке типа В формируется изображение в виде набора точек (ярких пятен), совокупность которых образует наклонную линию (рис. 2).

В общем случае количество N_3 эхо-сигналов от отражателя зависит от частоты посылок F у.з. колебаний, скорости перемещения V преобразователя и условной протяженности Δx :

$$N_3 = \frac{\Delta x}{V} \cdot F$$

Например, при принятых параметрах у.з. вагона-дефектоскопа $F = 4000$ Гц; $V = 3 \cdot 20$ м/с; $\Delta x = 30$ мм; $\alpha = 38^\circ$ количество принимаемых от стенок бездефектного болтового отверстия эхо-сигналов может составлять от 6 до 120 импульсов. При этом время распространения у.з. колебаний в металле рельса меняется от $t_{p1} = 74$ мкс до $t_{pn} = 67$ мкс.

Также, как и при обычном представлении сигналов на

развертке типа А, по полученным отображениям эхо-сигналов на развертке типа В можно оценить условные размеры дефектов – условную высоту Δt и условную ширину ΔX (рис. 3). Причем в связи с тем, что эти размеры можно определить непосредственно по экрану дефектоскопа, погрешность их измерений могут быть существенно меньшей.

При одновременном анализе пачек эхо-сигналов от нескольких отражателей можно ввести дополнительные параметры, характеризующие их взаимную ориентацию. Например, установлено, что временной интервал Δt пачек эхо-сигналов от трещины и от стенок болтового отверстия в ж.д. рельсе зависит от ориентации трещины и не может быть больше определенной величины (для рельсов типа Р50 – не более 16 мкс), а величина перекрытия ΔC пачек сигналов (рис. 3) может быть как положительной, так и отрицательной.

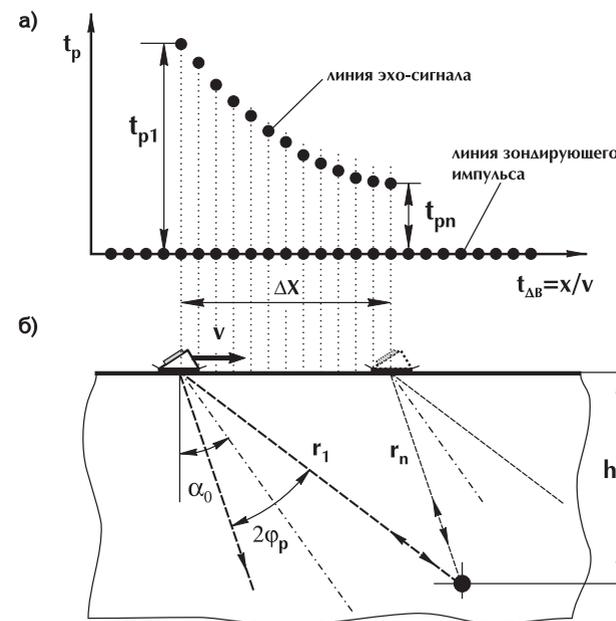


Рис. 2. Формирование отображений эхо-сигналов на В-развертке при озвучивании отражателя наклонным преобразователем: а) В-развертка; б) схема прозвучивания

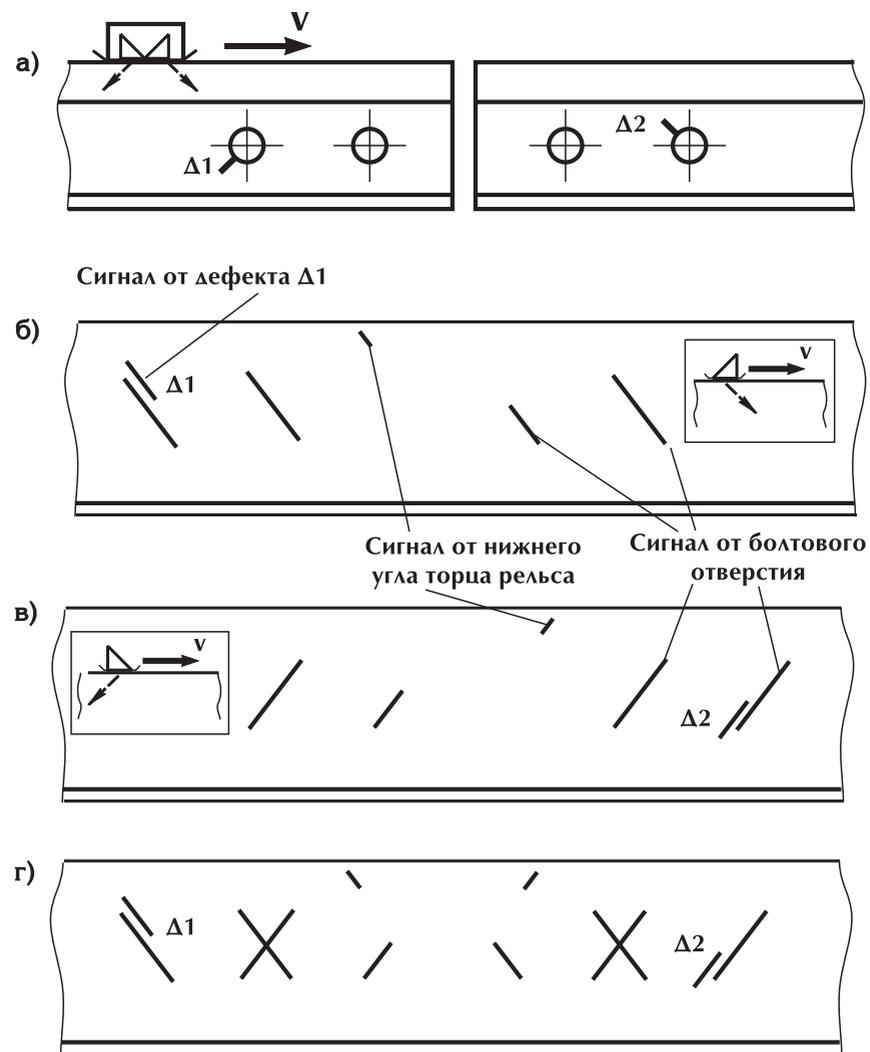


Рис. 3. Пример отображения эхо-сигналов в зоне болтового стыка системой из двух наклонных преобразователей:
 а - схема прозвучивания; б и в - сигналы, принятые отдельно «наезжающим» и «отъезжающим» ПЭП;
 г - суммарное изображение сигналов от двух ПЭП;
 $\Delta 1$ и $\Delta 2$ - трещины в зоне первого и четвертого отверстий

Примеры представления сигналов контроля конкретных изделий на развертке типа В

В качестве примера на рис. 4 и 5 представлены результаты записей сигналов при сканировании участка ж.д. рельса и цилиндрического изделия (вала).

При определенном навыке по полученным дефектограммам весьма просто можно распознать как конструктивные отражатели изделия, так и залегающие внутри изделия трещины.

Так, при сканировании зоны болтового стыка рельсовой колеи парой наклонных преобразователей на дефектограмме отображается серия наклонных линий от стенок болтовых отверстий и возможных трещин (рис. 4). По наличию дополнительной наклонной линии вблизи отображения сигналов от стенок болтового отверстия можно не только судить о наличии трещины, но и определить её ориентацию.

Ультразвуковой контроль цилиндрических изделий (ТВЭЛы ядерных реакторов, элементы бурильных труб газовых и нефтяных месторождений, оси колесных пар вагонов, локомотивов и электровозов, валы и оси эскалаторов метрополитенов, ободья и бандажи ж.д. колес, трубы, прутки, прокат и другие изделия круглого профиля) в основном выполняют путем установки пьезопреобразователя (ПЭП) на плоскую торцевую поверхность или, если имеется возможность, на боковую цилиндрическую поверхность контролируемого объекта. Круговое сканирование выполняется либо путем перемещения ПЭП по окружности торца или боковой поверхности изделия при неподвижном его положении, либо путем вращения контролируемого изделия относительно его продольной оси при неподвижном ПЭП.

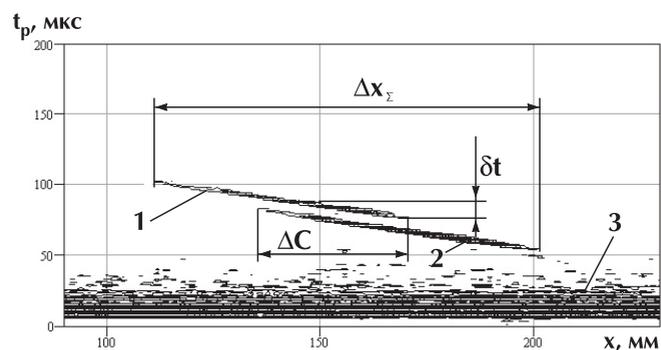


Рис. 4. Основные параметры пачек эхо-сигналов от болтового отверстия с трещиной: 1, 2 - пачки сигналов от трещины и отверстия соответственно; 3 - линия зондирующих импульсов и шумов; Δx - суммарная условная ширина; ΔC - величина перекрытия; δt - временной интервал

В процессе излучения и приема ультразвуковых колебаний на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или дисплея дефектоскопа наблюдается большое количество (до 20 и более) эхо-сигналов от различных конструктивных элементов изделия (рис. 5):

- галтельных переходов;
- резьбовых и зарезьбовых канавок;
- поверхностей плотно насаженных на изделие деталей (ступиц, зубчатого колеса, втулки и т.д.);
- противоположного торца изделия.

При круговом сканировании временные положения эхо-сигналов от них и их амплитуды (развертка типа А), при обеспечении стабильного акустического контакта, являются достаточно постоянными. Эхо-сигналы от возможных дефектов, ввиду их нерегулярности, могут появиться только на определенном участке (дуге) окружности траектории сканирования. Их временные положения и амплитуда на дисплее дефектоскопа также, как правило, отличаются от аналогичных характеристик эхо от конструктивных элементов.

Ультразвуковой контроль таких изделий весьма трудое-

мок и сложен. Оператору в процессе сканирования требуется последовательно просмотреть все кадры А-развертки в каждой точке сканирования и по изменению характерного отображения (серии последовательных эхо-сигналов различной амплитуды) в отдельных точках сканирования принять решение о дефектности контролируемого изделия. Естественно, такой контроль имеет низкую надежность и малую производительность.

При фиксации сигналов контроля на развертку типа В за один оборот преобразователя 6 по круговой траектории 13 формируется дефектограмма 14 в прямоугольных координатах, пропорциональных пути X перемещения преобразователя по траектории кругового сканирования и времени t_p распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии .

Естественно, при этом длина регистрации C_p дефектограммы по оси X будет пропорциональна фактической длине окружности C траектории сканирования $C_p = 2\pi R$, где R – радиус окружности круговой траектории преобразователя (рис.5); $M = C_p/C$ – масштаб представления длины окружности на дефектограмме по оси X.

Яркие изображения эхо-сигналов от постоянных, в процессе кругового сканирования, отражателей (галтельных переходов, противоположного торца) в контролируемом изделии 1 на дефектограмме 14, сливаясь, образуют линии донных сигналов 9', эхо от галтельных переходов 10' и т.п. Аналогично формируется и линия зондирующих импульсов 8'. Эхо-сигналы от локальных отражателей, например, от поперечной трещины 5, принимаются преобразователем только на определенном участке (дуге) траектории кругового сканирования и, естественно, на дефектограмме 14 отображаются в виде отрезка 11' ограниченной длины. На фоне протяженных линий 9' и 10' эхо-сигналов от конструктивных отражателей короткая линия 11' эхо от дефекта 5 весьма четко выделяется и может быть легко обнаружена оператором.

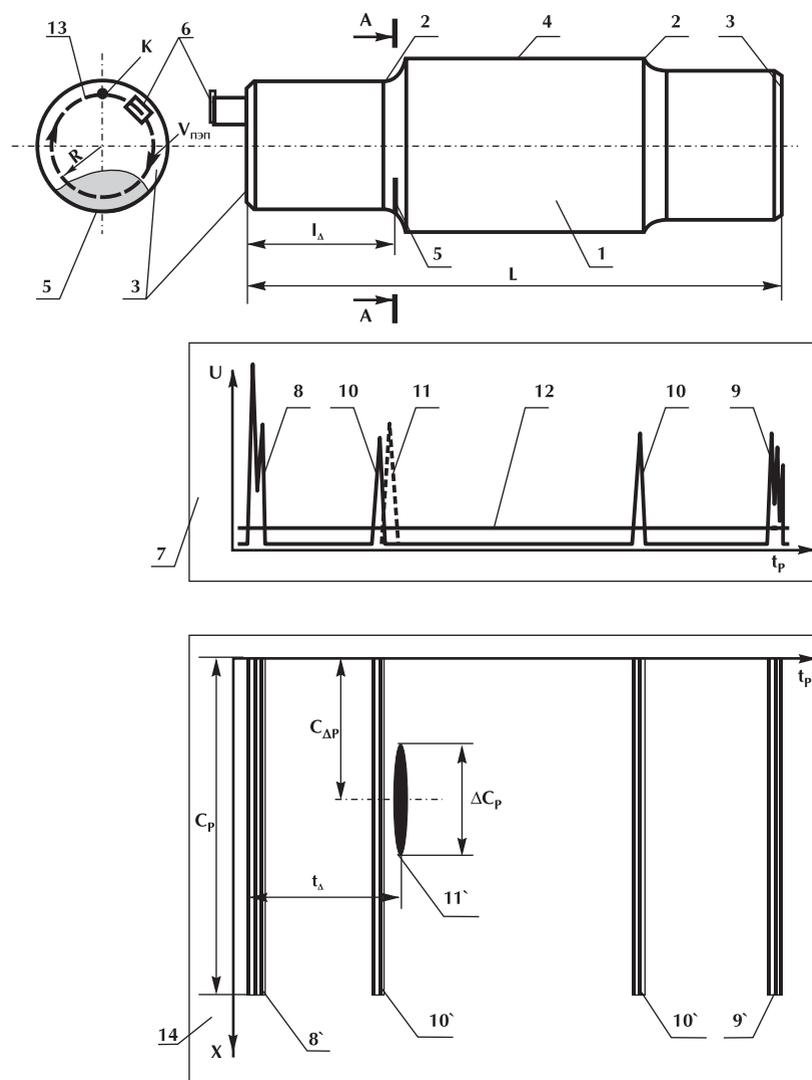


Рис. 5. Применение развертки типа В при контроле цилиндрических изделий

Кроме того, по местоположению данного отрезка на дефектограмме можно оценить как глубину залегания l_d обнаруженного дефекта 5 от поверхности сканирования 3 и

взаимное положение его относительно конструктивных элементов 2 и 3 контролируемого изделия 1, так и его условные размеры: условный размер по длине образующей $\Delta C = \Delta C_p / M$ и положение дефекта по окружности $C_d = C_{dp} / M$ от точки начала сканирования (точка К на рис.5)

Таким образом, по полученной дефектограмме можно оценить практически все интересующие Заказчика параметры обнаруженного в контролируемом изделии дефекта (рис. 5):

- глубину залегания,
- условный размер дефекта по длине образующей ΔC ,
- угловое положение ϕ_d дефекта в градусах от точки начала сканирования,
- центральный угол $\Delta \phi$ сектора, содержащего дефект.

Кроме того, полученная дефектограмма дает оператору, выполняющему контроль, иллюстрированное представление о размещении дефекта относительно конструктивных элементов в изделии (галтелей, шпоночных пазов и т.п.) и позволяет оперативно принимать решение о качестве проконтролированного изделия.

При реализации предлагаемого способа, в отличие от известной технологии, не требуется в каждой точке нахождения преобразователя на траектории сканирования анализировать получаемые эхо-сигналы, а достаточно после завершения сканирования выполнить разовый анализ всей совокупности зарегистрированных сигналов. Это позволяет существенно (как показывает практика, до 5 раз) повысить производительность контроля изделий. Наличие документа, отображающего результаты всей процедуры контроля, повышает надежность и объективность результатов дефектоскопирования изделий.

Регистрацию сигналов контроля в процессе кругового сканирования и формирования дефектограммы 14 необходимо осуществлять при синхронном перемещении преобразователя б и оси времени t_p на дефектограмме в перпендику-

лярном относительно этой оси направлении. Синхронизацию можно осуществить любыми известными способами:

- с помощью механических или электромеханических датчиков пройденного преобразователем пути (кодировщика пути);

- путем обеспечения постоянства скорости ($V_{пэп}$) перемещения ПЭП по траектории сканирования и движения линейной развертки (скорости перемещения оси t_p).

При любом способе синхронизации для реализации способа необходим ультразвуковой дефектоскоп, позволяющий получать так называемую развертку типа *B*. В настоящее время отечественная промышленность выпускает несколько модификаций таких дефектоскопов: УДЦ-201П (ГНЦ “ЦНИИТМАШ”), УД4-Т (АО “Votum”, МГТУ им. Баумана) и “ПЕЛЕНГ” (ЗАО “Алтек”). Аналогичные возможности имеют и ряд дефектоскопов зарубежных фирм.

Первый способ требует дополнения преобразователя 6 датчиком пройденного пути (кодировщиком пути) и соединения его с соответствующим входом дефектоскопа, что, естественно, несколько усложняет аппаратное обеспечение предлагаемого способа. В то же время при использовании кодировщика пути имеется возможность делать паузу во время сканирования, а затем возобновлять прозвучивание без потери данных и искажения получаемой дефектограммы. Такую возможность предоставляют, в частности, дефектоскопы фирм Panametrics – EPOCH III (модель 2300), Starmans – DIO-562 и Tokimec – SM-1.

Во втором случае требуется одновременно с началом сканирования запустить развертку дефектоскопа по оси *X* и перемещать преобразователь 6 по круговой траектории 13 без остановок с постоянной скоростью. При этом время развертки по оси *X* дефектоскопа следует выбирать равным или несколько большим времени, затрачиваемого на полный оборот кругового сканирования.

Как показывает практика, второй способ синхронизации

сканирования в производственных условиях часто предпочтительнее первого, так как отсутствуют дополнительные узел (датчик пути) и электрические связи между датчиком пути и дефектоскопом. При этом получаемые с помощью данного способа погрешности оценки параметров обнаруживаемых дефектов (± 2 мм) вполне приемлемы для производственных условий.

Для дополнительного повышения производительности контроля и стабильности акустического контакта в процессе кругового сканирования целесообразно использовать приспособления в виде механизма для осуществления кругового сканирования с магнитной защелкой и фиксатором для преобразователя.

В результате по получаемой дефектограмме существенно проще интерпретировать результаты ультразвукового обзора контролируемого изделия. Исчезает характерная для представления сигналов на развертке типа *A* трудоемкая и рутинная операция по внимательному наблюдению и анализу сигналов, представленных в амплитудно-временных координатах, в каждой точке сканирования. На получаемой дефектограмме ультразвуковые профили проконтролированных бездефектного и дефектного изделий могут быть распознаны даже неподготовленным оператором.

Возможности введения амплитудной градации сигналов

Кроме требования перемещения преобразователя синхронно с отображением сигналов некоторым недостатком развертки типа *B* с пороговой регистрацией, реализованной в переносных дефектоскопах, является отсутствие информации об амплитуде и форме эхо-сигнала. Этот недостаток может быть разрешен путем введения яркостной градации по амплитуде аналогично тому, как это делается в томографических ультразвуковых установках (например, системы

«Авгур 4.2» НПЦ «Эхо+»). При этом появляется возможность вести контроль на максимально высокой чувствительности с последующей дифференциацией сигналов по амплитуде и введению цветовой градации.

В качестве примера на рис. 6 представлен фрагмент дефектограммы контроля зоны болтового стыка ж.д. рельса при большой условной чувствительности (40 дБ по стандартному образцу СО-2). Видно, что при традиционной пороговой регистрации (рис. 6 а) полезные сигналы (от трещины в зоне отверстия) не различимы на фоне структурных шумов и многократных отражений от конструктивных элементов контролируемого изделия. При введении амплитудной градации путем цветowego или яркостного разделения сигнал от трещины (длинная наклонная линия на рис. 6 б, в, и г) выделяется весьма четко. Однако в переносных ультразвуковых дефектоскопах из-за большого объема регистрируемой и обрабатываемой информации данный способ пока не нашел применения.

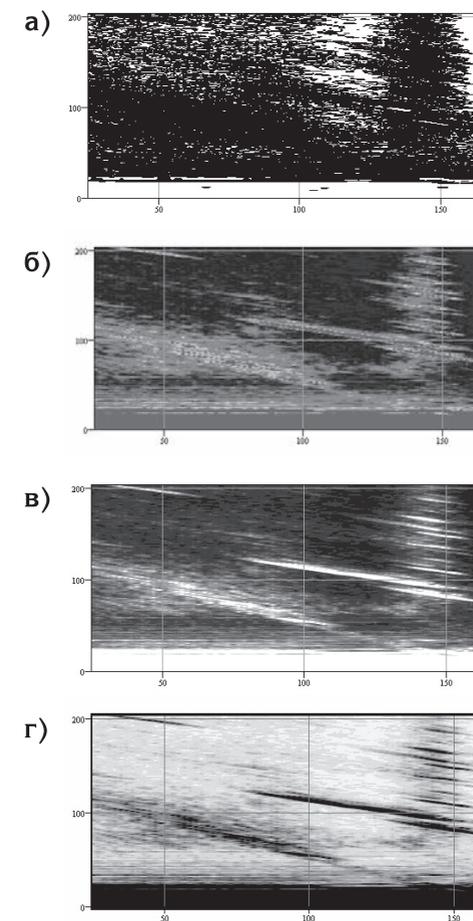


Рис. 6. Повышение информативности В-развертки путём дифференциации сигналов по амплитудному признаку (проиллюстрировано на дефектограммах от реального дефекта: трещина в зоне болтового стыка ж.д. рельса): а – исходная дефектограмма (чувствительность 40 дБ); б – после введения цветовой амплитудной градации; в – яркостная градация; г – градация по интенсивности серого в зависимости от амплитуды



Особенности расшифровки сигналов при ультразвуковом контроле рельсов с поверхностными повреждениями*

А. А. Новожилов, инженер по расшифровке
ПЧ-5 Октябрьской железной дороги

С момента ввода в эксплуатацию дефектоскопов с регистраторами начался принципиально новый подход к контролю рельсов. С первыми данными, поступившими с регистратора, появилась полная картина состояния рельсового хозяйства на дистанциях пути. На плечи расшифровщика дефектоскопической информации легла большая ответственность, поэтому очень важно, чтобы данную должность занимали люди с высокой квалификацией, ответственностью и авторитетом.

Расшифровщики участков дефектоскопии стали вносить весомый вклад в работу по обнаружению дефектных (ДР) и острodefектных (ОДР) рельсов. Кроме того, стало очевидно, как производят контроль рельсов операторы съемных дефектоскопов: соблюдается ли технология контроля, соответствует ли нормативам настройка условной чувствительности всех каналов дефектоскопа, какие меры предпринимаются операторами при обнаружении подозрительных мест на линии. В результате, постепенно улучшались качество контроля рельсов и технологическая дисциплина операторов съемных дефектоскопов.

Немного подробнее о схеме работы цехов дефектоскопии.

* Опубликовано в журнале «Путь и путевое хозяйство», 2005, № 12, с. 15-16.
Печатается практически без изменений

Оператор, согласно графику, привозит регистратор в цех дефектоскопии. Инженер-расшифровщик считывает данные с регистратора на ПК и, совместно с оператором, анализирует те участки пути, которые по каким-либо причинам требуют внимательного анализа. В каждом цехе дефектоскопии создается база данных периодического контроля рельсов, что позволяет расшифровщику, при необходимости, оперативно провести сравнительный анализ (мониторинг) состояния рельсов на конкретном участке. При обнаружении в процессе расшифровки дефектоподобных сигналов оператору дефектоскопа выдаются отметки на натурный осмотр выделенных участков пути. Ручной контроль иногда производит и сам расшифровщик, выезжая в путь с портативным дефектоскопом. Это дает ему возможность сопоставлять реальный дефект и сигналы на дефектограмме. При приобретении такого практического опыта расшифровщик может более обоснованно определять сроки повторного контроля и корректировать браковочные признаки.

В среднем за один час работы расшифровщик проверяет дневную норму проверки рельсов одной дефектоскопной тележки – 5-6 км пути. Однако эта цифра не может быть принята для расчета месячной нормы расшифровки, так как кроме анализа сигналов расшифровщик оформляет рабочую документацию, выезжает (иногда) на натурные осмотры дефектных мест и занимается с каждым оператором, объясняя ему допущенные ошибки по результатам проведенного контроля.

Во время расшифровки дефектограмм проводится такая важная работа, как мониторинг состояния рельсового хозяйства – учет и анализ рельсов с поверхностными дефектами закалочного слоя головки (так называемых «пленок»).

«Пленка» – это слой металла на поверхности катания головки рельса толщиной не более 8 мм, образовавшийся в результате горизонтального расслоения.

В рельсах, на поверхности катания которых образовались расслоения-пленки, в последнее время появляется большое количество ОДР по коду 21, 27, 30Г, и в большой степени нужно ожидать развития опасных трещин именно в таких рельсах. В связи с этим, при анализе результатов сплошного контроля рельсов, необходимо уделять таким местам особое внимание.

Расшифровщик должен обязательно сравнивать сигналы на дефектограммах текущего и предыдущего прохода тележки. Измеряя величину пропададения линии донного сигнала, нужно следить за развитием данных дефектов, а при достижении ими недопустимого размера (70 мм по действующему Положению), оформлять уведомление на замену ОДР по коду 30Г, тем более, если на дефектограмме зафиксировано отсутствие ручного сканирования головки рельса оператором в пути. При значительной протяженности поверхностных дефектов, мешающих вводу у.з. колебаний с поверхности катания рельса, расшифровщик практически бессилён в анализе состояния данного участка. В таких случаях необходимо убедиться в проведении ручного контроля оператором дефектоскопа, и оценить затраченное им время на проверку контроленепригодного рельса. При нарушениях оператором технологии контроля дефектных рельсов данный участок пути считается непроконтролированным и его нужно выдавать на повторный осмотр.

В результате прозвучивания рельсов с поверхностными расслоениями прямым и наклонными ПЭП (рис. 1) обычно наблюдается потеря донного сигнала, кроме того, из-за возможного многократного переотражения у.з. колебаний от неровностей в толще пленки, появляются пачки сигналов в наклонных каналах (обычно они не являются четкой линией, а представляют собой скопление сигналов). Однако данные пачки могут и отсутствовать – это зависит от характера и ориентации расслоения.

Также бывают случаи, когда линия донного сигнала при наличии «пленки» не прерывается. Это вызвано попаданием в зону строб-импульса соответствующего канала сигналов многократного переотражения в толще «пленки».

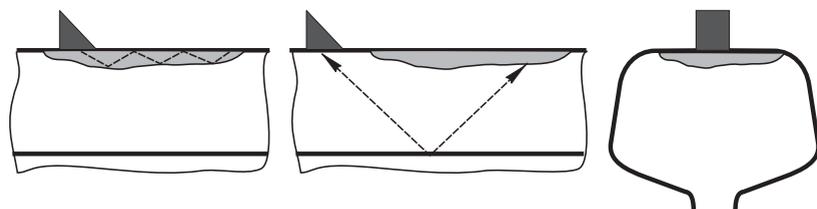


Рис. 1. Прозвучивание наклонным и прямым ПЭП рельса с горизонтальным расслоением в головке

На рис. 2 приведены примеры дефектограмм АВИКОН-01 с характерными сигналами от поверхностных расслоений головки рельсов.

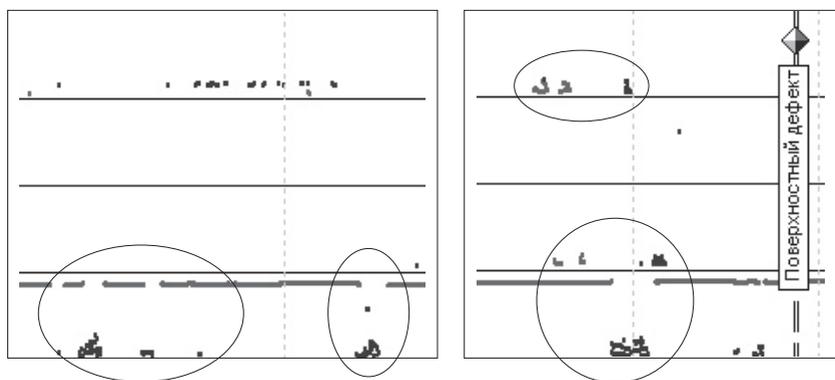


Рис. 2. Сигналы от горизонтальных расслоений металла на поверхности катания головки рельса («пленок»)

Расшифровщик может сделать вывод о наличии трещины под поверхностным расслоением, только если на дефектограмме в наклонных каналах имеются пачки сигналов, полученные в результате прямого отражения от трещины (рис. 3).

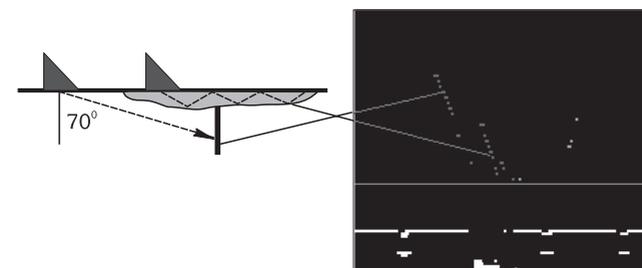


Рис. 3. Выявление дефектоскопом РДМ-2 (с регистратором РСД-Т) поперечной трещины под «пленкой» в зоне болтового стыка. Зафиксирована ПЭП с углом ввода 70 град. в результате прямого отражения от трещины

При наличии таких пачек сигналов в наклонных каналах необходимо убедиться, что они не являются пачками, полученными в результате многократного переотражения у.з. луча в толще «пленки». Нужно выяснить, где в данный момент находился наклонный искатель (на поверхности «пленки», за или перед ней). Для этого, зная взаимное расположение ПЭП в искательной системе дефектоскопа, необходимо соотнести на дефектограмме сигналы между наклонными и прямым ПЭП, фиксирующими границы «пленки».

Измерения на дефектограмме нужно обязательно проводить в режиме обычной В-развертки – без сведения к единому сечению.

Соотношение сигналов производится по следующему принципу.

Если в искательной системе дефектоскопа наклонный ПЭП расположен по ходу движения дефектоскопа впереди прямого ПЭП, то пачку сигналов от наклонного ПЭП нужно мысленно перенести на дефектограмме вперед по ходу движения на расстояние, соответствующее расположению этих ПЭП в искательной системе. Наличие в этом месте донного сигнала позволяет утверждать, что искатель в данный момент находился не на «пленке», ввод у.з. колебаний наклонного ПЭП осуществлялся под расслоение, и сигнал,



полученный данным ПЭП, является прямым отражением от трещины.

Соответственно, если наклонный ПЭП расположен в искательной системе позади прямого ПЭП, то пачку сигналов от него нужно мысленно перенести от своего месторасположения назад против хода движения дефектоскопа на соответствующее расстояние.

На дефектограммах рис. 4 видны большие пачки сигналов в каналах 6 и 7 контроля шейки рельса и ее продолжения в головку ($\alpha=45^\circ$) дефектоскопа АВИКОН-01. Если измерить глубину залегания пачек, то можно сказать, что отражающая поверхность находится чуть ли не в шейке рельса. Однако данные пачки появились в результате многократного переотражения в «пленке» толщиной не более 8 мм.

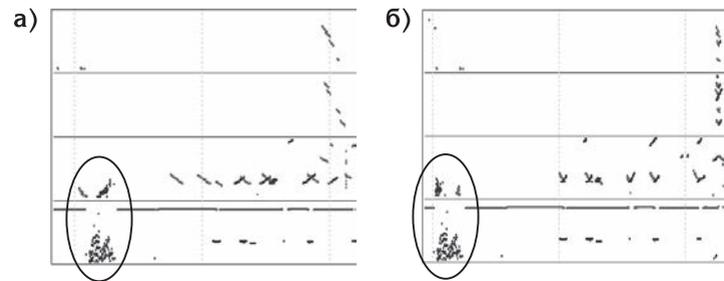


Рис. 4. Дефектограммы АВИКОН-01. Пачки сигналов получены в результате многократного переотражения у.з. колебаний в толще «пленки» а) режим обычной В-развертки; б) режим «сведение в единое сечение»

При включении в программе отображения режима «сведения в единое сечение» пачки сигналов «отъезжающего» и «наезжающего» каналов меняются местами (рис. 4б). Это говорит о том, что края данной «пленки» выходят на поверхность катания или направлены к ней.

Пример выявления при расшифровке дефектограммы АВИКОН-01 поперечной трещины в головке рельса под поверхностным расслоением показан на рис. 5:

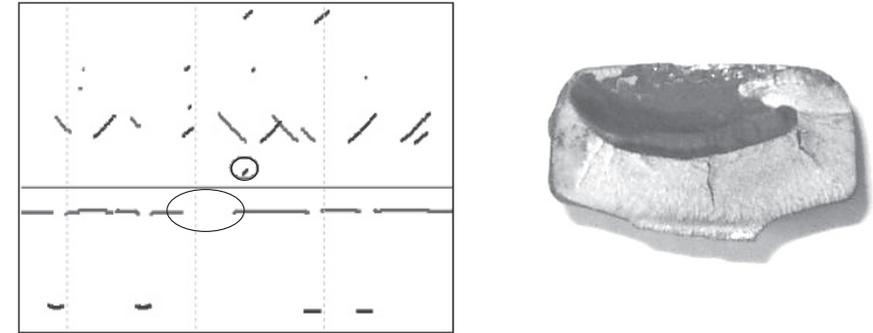


Рис. 5. Выявление поперечной трещины под поверхностным расслоением головки рельса. Дефектограмма АВИКОН-01

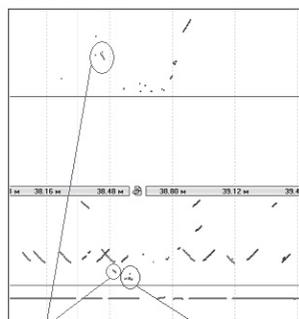
Пачка сигналов в отъезжающем наклонном канале (№7, $\alpha=45^\circ$) получена при озвучивании трещины прямым лучом при вводе у.з. колебания под «пленку». ПЭП прямого канала №0 расположен в искательной системе АВИКОН-01 впереди ПЭП наклонного канала №7 на расстоянии 25 мм. При измерении выявлено, что пачка сигналов от трещины располагается правее участка с пропаданием линии донного сигнала более чем на 25 мм, т.е. она была зафиксирована, когда наклонный искатель находился по ходу движения дефектоскопа за «пленкой».

Ниже представлены еще несколько примеров выявления поперечных трещин, развившихся под поверхностными повреждениями рельсов.

На рис. 6 приведена дефектограмма поперечной трещины под поверхностным расслоением наплавленного слоя металла, расположенного в 40 мм от торца. Это расслоение выкрашивалось сверху не полностью, часть его была дополнительно наплавлена. В результате под такой «двойной пленкой» долгое время маскировался ОДР по коду 21.1 и при достижении большого размера он был зафиксирован каналами №2 и №6 дефектоскопа АВИКОН-01.

На рис. 7 проиллюстрировано выявление поперечной трещины развитием во всю головку рельса со значительным заходом в шейку. Трещина развилась из-за нарушения технологии наплавки.

На рельсе имелось поверхностное расслоение глубиной 2-3 мм, которое затем наплавлили. Наплавленный слой не был обработан (не зашлифован), что способствовало дальнейшему разрушению поверхности катания головки рельса и повышенному динамическому воздействию колес подвижного состава.



Пачки сигналов от трещины
Пачка сигналов из-за переотражения у з.к. в толще "пленки"



Рис.6. Поперечная трещина в головке под расслоением наплавленного слоя. Дефектограмма АВИКОН-01

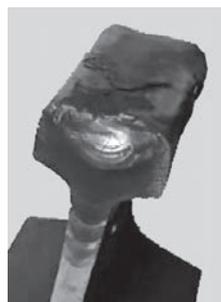
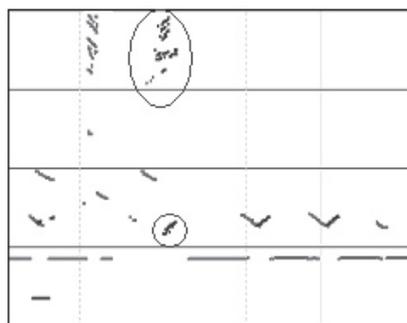


Рис.7. Поперечная трещина в головке значительного развития. Дефектограммы АВИКОН-01

На рис. 8 представлена фотография изломавшегося из-за развития поперечной трещины в головке рельса.

Трещина располагалась в 1.5 м от болтового стыка и была замаскирована поверхностным расслоением. При контроле 27 апреля в пути дефектоскопом РДМ-2 и последующей расшифровке ОДР обнаружен не был.

На дефектограмме наблюдалось лишь пропадание линии донного сигнала и отражения в прямом эхо-канале, что свидетельствовало о наличии «пленки».

Рельс изломался при проходе поезда 6 мая. Зеркальная поверхность трещины свидетельствует о достаточно продолжительном периоде развития. Для ее обнаружения требовался дополнительный контроль ручным искателем с боковой грани, однако он проведен не был.



Рис. 8. Излом рельса из-за поперечной трещины головки рельса. Дефектограмма РДМ-2 (РСД-Т)

Хочется отметить, что описанный выше прием анализа сигналов способствует более качественной оценке состояния рельсов, пораженных расслоениями и выкрашиваниями закалочного слоя. Однако для получения достоверной картины состояния дефектного рельса необходимо применение ручного сканирования с боковых и нижней граней головки рельса.

Эти и другие сложные ситуации при расшифровке дефектоскопических сигналов были рассмотрены слушателями и преподавателями во время обучения специалистов железных дорог в Центре подготовки «Радиоавионика». Естественно аналогичные тонкости расшифровки выработаны и на других дорогах. В связи с этим целесообразно обобщить этот положительный опыт и использовать его при отработке технологии расшифровки дефектограмм съемных и мобильных средств дефектоскопии рельсов.

Комплексное использование методов контроля – путь к повышению эффективности дефектоскопии рельсов*

А. П. Метелкин, заместитель начальника вагона-дефектоскопа СВД №482

Вагон-дефектоскоп СВД №482 (ПС-72181) является одним из первых вагонов-дефектоскопов на сети дорог, на которых комплексно используются два метода контроля рельсов – магнитный и ультразвуковой (у.з.). Всего на текущий момент (декабрь 2005г.) на сети железных дорог России эксплуатируются еще 9 аналогичных вагонов, оснащенных дефектоскопическим комплексом «АВИКОН-03» производства ОАО «Радиоавионика».

Комплекс «АВИКОН-03» отличается принципиально новой схемой прозвучивания. В нем впервые используется зеркальный метод контроля головки рельса (патент №2060493). Для контроля шейки и подошвы рельса используются ПЭП с двухлепестковой диаграммой направленности, позволяющие одновременно получать два эхо-сигнала от болтового отверстия и от радиальной трещины в одном цикле излучения-приема (патент №2052808), что повышает надежность их обнаружения. Практически реализовано перспективное направление в организации работы магнитного канала, при котором в качестве магнитопроводов используются оси ко-

* Опубликовано в журнале «В мире неразрушающего контроля», 2005, № 2 (28), с. 65-67. Печатается практически без изменений

лесных пар индукторной тележки. В результате увеличивается уровень сигналов и глубина контроля рельсов магнитным каналом.

За 4 года эксплуатации накопился большой практический опыт, и можно подвести некоторые итоги работы.

Всего за данный период с помощью СВД №482 обнаружено 150 ОДР. По сравнению с другими средствами эта цифра хоть и не очень велика, но в то же время технические возможности аппаратуры «АВИКОН-03» позволяют обнаруживать опасные дефекты на ранней стадии развития, при этом некоторые из них не могут быть обнаружены другими средствами.

На особенностях работы дефектоскопического комплекса хотелось бы остановиться более подробно.

1. Главным достоинством СВД №482 и всех вагонов того же типа является **комплексное использование магнитного и у.з. методов контроля рельсов.**

Достоинства и недостатки магнитного метода известны всем: он является надежным средством обнаружения развитых дефектов в головке рельса, но при этом невозможно их обнаружение на ранней стадии развития, поскольку глубина залегания дефекта для его обнаружения не должна превышать 6 мм. В 90-е годы во время работы на магнитном вагоне-дефектоскопе мною было обнаружено 30 ОДР за 10 лет. Практически все поперечные трещины имели значительное развитие и выход на боковую поверхность головки рельса.

Использование совмещенного метода контроля рельсов обеспечивает высокую информативность и качество работы комплекса, дает возможность расшифровщику определить степень опасности обнаруженного дефекта, своевременно принять меры по обеспечению безопасности движения поездов.

Сравнительный анализ записи сигналов магнитного и у.з. каналов при проведении нескольких проездов позволяет

точнее проследить динамику развития дефекта: в магнитном канале – по увеличению амплитуды сигналов, изменению формы импульса, в ультразвуковых – по увеличению протяженности пачек эхо-сигналов, по их расположению во временной зоне регистрации сигналов (в «ближней» или «дальней» зонах).

При работе в сложных погодных условиях (например, зимой), отсутствии акустического контакта по различным причинам или механическом повреждении искателей наличие сигналов в одном из каналов просто «спасает» инженера-расшифровщика от пропуска опасного дефекта.

Например, в январе 2003 г. на участке Лянгасово-Поздино Кировского отделения работники СВД №482 обнаружили (и подтвердили при натурном осмотре) дефект кода 21.2 – поперечная трещина по всему сечению головки (рис. 1а). Дефект выявлен только по показаниям магнитного канала, поскольку из-за высокого уровня снега не было акустического контакта у.з. искателей с поверхностью рельса.

В сентябре 2004 г. работники вагона обнаружили ОДР по коду 21.2 на станции Уфимка Ижевского отделения. Из-за неисправности магнитного искателя дефект выявлен по наличию сигналов в эхо и зеркальном у.з. каналах (рис. 1б).

В ноябре 2001 г. во время проезда по участку Шахунья-Горький инженер-расшифровщик обнаружил излом рельса по коду 69. Он также выявлен только магнитным методом, поскольку акустические блоки не работали при температуре -32°C.

Наличие на СВД №482 зеркального и магнитного методов контроля позволяют выявить ОДР в рельсах с множеством поверхностных повреждений («шумящие» рельсы). Следует отметить, что магнитный канал позволяет осуществить наиболее точную привязку дефектного участка по длине рельса. Это важно при экстренном пропуске поезда с минимальной скоростью по дефектному участку, а также при проведении натурального осмотра.

2. Очень полезным нововведением является наличие в схеме прозвучивания аппаратуры «АВИКОН-03» преобразователей, реализующих **зеркальный метод контроля рельсов**. В одном акустическом блоке вместе с основными ПЭП (угол ввода – 58 град. с углом разворота – 34 град.) установлен ПЭП, работающий только на прием у.з. колебаний. Основное преимущество данного метода – обнаружение развитых поперечных трещин в головке рельса. В таких случаях основное количество у.з. лучей, зеркально отражающихся от поверхности дефекта, попадает на приемник.

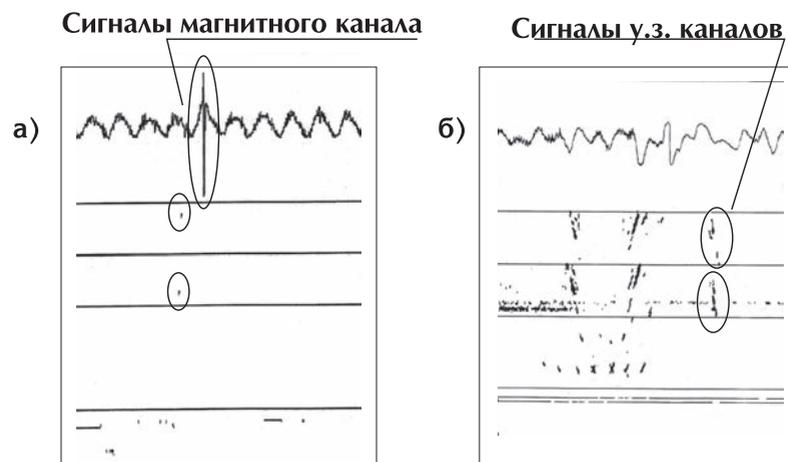


Рис. 1. Комплексирование методов контроля
 а – поперечная трещина (код 21.2) с развитием по всей головке рельса зафиксирована практически только магнитным каналом; из-за высокого уровня снега у.з. каналы ее почти не зафиксировали
 б – поперечная трещина зафиксирована только у.з. каналами, сигналы в магнитном канале полностью отсутствуют, что вызвано глубоким залеганием внутреннего дефекта без выхода на поверхность

Практическое использование данного метода на СВД №482 доказало его работоспособность, а иногда – и незаменимость.

Так за время эксплуатации вагона на Горьковской ж.д. отмечены случаи обнаружения ОДР с помощью зеркального метода, которые ранее не были выявлены другими средствами дефектоскопии.

В июле 2003 г. во время расшифровки дефектограмм нами был обнаружен ОДР по коду 21.2 на станции Окская Горьковского отделения (рис. 2а). При проведении натурального осмотра выявлена поперечная трещина с выходом на нерабочую грань головки остряка. Сравнительный анализ дефектограмм СВД №-482 с дефектограммами другого СВД (ПС-72207) (рис. 2б) выявил, что на записях последнего отсутствуют сигналы в у.з. каналах, т.к. в этом вагоне зеркальный метод контроля отсутствует; дефект уверенно зафиксировал лишь магнитный канал.

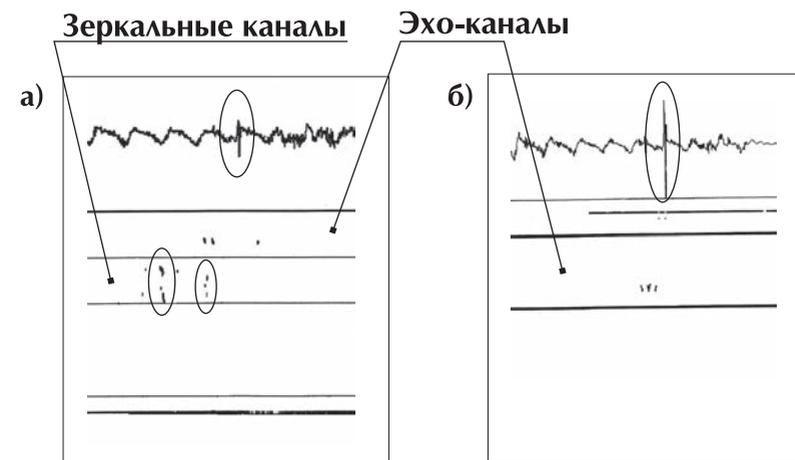


Рис. 2. Дефектограммы поперечной трещины в головке остряка с выходом на нерабочую грань; обнаружен только благодаря наличию пачек сигналов в зеркальном канале и срабатыванию магнитного канала СВД №482
 а – дефектограммы СВД №482; б – дефектограммы СВД ПС-72207

В мае 2003 г. работниками вагона выявлен ОДР по коду 21.2 на станции Каликино Горьковского отделения (рис. 3). В условиях РСП провели принудительный долон данного

рельса; в нем присутствовало пятно в головке рельса, имеющее зеркальную поверхность.

В сентябре 2004 г. на СВД №482 зафиксировали ОДР по коду 21.2 на участке Казань-Канаш Казанского отделения. Поперечная трещина в головке рельса с выходом на рабочую грань обнаружена с помощью зеркального метода, а также по показаниям магнитного канала.

Всего процент выявления ОДР с помощью зеркального метода контроля на СВД №482 составляет 14% от общего числа обнаруженных ОДР.

Съемные дефектоскопы предыдущего поколения, являющиеся первичными средствами контроля, реально пропускают дефекты такого вида.

Поэтому необходимость применения в средствах дефектоскопии зеркального метода контроля рельсов очевидна.

3. Одной из актуальных задач рельсовой дефектоскопии является **определение сроков развития дефекта**, лежащего в пути, для принятия решения об оперативности его замены.

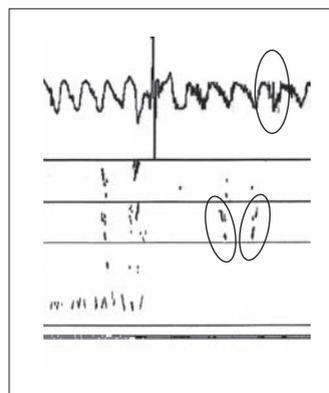


Рис. 3. Иллюстрация выявления дефектов зеркальным методом.

По показаниям магнитного и эхо-каналов практически невозможно принять решение о наличии внутренней трещины, в то же время сигналы зеркального канала свидетельствуют о наличии трещины в головке рельса значительных размеров

Среди причин, определяющих скорость развития дефектов, можно назвать:

- Динамическое воздействие колес подвижного состава. При эксплуатации участков с пропущенным сверхнормативным тоннажем выход ОДР значительно увеличивается. Например, на перегоне Каменище-Тарталей Муромского отделения пути пропущенный тоннаж составляет 843 млн. тонн брутто. За 2004 год на участке с 496 по 501 км выявлено и заменено 50 ОДР.

- Текущее содержание пути. При этом особенно опасным является неудовлетворительное содержание болтовых стыков: наличие сверхдопустимых зазоров, ступенек, просядок, выплесков, ослаблений, скреплений и т.д. «Заусенцы» и неснятые фаски болтовых отверстий способствуют возникновению и развитию опасных дефектов – трещин в болтовых отверстиях кода 53.1.

- Эксплуатация подвижного состава, колесные пары которых имеют выбоины, ползуны.

- Ночные и дневные перепады температур и т.д.

В практике работы СВД №482 были случаи, когда одни дефекты развивались в течение нескольких месяцев, а другие достигали критических размеров уже через 2-3 дня.

Например, в августе 2002 г. на участке Шахунья-Горький был обнаружен ОДР кода 21.2 в рельсе, имеющем расслоения и выкрашивания металла на поверхности катания по всей его длине («шумящий» рельс). Проведя анализ дефектограмм предыдущих проездов, выявлено, что до момента обнаружения данный дефект развивался 3 месяца (рис. 4 а).

В апреле 2005 г. на станции Вековка Муромского отделения расшифровщик обнаружил ОДР по коду 21.2 – поперечную трещину в головке рамного рельса на расстоянии 1 метра от торца. Данный дефект развивался на протяжении 2 месяцев.

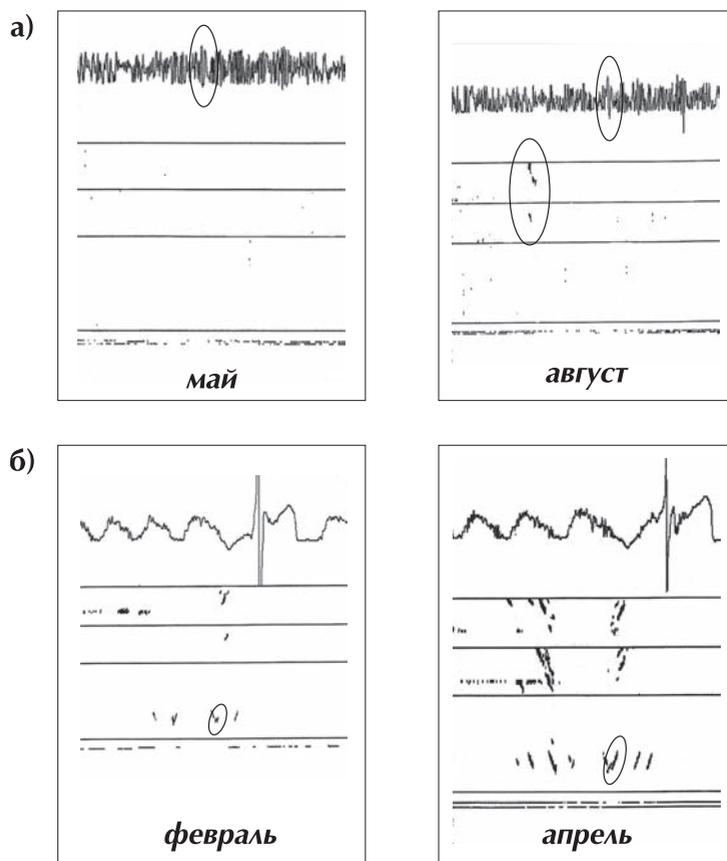


Рис. 4. Примеры развития дефектов за промежуток времени 2-3 месяца: а – поперечная трещина в головке рельса (код 21.2) развивалась в течение 3 мес.; б – радиальная трещина в болтовом отверстии (код 53.1), развитие в течение 2 мес.

В апреле 2003 г. вагон зафиксировал ОДР по коду 53.1 на участке Балезино-Зуевка Кировского отделения. Сравнительный анализ показал, что сигналы от радиальной трещины болтового отверстия имелись на 2-х предыдущих поездках (рис. 4б); на них наблюдалось увеличение пачек сигналов, и до момента обнаружения дефект развивался 2

месяца (не выдан на замену ранее из-за недостатка опыта у расшифровщика).

В январе 2002 г. на этом же участке произошел излом рельса из-за дефекта в головке по коду 21.2 (рис. 5а). Наш вагон работал на данном участке всего за 2 дня, однако по имеющимся сигналам инженеру-расшифровщику было трудно принять решение о степени опасности дефекта, тем более, что на предыдущей дефектограмме сигналы от дефекта отсутствовали. Данный излом был взят на учет как пропущенный ОДР. В этом случае сроки его развития были минимальными. По ряду причин, в том числе из-за перепада температур, произошел излом.

При обнаружении дефектов 6 группы также трудно проследить динамику роста этих дефектов, поскольку они развиваются очень быстро.

Например, в декабре 2001 г. работники СВД № 482 обнаружили ОДР по коду 66.3, выдав отметку на осмотр в суточный срок (рис. 5б). Но из-за несвоевременного осмотра через 2 дня произошел излом рельса.

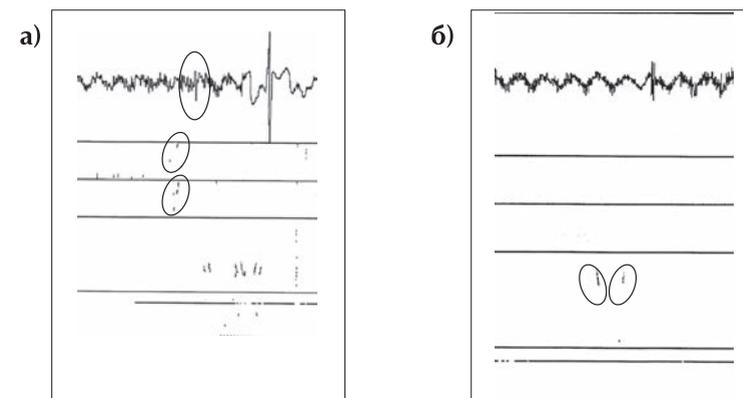


Рис. 5. Записи дефектограмм за 2 дня до изломов а – излом рельса по поперечной трещине в головке произошел из-за значительного перепада температур; б – излом рельса в сварном стыке из-за трещины в подошве произошел в результате несвоевременного проведения натурного осмотра



Одной из основных задач в работе всех средств дефектоскопии является своевременное и качественное проведение натуральных осмотров. Для этого, в частности, необходимо обеспечить мобильные средства дефектоскопии малогабаритными и легкими дефектоскопами, отображающими сигналы в виде В-развертки, например, переносными дефектоскопами нового поколения АВИКОН-02Р производства ОАО «Радиоавионика».

Хотелось бы отметить, что повышению эффективности работы вагона препятствовало несвоевременное заключения договора о техническом обслуживании и сбое в обеспечении запасными частями.

Ситуация изменилась в мае 2005 г., когда был заключен такой договор. В период с 20 по 31 мая на базе ОАО «Радиоавионика» проведен комплекс мероприятий по улучшению работы дефектоскопической аппаратуры:

- установлена новая схема прозвучивания «Ромб», позволяющая проверять одновременно рабочую и нерабочую грани головки рельса, и, в том числе, обнаруживать поперечные трещины под горизонтальными расслоениями;
- улучшены технические характеристики комплекса (повысилась чувствительность и помехозащищенность аппаратуры);
- усовершенствовано программное обеспечение.

Надеемся, что модернизация оборудования и программного обеспечения, а также накопленный опыт работы экипажа СВД №482 позволит дополнительно повысить эффективность работы вагона.

В заключении – несколько советов начинающим инженерам-расшифровщикам съемных и мобильных средств НК рельсов:

- обеспечивайте точную привязку дефектного участка к реальному пути;
- при определении степени опасности дефекта обя-

зательно анализируйте дефектограммы предыдущих проездов;

- как можно чаще выезжайте на натурные осмотры, чем их больше, тем опытнее расшифровщик;
- работайте в тесном сотрудничестве с операторами дефектоскопных тележек, осуществляя совместные проходы с разными типами данных средств;
- постоянно анализируйте свою работу, ведите учет обнаруженных ОДР и альбомы дефектограмм, сравнивайте полученные записи с дефектограммами других средств.

Все это необходимо для качественной расшифровки сигналов дефектоскопических комплексов.

Считаю, что только комплексная работа всех дефектоскопических средств и тесное сотрудничество операторов, инженеров, расшифровщиков обеспечит необходимую безопасность движения поездов на Российских железных дорогах.

Приложение 4

Программа трехмерного моделирования сигналов ультразвукового контроля изделий*

А. А. Марков, В. В. Мосягин, М. В. Кескинов

Состояние вопроса. Основные задачи

В последние годы в неразрушающем контроле рельсов, уложенных в путь, произошли значительные изменения [1]. Вагоны и автотоматические дефектоскопы с бортовыми компьютерами одновременно реализуют ультразвуковые и магнитные методы контроля [2]. Съёмные дефектоскопные тележки нового поколения на встроенных микропроцессорах имеют непрерывную регистрацию сигналов по всем каналам контроля [3, 4].

Для надежного выявления разнообразно ориентированных дефектов в рельсах указанные средства используют ввод ультразвуковых (у.з.) колебаний с поверхности катания головки рельса под разными углами. Комплекс наклонных и прямых пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), установленных на искательную систему дефектоскопического средства, формирует так называемую схему прозвучивания сечений рельса. В настоящее время в мобильных и съёмных средствах дефектоскопии рельсов применяют до 10 разнообразных схем прозвучивания, отличающихся количеством используемых ПЭП, реализуемыми методами у.з. контроля и обладающих разной потенциальной технической эффективностью [5].

* Опубликовано в журнале «Дефектоскопия», 2005, № 12. Печатается практически без изменений

В наиболее совершенных схемах прозвучивания используются оригинальные преобразователи, реализующие новый для рельсовой дефектоскопии зеркальный метод контроля и формирующие двухлучевую диаграмму направленности [6, 7]. В результате, благодаря внедрению новой техники, количество изломов по дефектам в рельсах за последние годы уменьшилось в несколько раз.

Однако некоторые проблемы дефектоскопии рельсов остаются всё еще нерешенными, а отдельные параметры контроля требуют уточнения и корректировки. В числе прочих к весьма актуальным задачам рельсовой дефектоскопии можно отнести:

1. Исследование известных схем прозвучивания сечений рельсов с целью получения информации о потенциальных возможностях по обнаружению дефектов. Оптимизация параметров элементов схем прозвучивания для дальнейшего повышения эффективности контроля рельсов.

2. Разработка принципов и алгоритмов распознавания сигналов от дефектов на фоне помех и отражений от конструктивных отражателей с целью автоматизации процесса расшифровки сигналов контроля.

Знание недостатков схем прозвучивания, например, «мертвых зон» – областей рельса, полностью или частично не контролируемых данной схемой прозвучивания, позволит в дальнейшем исправить существующую ситуацию путем доработки имеющихся или создания новых схем, что естественным образом отразится на эффективности контроля и безопасности железнодорожного транспорта.

От правильного выбора количества, геометрического положения, углов ввода и режимов работы ультразвуковых преобразователей зависит эффективность средства контроля в целом. Определение оптимальных значений параметров искачительных систем с целью повышения эффективности контроля рельсов является важной, но на сегодняшний день окончательно не решенной задачей ультразвуковой дефектоскопии.

При ультразвуковом контроле рельсов вагоны-дефектоскопы и дефектоскопные автотрисы осуществляют сплошную (непрерывную) регистрацию сигналов контроля на всей протяженности контролируемого пути с одновременной регистрацией координат сигналов, позволяющих осуществлять привязку обнаруженных дефектов к пути. Расшифровка результатов контроля путем просмотра на экране компьютера каждого миллиметра пути по всем дефектоскопическим каналам является весьма трудоемкой и утомительной операцией. Кроме достаточно высокой квалификации от оператора требуется сосредоточенность и внимательность в процессе выполнения работы.

При постепенной замене устаревшего парка съемных двухниточных средств дефектоскопии на новые, оснащенные регистраторами сплошного контроля, нагрузка на работника цеха дефектоскопии, ответственного за просмотр и анализ зарегистрированной информации, многократно возрастет, что, безусловно, приведет к дополнительным ошибкам. Выходом из сложившейся ситуации является переход на автоматическую расшифровку сигналов контроля. Вместе с тем создание алгоритмов автоматической расшифровки сигналов контроля носит проблемный характер. Это вызвано как многообразием существующих дефектов [8], присутствием в сигналах контроля шумов и групп сигналов (пачек) от конструктивных несплошностей рельса, так и постоянно изменяющимися условиями контроля [2].

Варианты решения задач

Для решения вышеназванных задач применяются различные методы.

1. Натурный эксперимент позволяет получать сигналы от физических моделей или реальных дефектов с известными параметрами. Эти сигналы могут быть использованы для решения поставленных задач, так как они представляют со-

бой информацию, по которой можно оценить как эффективность конкретной схемы прозвучивания, так и отражающие свойства различных дефектов. В то же время данные, получаемые по результатам серии натуральных экспериментов, являются статистически неоднородным материалом – при их анализе невозможно учесть влияние на конечный результат множества факторов: случайного изменения степени акустического контакта, степени износа и отклонения геометрических характеристик рельса от номинальных, флуктуации отражающих свойств поверхностей рельса и дефектов, неточности геометрии конкретных ультразвуковых преобразователей и погрешностей установки (центровки) искательной системы.

Кроме того, подготовка и проведение серий натуральных экспериментов, в том числе создание физических моделей дефектов – трудоемкие процессы, требующие значительных затрат и времени.

2. Теоретический расчет на основе точных или приближенных (эмпирических) формул. Расчет на основе точной теории крайне сложен и трудоемок. Более эффективными являются приближенные расчеты с введением ряда упрощений: аппроксимацией диаграмм направленности пьезоэлектрических преобразователей простыми функциями [9], упрощение формы рельса, отказ от учета ряда незначительно влияющих факторов и пр.

Теоретический расчет позволяет решать поставленные задачи. Однако вычисления необходимо проводить всякий раз заново для каждой новой искательной системы или конфигурации рельса, что остается весьма трудоемким даже с учетом принятых аппроксимаций.

3. Компьютерное моделирование на основе математической модели позволяет автоматизировать процессы вычисления. Трудоемкий процесс синтеза математической модели производится один раз на этапе проектирования. На основе созданной математической модели строятся алгорит-



мы, которые реализуются в виде компьютерной программы. В дальнейшем, при смене параметров искательной системы или конфигурации (типа) рельса, перерасчет производится автоматически. Именно возможность выполнения значительного объема вычислений за короткое время при сохранении требуемой точности стало причиной использования этого подхода для решения поставленных задач.

Существующие на сегодняшний день компьютерные программы моделирования [10] обладают рядом недостатков и уже не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. В этих программах для каждого канала искательной системы применяется отдельная математическая модель, описывающая физические процессы только в рамках данного канала, и применяются соответствующие, специфические для каждого канала, алгоритмы работы. Это автоматически сужает область работы программы до диапазона действующих каналов. Как правило, существующие программы могут синтезировать сигналы только для одного конкретного типа дефектоскопа, что делает невозможным их использование для решения задач оптимизации схем прозвучивания, сравнительного анализа средств контроля и разработки новых устройств.

Кроме того, разработанные ранее средства компьютерного моделирования имеют ряд функциональных ограничений, таких как невозможность установки преобразователей на другие поверхности рельса (боковые грани головки, пьезо подошвы), ограничение на число преобразователей и их тип, невозможность изменения отдельных параметров (ПЭП) и др. Эти программы разрабатывались с целью получения в конечном итоге моделей сигналов в виде разверток типа А и (или) В. Однако для решения вышеназванных задач представление моделей сигналов контроля только на развертках указанного типа недостаточно.

Программа трехмерного моделирования сигналов ультразвукового контроля

Для наглядной оценки эффективности применяемой схемы прозвучивания предлагается использовать диаграммы озвучивания сечения рельса. Вводимая диаграмма позволяет оценить потенциальные возможности заданной схемы прозвучивания по выявляемости дефектов в различных областях контролируемого изделия.

Диаграмма озвучивания представляет собой цветную диаграмму в форме сечения контролируемой части рельса, на которой показаны максимальные за время сканирования амплитуды колебаний точек среды в окрестности исследуемого сечения. Для этого все сечение контролируемой части рельса (например, головки) разбивается на N областей. Затем в каждой области оценивается изменение амплитуды колебаний точек среды за время сканирования. В результате на диаграмме отображаются максимальные значения амплитуд сигналов, достигаемых за полное время сканирования в каждой области рельса. Амплитуды колебаний на диаграмме отображаются цветом в соответствии с принятой цветовой градацией (палитрой).

Построенная таким образом диаграмма позволяет оценить эффективность как данной системы прозвучивания, так и средства контроля в целом. Она представляет данные, характеризующие возможности средства по обнаружению дефектов в различных частях контролируемого изделия.

При синтезировании схем прозвучивания также требуется знать траекторию распространения у.з. волн в металле рельса с учетом отражений от конструктивных отражателей при заданных характеристиках ПЭП. Знание механизмов формирования пачек эхо-сигналов от конструктивных отражателей рельса необходимо и при формировании алгоритмов распознавания сигналов от потенциальных дефектов.

В связи с необходимостью решения вышеназванных задач и невозможностью решить эти задачи другими способами в 2003-2005 годах в ОАО «Радиоавионика» разработана программа моделирования «RAIL-3D». В основе работы программы лежит детерминированная математическая модель, созданная на базе существующих теоретических знаний в области у.з. локации [9, 11].

Отличительной особенностью новой программы является трехмерное моделирование процессов распространения у.з. волн в металле рельса. Математическая модель работает на основе общих принципов функционирования средств ультразвуковой локации, что позволяет моделировать работу практически любой искательной системы вне зависимости от количества, расположения, типов и режимов работы у.з. преобразователей.

Перед началом моделирования описываются все входящие в искательную систему ПЭП. Для каждого из них указываются углы ввода и разворота, ширина диаграммы направленности в основной и дополнительной плоскостях, радиус пьезопластины и высота призмы. Кроме того, указывается режим работы ПЭП и его плоскость установки, в качестве которой может быть использована не только поверхность катания рельса, но и боковые (рабочая и нерабочая) грани головки, подголовочные грани, поверхность шейки, перья и основание подошвы рельса.

Моделирование может производиться для заданного типа рельса (P50, P65, P75) с любой величиной износа. Возможно также моделирование процесса распространения и приема у.з. колебаний на отраслевых стандартных образцах (СО-1Р, СО-2, СО-3, СО-3Р [12]) и других объектах.

В качестве моделей дефектов в рельсе могут быть использованы различные геометрические отражатели: плоские (прямоугольник, эллипс) и объемные (шар, эллипсоид). Форма эллипсоида наиболее близко описывает геометрию

таких реальных дефектов, как поперечные трещины в головке рельса и различного рода расслоения металла головки и шейки рельса (коды 20, 21, 30, 50 по [13]). В некоторых случаях, для математического описания этих дефектов, а также дефектов с кодами 24, 27, 55 подходит отражатель в виде плоской пластины прямоугольной или эллиптической формы. Плоский геометрический отражатель прямоугольной формы также применяется при моделировании процесса отражения ультразвуковых волн от радиальных трещин болтовых отверстий (дефект кода 53 по [13]).

Для моделирования болтовых и других отверстий в изделии используется геометрический отражатель в форме цилиндра, который позволяет анализировать процесс отражения ультразвуковых волн от поперечных, продольных, вертикально и произвольно расположенных отверстий в головке, шейке и подошве рельса. В рамках модели реализуется зеркальное и диффузное отражение. Акустические свойства поверхностей дефектов и конструктивных отражателей задаются перед началом моделирования.

Программа выполнена в виде Windows-приложения и имеет удобный пользовательский интерфейс (рис. 1, 2). В режиме подготовки к моделированию (рис. 1) оператор вводит в программу исходную информацию.

Установка положения, размеров, ориентации дефектов и конструктивных несплошностей может производиться как с помощью манипулятора типа «мышь» на изображении рельса, отображаемого в окне программы «RAIL-3D», так и путем ввода точных численных значений. Вид рельса выбранного типа с заданными конструктивными отражателями и дефектами, а также искательная система отображаются в окне программы. Искательная система представляет собой набор ПЭП, для каждого из которых на профиле рельса отображается направление акустической оси с учетом углов ввода и разворота ПЭП. В режиме настройки искательной системы для

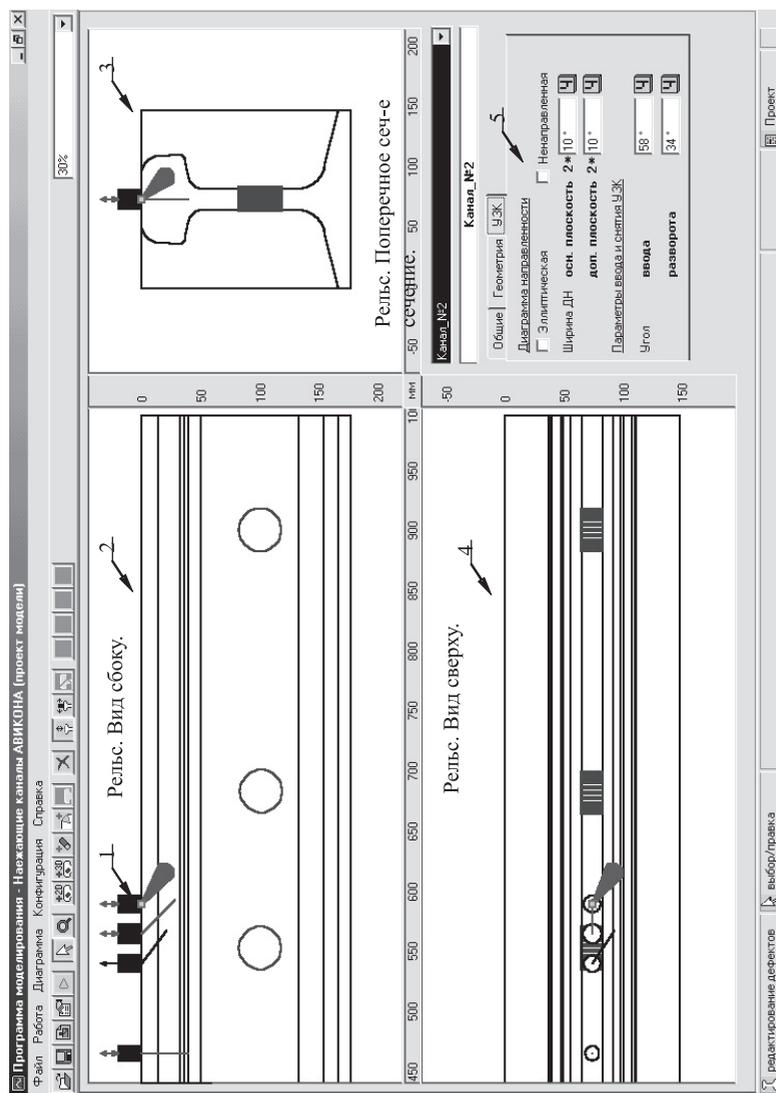


Рис. 1. Режим подготовки к моделированию программы RAIL-3D: 1 – выделенный ПЭП; 2, 3, 4 – продольное, поперечное и горизонтальное сечения модели контролируемого объекта с конструктивными несплошностями и дефектами; 5 – параметры выделенного ПЭП

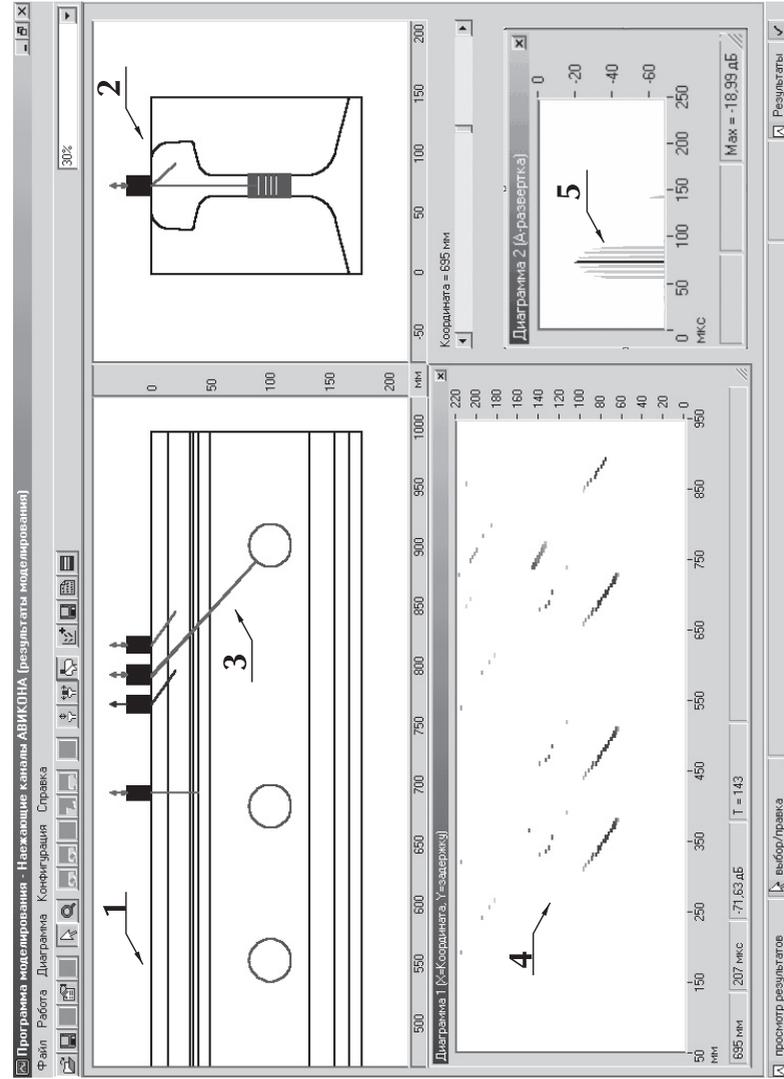


Рис. 2. Режим просмотра и обработки результатов моделирования программы RAIL-3D: 1, 2 – продольное и поперечное сечения модели контролируемого объекта; 3 – траектории УЗ лучей, рассчитанные и построенные программой RAIL 3D; 4, 5 – полученные модели сигналов на развертках типа А и В

выбранного ПЭП помимо прочего отображается пространственная диаграмма направленности в виде расходящегося от ПЭП конуса, расчет которого производится с учетом углов ввода, разворота и диаграммы направленности ПЭП.

В режиме просмотра результатов моделирования (рис. 2) программа отображает принятые сигналы на развертках типа А и В и траектории у.з. волн для каждого из заданных дефектоскопических каналов. Может быть представлена развертка типа В с учетом амплитуд сигналов, для чего в программе предусмотрена поддержка различных цветовых схем (RainBow, GrayScale и др.).

Кроме того, программа «RAIL-3D» позволяет строить диаграммы озвучивания сечения рельса, характеризующие распределение амплитуд колебаний ультразвуковых волн по заданному сечению. Для решения задач оптимизации введены возможности построения двух- и трехмерных диаграмм, характеризующих изменение выходных данных (амплитуд, количества эхо-сигналов и др.) в зависимости от изменяемых параметров искательной системы (таких как углы ввода, разворота, расположение входящих в состав искательной системы ПЭП и пр.).

Экспериментальная проверка

Для практической проверки точности моделирования с помощью разработанной программы «RAIL-3D» был поставлен ряд натуральных экспериментов.

Формирование сигналов в образце СО-2

Рассмотрим пример моделирования процесса сканирования стандартного образца СО-2 с помощью программы «RAIL-3D». Геометрические параметры образца СО-2 введены в программу моделирования согласно ГОСТ 14782-86 [14]. После задания параметров образца достаточно указать программе «RAIL-3D» характеристики используемого ПЭП

(угол ввода, размер пьезопластины и другие параметры) и дать команду на выполнение моделирования. После проведения всех вычислений программа отображает полученные пакки эхо-сигналов, а также траектории у.з. волн в стандартном образце. Сигналы, полученные при сканировании образца с помощью ПЭП с углом ввода 45° и состоящего из круглой пьезопластины радиусом 6 мм, представлены на развертке типа В (рис. 3, а). Там же (рис. 3, в) отображены траектории у.з. волн для каждой из полученных пачек и результаты физического эксперимента (рис.3, б). Видно хорошее соответствие результатов моделирования с реальными сигналами.

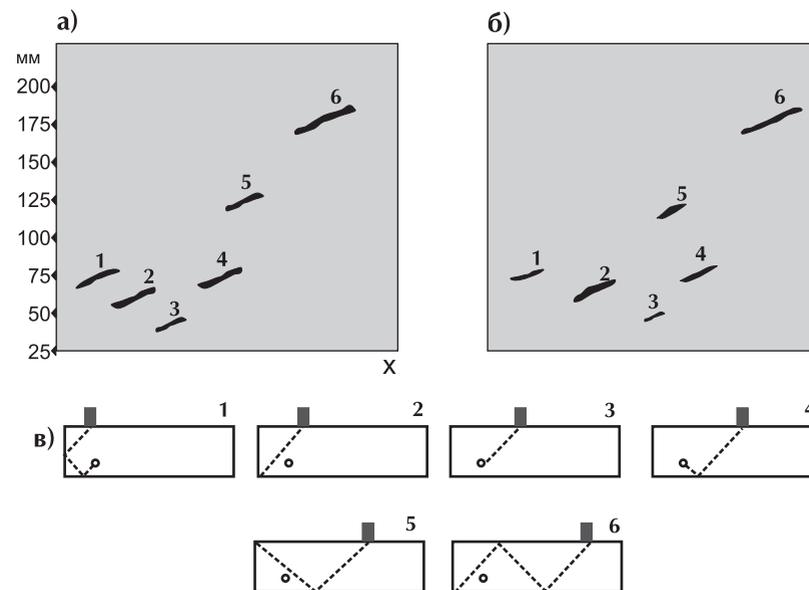


Рис.3 Формирование пачек эхо-сигналов при озвучивании стандартного образца СО-2 (ПЭП с углом ввода 45 градусов): а – математическая модель сигнала; б – реальный сигнал; в – траектории у.з. волн (№ положений ПЭП относится к пачкам сигналов под соответствующими №№ на а) и б)

Озвучивание головки рельса

Сканирование головки рельса типа Р65 осуществлялось акустическим преобразователем, реализующим схему прозвучивания «РОМБ» (разработка ОАО «Радиоавионика» [15, 16]), которая успешно применяется в дефектоскопах типа АВИКОН-01 (МР) для обнаружения дефектов в головке рельса. ПЭП, реализующий схему «РОМБ» (рис.4), содержит две пьезопластины с углом ввода 58° , собранные в одном корпусе таким образом, что угол между акустическими осями составляет 68° . Наиболее эффективно с ее помощью выявляются поперечные трещины в головке (коды 20, 21, 24 и 27 по [13]) [5].

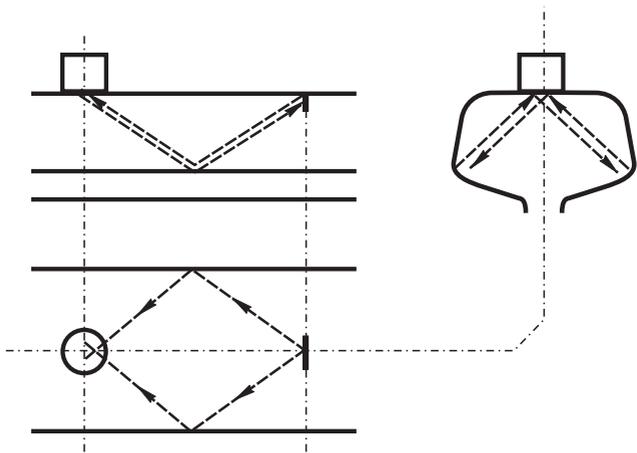


Рис. 4. Схема прозвучивания головки рельса «РОМБ» (разработка ОАО «Радиоавионика», патент № 2184960)

В контролируемом рельсе создана физическая модель дефекта 20.2 в виде вертикального пропила с поверхности катания (рис. 5).

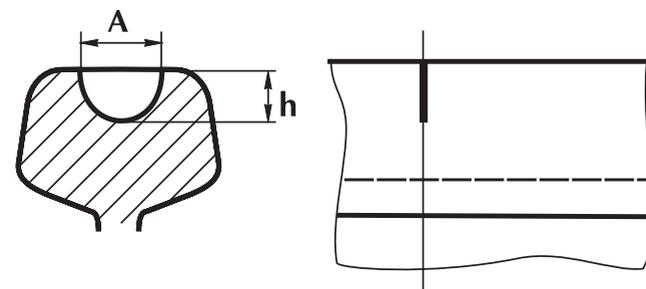


Рис. 5. Физическая модель поперечной трещины в центральной части головки рельса (дефект кода 20.2)

В результате сканирования рельса получена устойчивая пачка эхо-сигналов от созданной модели дефекта (табл. 1). С помощью программы моделирования «RAIL-3D» опыт был повторен, только теперь параметры рельса (тип, износ), искательной системы (угол ввода, разворота, положение и пр.) и дефекта (положение, размер) вводились в компьютер, который и брал на себя выполнение всех действий по расчету сигналов и траекторий ультразвуковых волн в рельсе. Результаты моделирования для сравнения с реальными сигналами представлены в виде разверток типа В и сведены в табл. 1. В столбце «результат наложения диаграмм» представлены результаты наложения В-разверток, полученных в ходе натурального эксперимента и компьютерного моделирования, причем результаты компьютерного моделирования для наглядности сдвинуты в область меньших задержек на 10 мкс. Для численной оценки точности модели вычислен коэффициент корреляции K между пачками сигналов [17], полученных в процессе физического эксперимента и математического моделирования. Как видно из табл. 1, в данном эксперименте коэффициент корреляции составил 70%.

Таблица 1

Оценка точности моделирования программы RAIL-3D

Иск. сист. и тип отражателя	В-развертка		Результат наложения диаграмм*	К (%)
	Натурный эксперимент	Компьютерное моделирование		
Схема «РОМБ» Дефект 20.2				70
45° Болтовое отверстие				81
45° Отверстие в шейке и нижн. угол торца (рис. 4)				63

* При наложении диаграмм результат компьютерного моделирования сдвинут на 10 мкс в область меньших задержек (для большей наглядности)

Рассмотрим диаграмму озвучивания, рассчитанную программой моделирования «RAIL-3D» для ПЭП, реализующего схему прозвучивания «РОМБ». Для каждого положения ПЭП в программе выполнялся расчет траекторий 1800 синтезируемых лучей, расходящихся в конусе в соответствии с диаграммой направленности. Лучи, попадающие в область исследуемого сечения, создавали колебания точек среды, амплитуда которых фиксировалась в каждый момент време-

ни в течение всего проезда. Сечение головки рельса было разбито на N=150 областей (площадь одной области 25 мм²). Для каждой области программой автоматически произведен отбор максимальных значений акустических амплитуд из массива всех амплитуд, зафиксированных в данной области за время сканирования.

На рис. 6 отображена диаграмма озвучивания и палитра, которая показывает соответствие между цветами на диаграмме и значениями амплитуды колебаний среды в области сечения. При расчете амплитуды учитывалась диаграмма направленности излучения ПЭП и потери энергии волны при затухании и отражениях от граней головки. Амплитуда представлена в децибелах относительно акустической амплитуды зондирующего импульса.

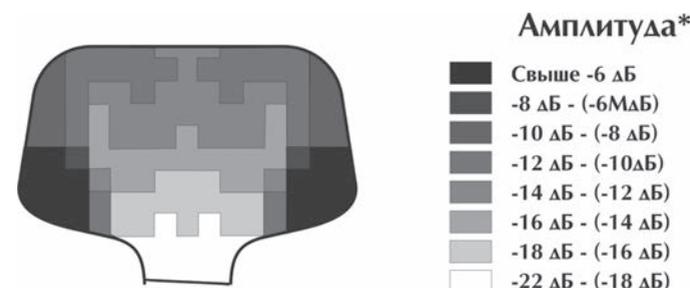


Рис. 6. Диаграмма озвучивания сечения головки рельса схемой «РОМБ»

Из построенной диаграммы видно, что искательная система, построенная по схеме «РОМБ», при прозвучивании рельса создает существенные ультразвуковые колебания во всем сечении головки. Это и позволяет схеме «РОМБ» успешно выявлять различные дефекты в головке рельса, в том числе опасные поперечные трещины (дефекты 20, 21, 24, 25 и 27). Этот тезис неоднократно подтверждался на практике при контроле рельсов, уложенных в путь. Так, в ходе эксплуатации дефектоскопов АВИКОН-01МР, в кото-

рых реализована схема прозвучивания «РОМБ», с их помощью обнаружены десятки опасных дефектов в головке (рис. 7), которые, в случае их пропуска, могли привести к излому рельса и сходу подвижного состава.



Рис. 7. Поперечная трещина в головке рельса (дефект кода 21.2), обнаруженная схемой «РОМБ»

Формирование сигналов в зоне болтового стыка
Оценим возможности программы «RAIL-3D» при моделировании процесса контроля шейки рельса. При проведении натурального эксперимента выбран широко используемый в дефектоскопии для контроля болтовых отверстий ПЭП с углом ввода у.з. колебаний 45° . Сканирование производилось по поверхности катания рельса типа Р65 (износ 1 мм) над стандартным болтовым отверстием. В результате получена устойчивая пачка сигналов в области 70 мкс. Компьютерное моделирование дало аналогичные результаты. Значение коэффициента корреляции между полученными пачками сигналов составило 81% (см. табл. 1).

В следующем эксперименте также использовался искатель с углом ввода 45° . Особенностью этого эксперимента являлось то, что за один проезд одновременно получены две пачки эхо-сигналов – одна от нижнего угла торца рельса Р65 (износ 1 мм), а вторая от небольшого отверстия в шейке рельса (рис. 8). Отверстие с радиусом 5 мм располагалось на расстоянии 100 мм от торца рельса и в 70 мм от поверх-

ности катания (расстояния даны относительно центра отверстия). Результаты моделирования и эксперимента также приведены в табл. 1.

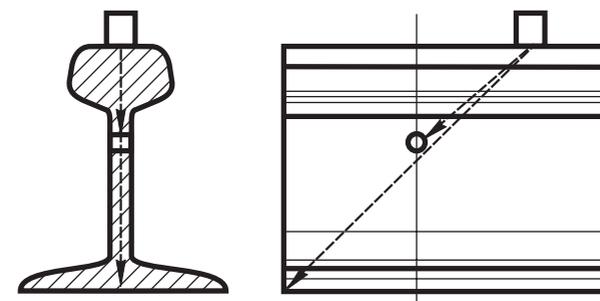


Рис. 8. Внешний вид рельса Р65 с отверстием в шейке и схема формирования пачек эхо-сигналов от отверстия и торцевого угла

Особенности обнаружения радиальных трещин в зоне болтовых отверстий

Рассмотрим особенности выявления радиальных трещин от болтовых отверстий (дефект кода 53.1 по [13]). Своевременное выявление радиальных трещин от болтовых отверстий особенно важно, так как на отдельных железных дорогах до недавнего времени они составляли до 40% от всех обнаруживаемых дефектов. Усталостная трещина, выходящая из болтового отверстия в шейке рельса под углом около 45° к его оси, может привести к сходу подвижного состава, так как при ее развитии с торца выкалывается кусок головки длиной примерно с высоту рельса [18].

Для контроля зоны шейки и подошвы рельса во всех системах используются ПЭП, вводящие у.з. колебания под различными углами от 35° до 45° . При проведении у.з. контроля могут быть получены сигналы, визуально похожие на сигналы от дефекта кода 53.1, в то время как в реальности радиальная трещина на контролируемом участке отсутствует. Как выяснилось, эти сигналы вызваны ложными отражени-

ями от внутренней поверхности болта, иногда весьма плотно прилегающего к стенке болтового отверстия. Благодаря давлению, которое возникает со стороны болта на стенку болтового отверстия, между ними возникает акустический контакт. Часть у.з. волны проникает в болт, отражается от его внутренней поверхности и возвращается в рельс, что и приводит к формированию дополнительной пачки сигналов.

Таким образом, возможно получение двух похожих сигналов, один из которых является сигналом от внутренней стенки болта, а второй – сигналом от опасного дефекта в рельсе. Поэтому в процессе расшифровки дефектограмм контроля болтовых отверстий существует вероятность ошибки идентификации типа отражателя, что приводит к снижению надежности контроля.

С целью решения этой проблемы нами выполнен анализ параметров полезных сигналов и помех, сформулированы критерии отличия, позволяющие выделить полезные сигналы.

Рассмотрим решение этой задачи на примере искательной системы, применяемой в дефектоскопах типа АВИКОН-01МР, в которых для контроля шейки и подошвы применяются преобразователи, формирующие двухлучевую диаграмму направленности с углами ввода 41° и 49° (центральный угол 45°). Эффективность такой системы по выявлению радиальных трещин от болтовых отверстий неоднократно подтверждалась при контроле рельсов, лежащих в пути [4, 18].

Оценим возможные значения параметров пачек эхо-сигналов, получаемые как в случае контроля бездефектного отверстия с плотно прилегающим болтом, так и в случае контроля отверстия с дефектом кода 53. Для сравнительного анализа дефектограмм по аналогии с [18] нами введены следующие дополнительные параметры пачек эхо-сигналов (рис. 9):

- временной интервал между эхо-сигналами Δt ;
- расстояние (смещение) между центрами пачек эхо-сигналов Δx .

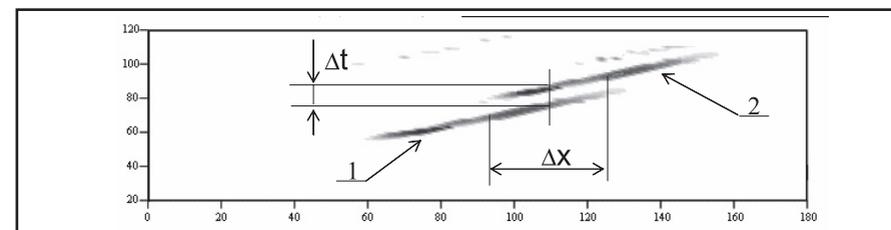


Рис. 9. Параметры пачек эхо-сигналов от болтового отверстия и несплошности (болта или дефекта 53.1):
1 – от болтового отверстия; 2 – от несплошности

С помощью программы «RAIL-3D» проведено моделирование двух ситуаций:

Ситуация А. Сканирование стандартного болтового отверстия ($d=36$ мм) в рельсе типа Р65 с плотно прилегающим к его стенке болтом стандартного размера ($d=27$ мм) [19] при различных положениях болта.

Ситуация Б. Сканирование стандартного болтового отверстия в рельсе типа Р65 с радиальной трещиной различной длины и ориентации.

Для сканирования выбрана искательная система с двухлучевой диаграммой направленности [7]. Сканирование проводилось с дискретным шагом 2 мм. При моделировании исследовалось влияние ряда факторов на получаемые значения параметров Δt и Δx :

- при сканировании болтового отверстия с плотно прилегающим болтом (ситуация А):
 - положение болта в болтовом отверстии;
 - степень износа болта;
 - степень акустического контакта между отверстием и болтом;
- при сканировании болтового отверстия с дефектом кода 53 (ситуация Б):
 - длина трещины;
 - угол наклона трещины;
 - место образования трещины;
 - акустические свойства поверхности трещины;

в) в обоих случаях:

— чувствительность средства контроля.

Некоторые характерные пачки сигналов, полученные путем моделирования, представлены в виде разверток типа В в табл. 2.

Значение параметра Δx в ситуации А определяется в основном положением болта и степенью акустического контакта между болтом и болтовым отверстием. Расстояние между центрами пачек Δx в этом случае лежит в диапазоне от 0 до 35 мм. Наименьшее значение Δx наблюдается, когда центр болта и центр отверстия находятся на линии, проходящей под углом 45° относительно вертикали. При смещении болта от этого положения значение Δx увеличивается. Зависимость параметра Δx от степени акустического контакта неоднозначна. При низком акустическом контакте условная протяженность пачки сигналов от болта будет меньше, чем условная протяженность пачки сигналов от болтового отверстия. При этом пачка эхо-сигналов от внутренней поверхности болта полностью или частично располагается над пачкой сигналов от отверстия (№ п/п 1 в табл. 2). В этом случае величина смещения при уменьшении акустического контакта будет расти. При значительном акустическом контакте происходит существенное снижение размера пачки сигналов от болтового отверстия и, как следствие, уменьшение условной протяженности пачки от болтового отверстия. В этом случае пачка эхо-сигналов от болта может существенно выходить за границы пачки сигналов от болтового отверстия (№ п/п 2 в табл. 2). Значение параметра Δx в этом случае наибольшее (может достигать 35 мм) и увеличивается пропорционально увеличению степени акустического контакта.

Значение параметра Δt в ситуации 1 определяется в основном степенью износа болта и лежит в диапазоне 13...18 мкс.

В ситуации Б параметры Δx и Δt оказываются взаимно коррелированными (чем больше Δx , тем больше Δt и наоборот). При этом значения временного интервала между пачками (Δt) колеблется в диапазоне 2...16 мкс, а расстояние между центрами пачек (Δx) превышает 20 мм.

В зависимости от геометрического положения и длины трещины наибольший вклад в образование пачки от дефекта дает один из двух типов отражений (рис. 10):

а) отражение ультразвуковых волн от угла, образованного стенкой болтового отверстия и плоскостью трещины (рис. 10, а);

б) отражение ультразвуковых волн только от плоскости трещины (рис. 10, б), которое характерно для сильно развитых трещин с зеркальной поверхностью.

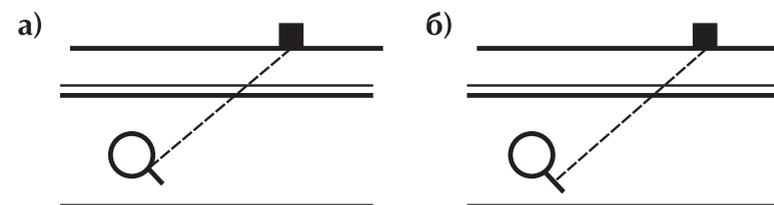


Рис. 10. Возможные типы отражения у.з. волн от дефекта 53.1:
а – от угла, образованного стенкой болтового отверстия и дефектом;
б – от плоскости дефекта

Для первого типа отражения (а) характерны небольшие значения параметров: Δx от 20 до 60 мм; Δt от 2 до 10 мкс. Значение Δt минимально для вертикально ориентированной трещины и максимально для трещины, направленной вниз под углом около 45° . В рассматриваемой ситуации следует идентифицировать тип несплошности (дефект или болт) по значению параметра Δt , так как эхо-сигналы от болта не могут иметь столь низкое значение временной задержки.

В случае развитой трещины (б) величина Δt может достигать 16 мкс. В этой ситуации идентифицировать тип отражателя (дефект или болт) по значению параметра Δt практически невозможно. В то же время в силу взаимозависимости параметров Δx и Δt увеличение временной задержки Δt ведет к увеличению расстояния между центрами пачек. Значение параметра Δx (как показывает моделирование) оказывает

ся больше 35 мм, что нехарактерно для мешающего сигнала от болта. Поэтому идентификацию типа отражателя следует производить, исходя из значения параметра Δx .

Полученные значения задержек согласуются с выполненными ранее теоретическими расчетами сигналов от дефекта кода 53 [7, 18]. В то же время анализ величин смещений центров пачек сигналов вдоль пути производится впервые.

Результаты проведенных исследований представлены в форме диаграмм (рис. 11, а; рис. 12, а), которые представляют собой шкалы параметров с нанесенными на них диапазонами возможных значений для каждого типа отражателя. Как видно, обеспечивается однозначная идентификация мешающего и полезного сигналов по значениям измеренных параметров Δx и Δt .

Для практической проверки полученных результатов производился сбор и анализ реальных сигналов, получаемых при контроле уложенных в путь рельсов типа Р65 ультразвуковым дефектоскопом АВИКОН-01МР с каналами, содержащими ПЭП с двухлучевой диаграммой направленности (каналы 6 и 8 [4]). Тип отражателя при этом заранее известен (определен путем натурального осмотра и другими способами). Оценивались параметры пачек эхо-сигналов Δx и Δt . По результатам анализа построены графики (рис. 11, б; рис. 12, б). По оси абсцисс откладывалось значение параметра, а по оси ординат – количество N пачек с данным значением параметра. Всего для построения данных графиков было проанализировано 80 пачек эхо-сигналов.

Как видно из приведенных диаграмм, все значения параметров пачек реальных сигналов лежат в пределах рассчитанных диапазонов, что подтверждает правильность проведенных вычислений.

Полученные результаты будут учтены при корректировке алгоритмов работы соответствующих каналов нового двухлучевого дефектоскопа АВИКОН-11 и при разработке программы автоматической расшифровки сигналов контроля рельсов съемными и мобильными средствами контроля.

Использование программы «RAIL-3D» не ограничивается

приведенными примерами. Они лишь демонстрируют широкие возможности принятого подхода и разработанной программы при решении практических задач дефектоскопии ответственных изделий.

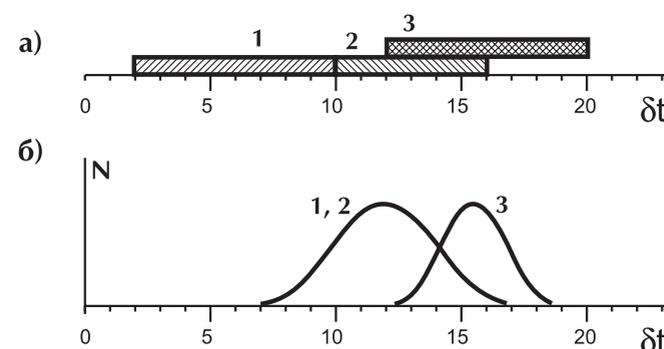


Рис. 11. Диапазон значений временного интервала Δt между пачками эхо-сигналов по результатам компьютерного моделирования (а) и анализа реальных сигналов (б), полученных от: 1 – угла, образованного стенкой стеной болтового отверстия и дефектом; 2 – плоскости дефекта; 3 – болта, прижатого к стенке болтового отверстия

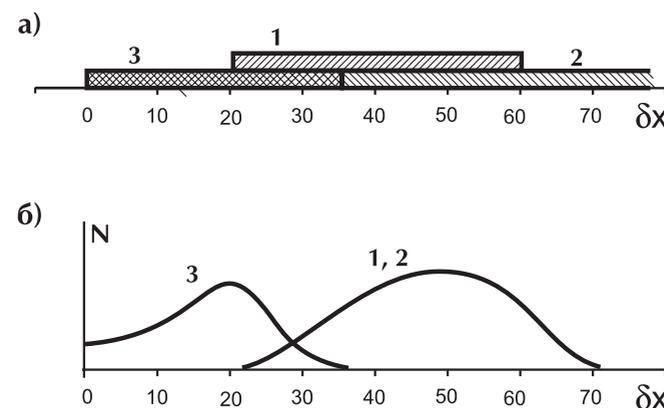
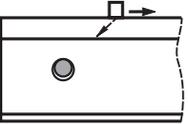
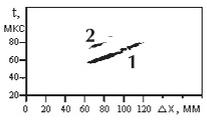
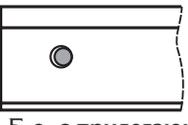
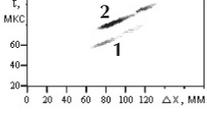
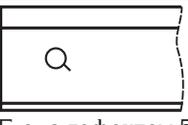
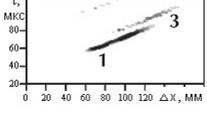
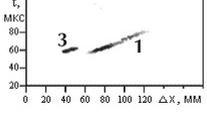
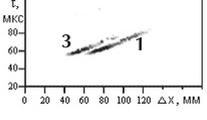
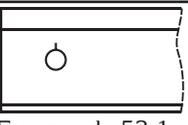
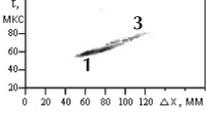


Рис. 12. Диапазон значений расстояния Δx между центрами пачек эхо-сигналов по результатам компьютерного моделирования (а) и анализа реальных сигналов (б), полученных от: 1 – угла, образованного стенкой болтового отверстия и дефектом; 2 – плоскости дефекта; 3 – болта, прижатого к стенке болтового отверстия

Таблица 2

Оценка параметров пачек эхо-сигналов

Прозвучиваемая несплошность	В-развертки сигналов (по результатам моделирования)	Параметры пачек	
		Δx , мм	Δt , мкс
 Б.о. с прилегающим сверху болтом		15	16
 Б.о. с прилегающим слева болтом		25	17
 Б.о. с дефектом 53.1, направленным вниз		27	10
 Б.о. с деф. 53.1, напр. вверх под углом 45°		54	11
 Б.о. с деф. 53.1, напр. вверх под углом 20°		33	7
 Б.о. с деф. 53.1, напр. строго вертикально		21	2

1 – пачка сигналов от стенки болтового отверстия;
2 – сигналы от внутренней стенки болта;
3 – сигналы от трещины; б.о. – болтовое отверстие

Выводы

1. Разработанная программа «RAIL-3D» позволяет выполнять моделирование процессов излучения, распространения и регистрации ультразвуковых волн на основе единой математической модели и может применяться для сравнения потенциальных возможностей различных схем прозвучивания, их оптимизации, а также при разработке новых средств контроля.

2. Для решения актуальных задач дефектоскопии в программу добавлены дополнительные возможности по отображению и обработке результатов моделирования, такие как отображение траекторий ультразвуковых волн в рельсе или построение диаграмм озвучивания сечения рельса.

3. Для решения задач оптимизации в программу введены возможности построения двух- и трехмерных диаграмм, характеризующих изменение выходных данных (амплитуд, количества эхо-сигналов и др.) в зависимости от изменяемых параметров искательной системы (таких как углы ввода, разворота, расположение входящих в состав искательной системы ПЭП и пр.).

4. Проверка адекватности заложенной в программу математической модели показала ее достаточную для практики точность.

5. Показано, что эхо-сигналы от опасного дефекта в виде радиальной трещины от болтового отверстия (код 53 по [13]) можно отличить от сигналов, получаемых от бездефектного болтового отверстия с плотно прилегающим болтом, исходя из измеренных значений параметров пачек эхо-сигналов Δt и Δx .

6. Разработанная программа «RAIL-3D» и полученные экспериментальные результаты будут использованы при разработке алгоритмов автоматической расшифровки дефектограмм мобильных и съемных средств сплошного контроля рельсов и при оптимизации акустических систем многоканальных дефектоскопов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаенко В. М. Система диагностики пути и НК рельсов. – В мире неразрушающего контроля, 2000, № 4 (10), с. 51–53.
2. Марков А. А. Проблемы скоростной дефектоскопии железнодорожных рельсов, уложенных в путь. – Радиоэлектроника и связь, № 1 (15), СПб, 1999, с. 65–79.
3. Воронов Н. А., Зябиров Х. Ш., Кириллов А. Г. и др. Ультразвуковой рельсовый дефектоскоп АДС-02. – В мире неразрушающего контроля, 2003, № 4 (22), с. 66–68.
4. Марков А. А., Шпагин Д. А., Шилов М. Н. Ультразвуковой многоканальный дефектоскоп для контроля железнодорожных рельсов с регистрацией сигналов. – Дефектоскопия, 2003, № 2, с. 24–33.
5. Гурвич А. К., Давыдкин А. В. Схемы прозвучивания и эффективность средств сплошного ультразвукового контроля рельсов. – В мире неразрушающего контроля, 2003, № 3 (21) – с. 71–73.
6. Марков А. А., Гурвич В. К., Молотков С. Л., Миронов Ф. С. Патент на изобретение № 2060493. Способ ультразвукового контроля рельсов. – Бюл. изобр., 1996, № 11.
7. Марков А. А., Миронов С. Ф. Патент на изобретение № 2052808. Ультразвуковой способ обнаружения трещин в стенках отверстий изделия. – Бюл. изобр., 1996, № 2.
8. Гурвич А. К. О классификации дефектов в рельсах. – В мире неразрушающего контроля, 2004, № 3 (25) – с. 66–67.
9. Гурвич А. К., Кузьмина Л. И. Справочные диаграммы направленности искателей ультразвуковых дефектоскопов. – К.: Техніка, 1980. – 101 с.
10. Шпагин Д. А., Марков А. А., Федоренко Д. В., Шилов М. Н. Моделирование сигналов при ультразвуковой дефектоскопии рельсов – сборник тезисов докладов 3-ей международной конференции «Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике», М., 2002.
11. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль. – Том 3 справочника в 7 т. «Неразрушающий контроль» – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
12. ГОСТ 18576-96. Контроль неразрушающий. Рельсы железнодорожные. Методы ультразвуковые.
13. НТД/ЦП-1-93. Классификация дефектов рельсов. – М.: Транспорт, 1993.
14. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Швы сварные. Методы ультразвуковые. – 38 с.
15. Марков А. А., Бершадская Т. Н., Белоусов Н. А. и др. Патент на изобретение № 2184960. Способ ультразвукового контроля головки рельсов. – Бюл. изобр. № 19, опубл. 10.07.2002. – 15 с.
16. Марков А. А., Бершадская Т. Н., Белоусов Н. А. и др. Свидетельство на полезную модель № 22330. Устройство для ультразвукового контроля головки рельсов. – Бюл. изобр. № 8, опубл. 20.03.2002.
17. Блохин В. Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.
18. Марков А. А., Захарова О. Ф., Мосягин В. В. Применение развертки типа «В» для обнаружения трещин в зоне отверстий болтовых стыков железнодорожных рельсов. – Дефектоскопия, 1999, № 6, с. 78–92.
19. Крейнис З. Л., Федоров И. В. Железнодорожный путь. Учебник. М.: УМП МПС России 2000. – 368 с.

Приложение 5

Проблема оценки качества выполнения контроля рельсов при анализе дефектограмм

А. А. Марков, Д. В. Федоренко, Е. А. Кузнецова

Обеспечение надежного акустического контакта при неразрушающем контроле 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 пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) искательной системы дефектоскопного средства.

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. Особенно эта проблема актуальна в зимнее время из-за контроля в условиях низких температур и наличия наледи (снега) на поверхности катания рельса. В результате при достаточно редких проверках участка рельсового пути может создаваться угроза безопасности движения поездов.

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 является:

- недостаточно плотный контакт ПЭП с поверхностью катания головки рельса;
- наличие на поверхности катания рельсов песка, грязи, льда, мазута и пр.;

- 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;
- наличие поверхностных дефектов: пробуксовок, отслоений, выкрашиваний, смятий, седловин; поверхностные дефекты после прохода шлифовальных поездов;
- наличие внутренних дефектов (например, расслоений 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 качества акустического контакта при сплошном контроле рельсов является анализ наличия отражения от поверхности подошвы рельса – донного сигнала в канале прямых или наклонных ПЭП. На дефектограммах донные сигналы, полученные при сканировании рельса, формируют ровную 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 рельсов эта ситуация распространена, т.к. при нарушении акустического контакта повторный контроль таких участков невозможен, и их приходится относить к непроконтролированным. В процессе сплошного контроля рельсов съемными дефектоскопами таких ситуаций, в принципе, не должно быть, т.к. при пре-

рывании донного сигнала оператор должен принять соответствующие меры по выяснению причин и произвести повторный контроль участка, при необходимости, с применением 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 дефекта рельса только по прерыванию линии донного сигнала. Такие участки также принято считать непроконтролированными. При расшифровке специалист должен их зафиксировать, измерить протяженности и сформировать протокол непроконтролированных участков.

Однако в нормативной документации, во-первых, отсутствует четкое определение, что следует считать «непроконтролированными участками», а во-вторых, не указано конкретное значение ΔL_{\min} пропадания линии донного сигнала, при котором его следует считать непроконтролированным.

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 непроконтролированных 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 3-х дневный срок организует (при необходимости) повторный контроль рельсов другими средствами дефектоскопии непроконтролированных участков пути...» [1].

В соответствии с п. 1.6.4. Приказа 4Ц от 4.02.02 г. о порядке действий оператора дефектоскопа при ультразвуковом контроле рельсов в случае потери донного сигнала «при отсутствии поперечной трещины и условной протяженности

горизонтального подповерхностного расслоения более 70 мм дефекту присваивать код 30Г и изымать его из пути» [2].

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

Таким образом у рядового расшифровщика возникают трудности в отношении признания участков рельсов непроконтролированными даже только по признаку пропадания линии донного сигнала: какова же минимально допустимая протяженность ΔL_{\min} непроконтролированного участка?

Следует отметить особенности отображения донного сигнала на развертке типа В (рис. 1).

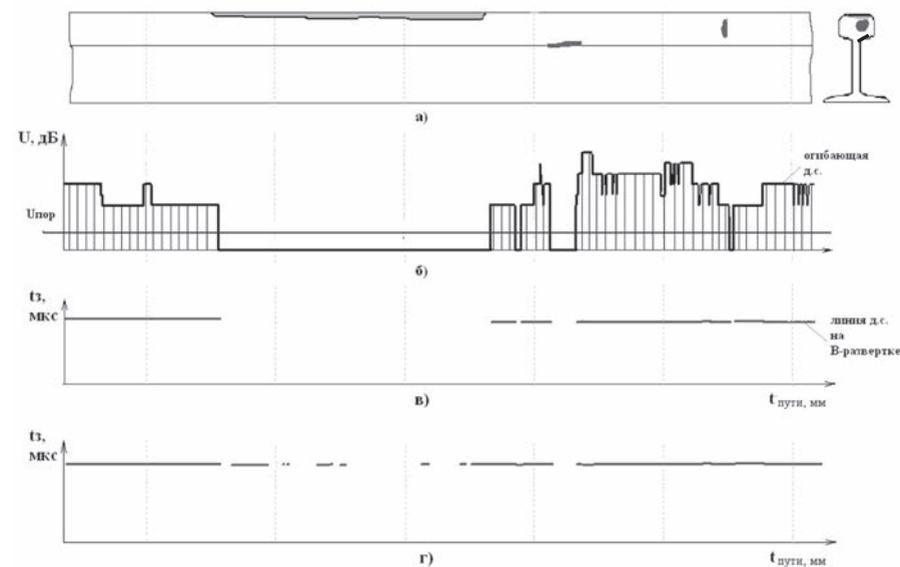


Рис. 1. Представление донного сигнала:
а) вид рельса с поверхностным повреждением и внутренними дефектами; б) амплитудная огнивающая донного сигнала;
в) отображение на развертке типа В линии донного сигнала на уровне, соответствующем установленной по НТД чувствительности контроля K_y ; г) то же при уровне «минус 6 дБ», соответствующем повышенной относительно установленной K_y чувствительности контроля.



При реализации зеркально-теневого метода контроля рельсов в качестве исходного 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 амплитуды донного сигнала ниже $U_{пор}$, соответствующего значению условной чувствительности контроля K_y , равной, обычно, $K_y = -14$ дБ (согласно Руководствам эксплуатации многих съемных дефектоскопов), что соответствует уровню 0,2 от U_0 (на рис. 1а).

В регистраторе РИ-01 дефектоскопа АВИКОН-01 предусмотрена возможность записи и отображения эхо-сигналов на дополнительном уровне регистрации – «минус 6 дБ» (относительно $U_{пор}$), что равносильно выполнению контроля рельсов при повышенной (на 6 дБ) чувствительности контроля (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 0,1 от U_0) (рис. 1г).

В связи с этим 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).

Очевидно оценка качества акустического контакта только по донному сигналу на В-развертке не полна и не совсем корректна. В некоторых случаях при анализе уровня (огibaющей) 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 качество акустического контакта на данном участке трудно признать удовлетворительным (рис. 2).

Для учета этой особенности в программе отображения АВИКОН-01 предусмотрена функция отображения огibaющей донного сигнала (поскольку регистрируются измене-

ния значения амплитуды донного сигнала на каждом шаге датчика пути). С целью экономии рабочей плоскости дефектограммы огibaющая 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.

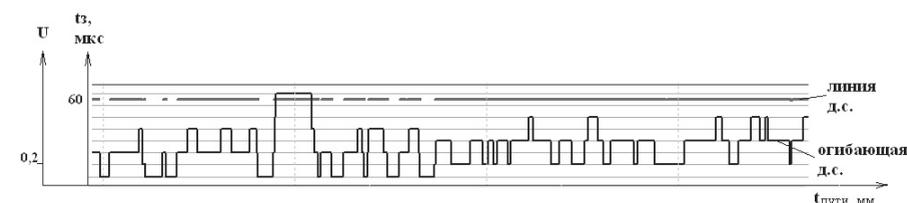


Рис. 2. С помощью анализа огibaющей донного сигнала видно, что качество акустического контакта на данном участке неудовлетворительно

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 огibaющая донного сигнала крайне нестабильна. При таком 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).

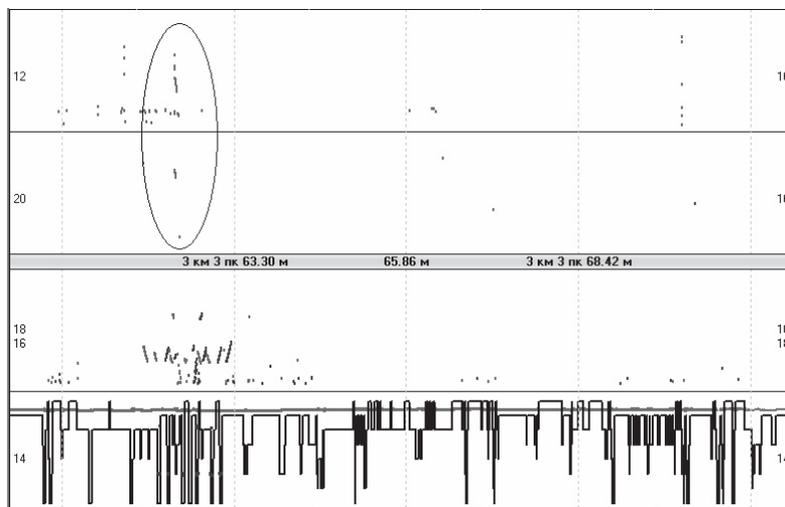


Рис. 3. Некачественная запись дефектограммы из-за слабого акустического контакта

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

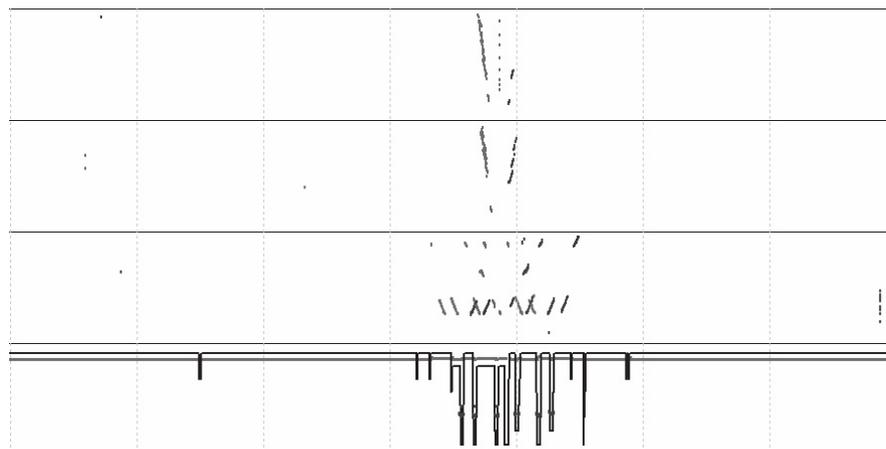


Рис. 4. По четким сигналам от конструктивных отражателей болтового стыка и амплитудному уровню донного сигнала (линия черного цвета) выявлено удовлетворительное качество акустического контакта

Хочется отметить еще один аргумент о некорректности признания участков непроконтролируемыми 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 у.з. 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 непроконтролируемым 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 у.з. 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 схемы «РОМБ» [4, 5].

При принятых на Российских железных дорогах углах ввода у.з. колебаний и разворота ПЭП относительно продольной оси рельса возможно 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 у.з. колебаний по- и против хода дви-

жения 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.

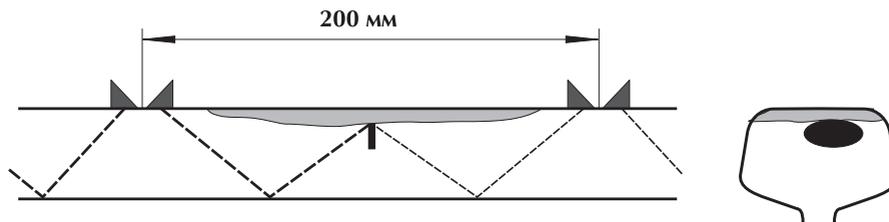


Рис.5. К обоснованию зоны обнаружения поперечных дефектов в головке рельса под горизонтальными расслоениями схемой «РОМБ»

Таким образом, для дефектоскопических единиц, использующих запатентованную схему прозвучивания «РОМБ», с точки зрения обнаружения поперечных трещин в головке, минимальная величина допустимого непроконтролируемого участка прямым ПЭП (зона отсутствия донного сигнала) может составлять до 200 мм. Иными словами, при отсутствии донного сигнала 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 у.з. колебаний под углами 42° - 45° .

Анализ реальных дефектограмм

С целью оценки примерного количества и протяженности участков с отсутствием донного сигнала на реальных дефектограммах с помощью специально разработанной нами программы выполнен анализ более 100 файлов дефектограмм АВИКОН-01 с общей протяженностью пути более 300 км и осуществлен подсчет участков с пропаданием линии д.с. (при чувствительности в 2 раза выше нормативной). При анализе отбирались дефектограммы с удовлетворительной записью сигналов. Как и предполагалось, качество акустического контакта значительно зависит от погодных условий, поэтому отдельно проанализированы файлы с результатами контроля за летний и зимний периоды. При этом выявлено, что зимой количество непроконтролируемых участков в 2-4 раза больше, чем летом.

Гистограмма усредненной зависимости количества N (шт. на 1 км) участков с пропаданием линии донного сигнала от их протяженностей L (в мм) представлена на рис. 6.

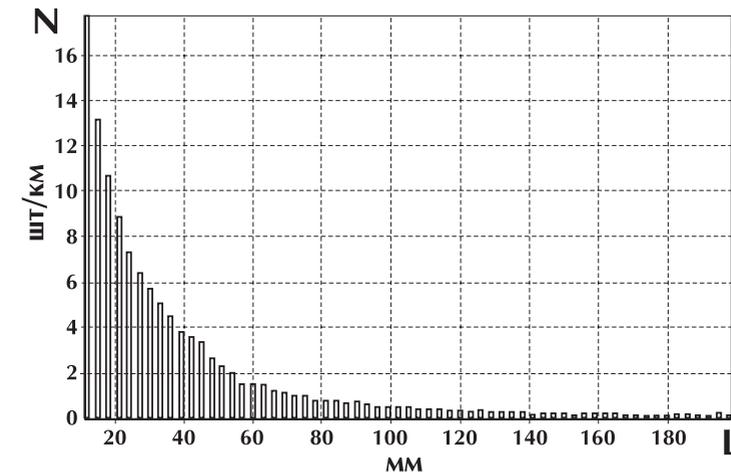


Рис. 6. Усредненная гистограмма зависимости количества N участков с прерыванием линии донного сигнала на 1 км от протяженностей L этих участков

Таблица 1

При анализе дефектограмм выявлено, что лишь около 15% от общего числа участков с пропаданием линии д.с. 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 табл. 1.

Некоторые причины отсутствия донного сигнала

Причина	Анализ сигналов	Иллюстрация
Неудовлетворительное качество акустического контакта	Наблюдается периодическое (похожее на штрих-пунктир) прерывание линии д.с. По всему файлу присутствуют участки с протяженным пропаданием линии д.с. При анализе огибающей д.с. 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 д.с. Огибающая д.с. показывает, что он отсутствовал. На дефектограмме имеется знак «Стоп», после него линия д.с. отсутствует.	
Подпрыгивание/ смещение лыжи	Линия д.с. 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	Д.с. прерывается, а в прямом эхо-канале имеются пачки, имеющие задержки, кратные 15 мкс (из-за отражения от подголовочной грани).	
Пробуксовка, сварн. стыки	В обеих нитках д.с. незначительно прерывается на одной и той же путевойской координате	

Если на дефектограмме наблюдаются участки с пропаданием донного сигнала, качество записи ближайшего болтового стыка по всем каналам вполне удовлетворительное, 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 пропаданий линии донного сигнала не должно быть, если оно не вызвано конструктивными особенностями рельсового пути, наличием дефектов или контроленепригодных участков (которые целесообразно помечать соответствующей отметкой).

Однако в практике дефектоскопии рельсов достаточно часто возникают ситуации, когда расшифровщик сталкивается с проблемой наличия на дефектограмме большого количества участков с отсутствием донного сигнала разной протяженности. А ведь специалист должен 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 непроконтролированный участок, 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 непроконтролированных участков в соответствии с заданными параметрами поиска – порогами. В процессе анализа реальных дефектограмм пришли к выводу, что целесообразно предусмотреть 3 порога обработки.

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

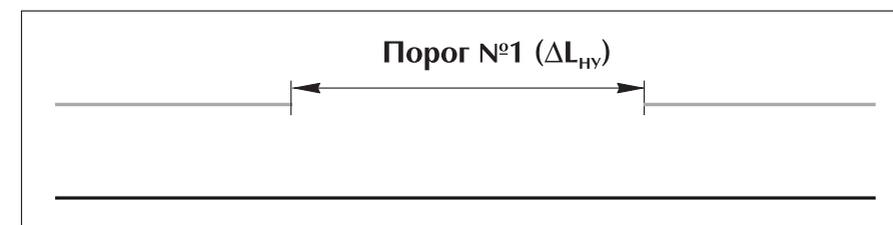


Рис. 7. К определению параметров поиска. Порог № 1

При нарушениях акустического контакта, например, из-за наледи на рельсах, часто наблюдается многократное пре

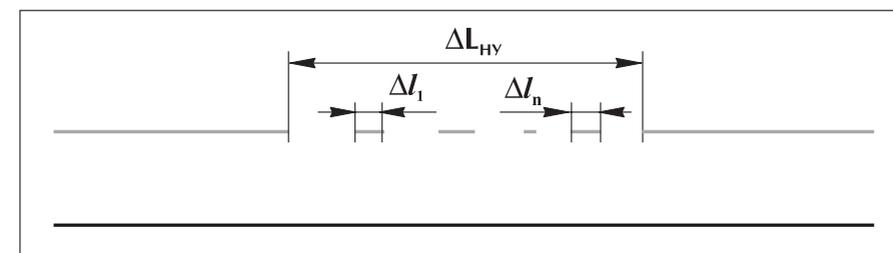


Рис. 8. К определению параметров поиска. Порог № 2



Поэтому предложено ввести еще один параметр – суммарную протяженность наличия акустического контакта внутри локального непроконтролированного участка $\Delta L_{\Sigma} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_n$. Эта величина является Порогом № 2 и задается в % относительно общей длины данного непроконтролированного участка $\Delta L_{\text{НУ}}$.

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 м до 0,5 м и расстояние между участками от 50 м), то отдельный контроль каждого участка практически не представляется реальным. Поэтому группы участков можно объединять в один протяженный участок для его повторного контроля целиком. Длина участка объединения локальных непроконтролированных участков в один протяженный задается Порогом № 3.

В качестве примера в нашей программе заданы следующие параметры поиска участков:

1. Порог № 1 = 70 мм ($\Delta L_{\text{НУ min}}$).
2. Порог № 2 = 50% (ΔL_{Σ}).
3. Порог № 3 = 50 м.

По мере набора статистических данных и получения определенного опыта расшифровка 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 расшифровка может оценить качество проведенного кон-

троля. Мастер цеха принимает решение о необходимости повторного контроля выделенных на графике участков.

Выводы

Рассмотренные выше проблемы характерны для любых средств сплошного контроля рельсов.

Проблема обеспечения надежного акустического контакта является еще более актуальной для мобильных средств неразрушающего контроля 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) предусмотрены требования, по которым, в случаях, если работник, обслуживающий дефектоскопическую технику, приходит к выводу, что «состояние поверхности рельсов не позволяет выполнить эффективную проверку наличия внутренних дефектов рельсов, проверка на этом конкретном 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 (о проверке рельсов) должны быть документированы: проверенный путь, дата проверки, месторасположение и характер любого отклонения от требований FRA и предпринятые немедленные действия лица, проводившего проверку» [6].

К сожалению, на сегодняшний день отсутствуют обоснованные требования к отнесению участков рельсов к непроконтролированным и контроленепригодным. Ис-

пользование принципа определения наличия акустического контакта только по присутствию на В-развертке линии донного сигнала не является корректным.

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

Непроконтролируемыми 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 технологии сплошного контроля 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.

Анализ качества проведенного сплошного контроля и анализ сигналов на конкретном участке пути целесообразно производить по амплитудной огибающей донного сигнала. В связи с этим 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 непроконтролируемых (контроленепригодных) участков с возможностью задания параметров поиска и распознава-

нием 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 несколько лет. В частности, в [7] описан метод оценки качества акустического контакта, основанный на оценке энергии шумов зернистой

Способы контроля акустического контакта постепенно реализовываются в новых дефектоскопных комплексах съемных и мобильных средств НК рельсов.

На сегодняшний день выход из ситуации видится в повышении квалификации и технологической дисциплины операторов дефектоскопов, а также их добросовестное отношение 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.

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. Москва 2002 г.
7. Тарабрин В. Ф., Одынец С. А., Кисляковский О. Н. Управление чувствительностью УЗК рельсов с учетом состояния акустического контакта. – В мире неразрушающего контроля, №3 (21) сентябрь 2003 г., стр. 74.

Общие требования к системе регистрации дефектоскопической информации съемных и мобильных средств неразрушающего контроля*

1. Состояние вопроса

В настоящее время на железных дорогах ОАО «РЖД» эксплуатируются более двух тысяч дефектоскопов с системой регистрации результатов контроля. Это съемные дефектоскопы типа «АВИКОН-01 (МР)» с регистратором «РИ-01», дефектоскопы «РДМ-2» с регистраторами «РСД-Т» и «УР-ЗР», дефектоскопы «АДС-02», а также мобильные средства контроля (вагоны и автотрисы дефектоскопные) различных производителей.

К каждому средству контроля прилагается своя программа отображения результатов контроля рельсов. Несмотря на однотипное представление результатов контроля на координатной плоскости «путевая координата – временная задержка эхо-сигнала» (развертка типа В), форма отображения сигналов в программах значительно отличается. Не одинаков набор функций программ, многие из них реализованы по-разному, не имеют единых названий и элементов управления. В результате расшифровщик дефектоскопической информации испытывает значительные затруднения в работе, поскольку он вынужден осваивать и владеть функ-

* Документ утвержден Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 8 ноября 2005 г

циями управления каждой из программ отображения.

Настоящий документ разработан с учетом требований Программы «Основные направления развития системы диагностики пути, дефектоскопии рельсов, автоматизированных систем управления путевым хозяйством в 2004-2007 г.г.» и Решений Сетевой школы-семинара «Повышение эффективности эксплуатации мобильных средств дефектоскопии рельсов» (15-17 февраля 2005 г. в г. Ярославле), утвержденных начальником Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» С. Ю. Ивановым. Документ содержит требования к параметрам регистрируемых данных, способам отображения сигналов в соответствующих программах и форму представления отчетных данных.

Требования разработаны на основе анализа систем регистрации и программ отображения съемных и мобильных средств неразрушающего контроля рельсов, эксплуатируемых на сети железных дорог России.

Изложенные «Требования» должны быть учтены при модернизации существующих и разработке новых систем регистрации и соответствующих программ отображения съемных и мобильных средств дефектоскопии.

2. Регистрируемая информация

Регистрации подлежат:

- принятые эхо-сигналы каналов контроля;
- параметры настройки каналов;
- параметры контролируемого участка пути;
- служебные отметки операторов дефектоскопов, вводимые в пути (км, пк столбы, отметки о ОДР и ДР, стрелочные переводы, сварные стыки и прочие особые отметки);
- результаты ручного сканирования дефектных участков (для съемных средств дефектоскопии).

2.1. Регистрация сигналов по каналам контроля

Система регистрации должна фиксировать время задержки t_3 (мкс) каждого эхо-импульса относительно зондирующего импульса. В новых дефектоскопах дополнительно должна регистрироваться амплитуда эхо-импульсов не менее, чем на 8-ми уровнях. Эти параметры должны регистрироваться при каждом отсчете датчика пути (ДП).

Регистрация сигналов должна осуществляться как при условной чувствительности 0 дБ, так и на условной чувствительности в два раза выше (уровень минус 6 дБ). Допускается дополнительная регистрация сигналов на более высокой чувствительности.

Дискретность отсчетов должна составлять:

- по высоте рельса – 1мм (дискретность отсчетов временных положений эхо-сигналов должна быть не менее: для наклонных – 1 мкс, для прямых – 0.33 мкс),
- по пути перемещения ПЭП – не более 3 мм.

Для дефектоскопов ранних лет выпуска допускаются меньшие значения этих параметров.

Регистрации подлежат результаты повторного контроля локального участка при движении (зоны движения «назад-вперед» дефектоскопной тележки) и соответствующие координаты пути.

Дополнительно фиксируется факт срабатывания звуковых сигнализаторов дефекта (АСД) по всем каналам.

2.2. Регистрация параметров настройки по каналам контроля.

При регистрации параметров настроек каналов необходимо фиксировать:

- углы ввода и разворота ПЭП, метод контроля (короткое обозначение: эхо- «Э», зеркальный – «ЗК», зеркально-теневой – «ЗТМ»);
- значение условной чувствительности K_y и значение аттенюатора дефектоскопа (при $K_y=0$ или фактической

условной чувствительности) для исключения возможных ошибок при настройке дефектоскопа операторами и фальсификации исходных данных, а также оценки степени изношенности ПЭП;

- начало и длительность строб-импульса;
- параметры ВРЧ;
- режим работы съемного дефектоскопа (сплошной, ручной контроль, режим «болтовой стык» и др.);
- координата пути, время и новое значение параметров контроля при их изменении (для построения графика контроля участка).

2.3. Регистрация параметров проверяемого участка

Перед проведением и в процессе контроля участка пути должны регистрироваться следующие данные:

- текущие дата и время;
- код направления, номер пути и название участка;
- направление движения, факт соответствия нитки рельса стороне дефектоскопа;
- фамилия и инициалы (код) оператора дефектоскопа - начальника смены (для мобильных средств);
- начальная координата;
- текущая координата пути, которая должна иметь формат:
 - для съемных средств – км, пк, метр, см,
 - для мобильных средств – км, м, см;
- номера километровых столбов, пикетов и отметки, вводимые в пути операторами съемных дефектоскопов;
- номера стрелочных переводов и съездов (в соответствии с единым правилом ввода номера и положения стрелочных переводов и съездов);
- скорость контроля;
- температура окружающего воздуха (в новых дефектоскопах).

3. Требования к хранению и передаче данных контроля на ПК

Информация должна храниться в энергонезависимой памяти в формате, исключающем ее повреждение, удаление и несанкционированный доступ. В случае аварийного прерывания работы должно быть обеспечено полное восстановление зарегистрированных данных. Объем памяти регистраторов должен обеспечивать хранение:

- для съемных средств – не менее 50 км пути,
- для мобильных средств – не менее 250 км пути.

Передача информации с регистраторов или карт памяти съемных дефектоскопов на ПК должна осуществляться с помощью интерфейсов USB или Bluetooth.

4. Требования к расположению элементов в окне программной оболочки

При запуске программы открывается окно программной оболочки, которое должно содержать следующие элементы:

- строка заголовка;
- область меню и панели инструментов;
- область отображения дефектограммы;
- статус-строка;
- область отображения дополнительной информации.

Вверху окна программной оболочки в строке заголовка должно выводиться название программы (с указанием типа средства НК), название и путь к файлу дефектограммы.

Ниже должна располагаться область меню, содержащая панель инструментов, на которой вынесены кнопки наиболее часто используемых в процессе расшифровки функций.

Основное меню должно иметь следующие группы:

- «Файл» (работа с файлами дефектограмм, база проездов, сведения о проконтролированном участке, формирование отчетной документации, печать дефектограмм и ведомостей натурального осмотра);
- «Вид» (настройка масштабов, цветов, режимов отображения дефектограмм и другие настройки);
- «Переход» (переход по отметкам операторов дефектоскопа и расшифровщика);
- «Расшифровка» (работа с «электронным блокнотом», база дефектов, автоматизированная расшифровка, поиск непроконтролированных участков и др.);
- «Справка» (руководство пользователя программы, схема прозвучивания и др. справочная информация).

Названия основных функций и кнопок в программах отображения должны быть едиными. Все кнопки должны иметь всплывающие подсказки.

Список основных функций, которые должны обязательно присутствовать в программах, и соответствующие им элементы управления представлены в пункте 6 и в табл. 1 настоящего документа.

Область дефектограммы должна занимать не менее 80% от всего окна.

Статус-строка должна содержать следующую информацию, соответствующую текущему положению курсора мыши:

- текущая координата пути;
- величина задержки в мкс (и мм) и амплитуда сигналов (при ее регистрации);
- нитка рельсового пути;
- скорость контроля.

Область отображения дополнительной информации может быть выполнена в виде информационной панели, расположенной в боковой части окна программы. В ней должны отображаться данные, соответствующие текущему положе-

нию курсора мыши: углы ввода и разворота ПЭП, метод контроля, номер канала, значение условной чувствительности и показания аттенюатора, параметры ВРЧ, текущий режим работы дефектоскопа, А-развертка, порог отображения («0 дБ» или иной), параметры зон звуковой индикации по каналам (для съемных средств) и др.

Графическая информация базы данных вагонов-путеизмерителей (при возможности импорта этих данных в программы отображения дефектоскопных средств) должна выводиться в отдельной дорожке в нижней части окна под дефектограммой. Необходимо предусмотреть возможность изменения масштаба от 1 до 5000 м.

5. Требования к отображению сигналов на дефектограммах

Сигналы на В-развертке должны отображаться при расположении линии зондирующих импульсов (ЛЗИ) снизу. Дополнительно в программах отображения может быть предусмотрен режим В-развертки, при котором ЛЗИ располагается сверху, режимы представления сигналов контроля на изображении рельса по глубине их залегания: «В виде рельса» (как в программе АВИКОН-01) и «Реконструкция рельса» (программа «Railtest» дефектоскопа АДС-02).

При наличии регистрации амплитуды или длительности эхо-импульсов на уровне порога размеры точек эхо-сигналов должны быть им пропорциональны.

При получении пачек сигналов от одного отражателя сигналы «наезжающих» каналов должны отображаться левее сигналов «отъезжающих» каналов.

Расположение дорожек каналов контроля должно быть организовано указанным в Форме 1 образом.

Вверху дефектограммы должна отображаться левая рельсовая нитка (левый рельс при движении по возрастанию путейской координаты, а не нитка дефектоскопа), внизу – правая нитка. Дорожки обеих ниток располагаются сверху вниз в следующей последовательности (в средстве контроля могут быть не все каналы, основные выделены жирным курсивом):

- Магнитный канал.
- **Основные каналы контроля головки рельса («змейка», «ромб», «70» и др.)**.
- **Дополнительные каналы контроля головки (зеркальные, 70 и др.)**.
- **Каналы контроля шейки рельса и ее продолжения в головку и подошву при наклонном вводе (38-49 град)**.
- **Каналы контроля всего рельса по высоте при прямом вводе (РС-ПЭП – 0 град)**.

При реализации различных методов контроля (эхо, зеркального, ЗТМ) одной и той же части рельса допускается размещение сигналов на нескольких дорожках.

Границы зон отображения по каналам (зоны временной селекции при регистрации) должны быть не хуже (не меньшего диапазона):

- эхо-канал контроля головки ($\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$): 20-140 мкс;
- эхо-канал контроля головки ($\alpha=70^\circ$, $\gamma=0^\circ$): 10-100 мкс;
- зеркальный канал контроля головки ($\alpha=58^\circ$, $\gamma=34^\circ$): 20 -140 мкс;
- эхо-канал контроля шейки и ее продолжений ($\alpha=38-45^\circ$, $\gamma=0^\circ$): 10-170 мкс (исключение составляет схема «V», ее диапазон: 0-250 мкс);
- канал контроля рельса по всей высоте ($\alpha=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$): 5 -70 мкс.

Высота дорожек регистрации по всем каналам должна быть пропорциональна границам зоны временной селекции,

кроме дорожки отображения сигналов магнитного канала, которая должна иметь меньшую высоту.

В каждой дорожке должно отображаться значение условной чувствительности каналов контроля, при этом слева отображается значение чувствительности для «наезжающих» каналов, а справа – для «отъезжающих». Цвета сигналов и шрифта со значением условной чувствительности должны совпадать. Кроме того, при отличии значений длительности зоны временной селекции в процессе контроля в пути и в процессе регистрации, на всех дорожках должны указываться границы стробов АСД каналов в виде линии соответствующей длины и расположения на дорожке.

Посередине или сверху дефектограммы должна отображаться линейка путейской координаты в формате [км, м] или [км, пк, м]. При этом на дефектограммы должно отображаться не менее двух значений координат (по ее краям) таким образом, чтобы можно было оценить количество метров на экране. Масштаб дефектограммы по горизонтали по умолчанию должен соответствовать 4-5 м/экран (зависит от установленного разрешения монитора).

При просмотре дефектограммы по ходу движения средства она должна перемещаться справа налево.

На дефектограммах должны отображаться отметки операторов, вводимые ими в пути (км, пк, стрелочный перевод, платформа, дефект и т.д.) и отметки из электронного блокнота по результатам расшифровки.

При реализации режима «Сведение в единое сечение» необходимо соблюсти правило, чтобы пачки сигналов в наклонных и прямых ПЭП от одного и того же отражателя располагались друг под другом. Пачки сигналов «наезжающих» каналов должны отображаться левее пачек сигналов «отъезжающих» каналов.



В качестве основного варианта реализации сведения применяется сведение всех датчиков к центру искательной системы без учета углов ввода и разворота. Исключение составляет V-образная схема прозвучивания рельса по всей высоте рельса ПЭП $\alpha=45^\circ$, при реализации сведения которой используется смещение датчиков на 80 мм относительно центра лыжи. При этом пачки сигналов на дефектограммах будут иметь форму «бокала» (\ /).

6. Требования к программам отображения дефектоскопической информации и к элементам управления программой

Все программы отображения дефектограмм должны быть ориентированы на работу с операционной системой Windows XP, как наиболее надежной в настоящее время.

Основные функции меню, перечисленные ниже, должны иметь единое название:

1. Меню «Файл»

- База проездов
- Пересекающиеся файлы
- Сохранить участок проезда
- Печать ведомости
- Протокол проезда

2. Меню «Вид»

- Масштаб
- Сведение: без сведения/сведение в единое сечение
- Порог отображения
- А-развертка
- Настройка цветов
- Лупа
- Огибающая донного сигнала

- Зоны движения назад
- Ручной контроль

3. Меню «Переход»

- На координату
- На отметку из блокнота
- На отметку оператора
- На запись ручного сканирования

4. Меню «Расшифровка»

- Добавить в блокнот
- Блокнот
- База дефектов
- Измерения
- Измерение расстояния
- Непроконтролируемые участки
- Значимые участки
- Паспорт участка

Функции навигации по дефектограмме, а также переключение масштаба отображения сигналов должны быть реализованы с помощью клавиатуры следующим образом:

- «Вперед», «Назад» – клавиши «←» и «→»;
- «Вперед на экран», «Назад на экран» – «PgUp» и «PgDown»;
- «Лента» (автоматическое движение дефектограммы) – «+» и «-»;
- «Увеличить/уменьшить масштаб» «↑» и «↓».

Описание требуемых функций меню и соответствующие элементы управления приведены в табл. 1.

7. Требования к выходным формам

По результатам расшифровки дефектограмм должны формироваться следующие документы:

- Ведомость натурального осмотра;
- Протокол непроконтролированных участков;
- График контроля участка;
- Журнал расшифровки.

7.1. Ведомость натурального осмотра

Ведомость натурального осмотра формируется по результатам расшифровки дефектограммы из отметок электронного блокнота. Документ должен состоять из отдельных ведомостей (по количеству выданных отметок с подозрением на дефект), содержащих общую информацию, фрагменты дефектограмм и итоговой таблицы (на отдельной странице).

На распечатке ведомости натурального осмотра должна присутствовать следующая информация: номер ведомости; тип и номер дефектоскопного средства, регистратора, название ж.д., номер ПЧ; дата контроля, дата расшифровки, название участка контроля, код направления, номер пути, начальная и конечная координата проконтролированного участка, нитка, звено, координата дефектного места, привязка, код предполагаемого дефекта и поле для нанесения результатов натурального осмотра, тип и номер дефектоскопа ручного контроля; информация по каналам (номер, углы ввода и разворота ПЭП, метод, условная чувствительность, показания аттенюатора), порог отображения (например, 0 дБ или -6дБ), фамилии расшифровщика, оператора, получившего выписку на натуральный осмотр, начальника (мастера) цеха дефектоскопии. Дефектограмма участка рельса должна иметь масштаб 4-5 м/экран. На схематичном рисунке рельса вручную наносится месторасположение обнаруженного дефекта (или другого отражателя).

Образец ведомости натурального осмотра представлен в Формах 2-3.

7.2. Протокол непроконтролированных участков

Протокол должен состоять из таблицы и графического изображения расположения участков с нарушением акустического контакта. Образец протокола представлен в Форме 4.

7.3. График контроля участка

Документ должен печататься на листе с альбомной ориентацией и содержать несколько дорожек, на которых в графическом виде отображаются графики изменения следующих параметров (по каждому километру):

- скорость контроля,
- амплитуда донного сигнала,
- параметры настройки чувствительности каналов.

7.4. Журнал расшифровщика дефектограмм

Результаты расшифровки сигналов контроля рельсов фиксируются в Журнале расшифровщика, образец которого представлен в Форме 5.

В электронном виде Журнал заполняется в программе Excel.

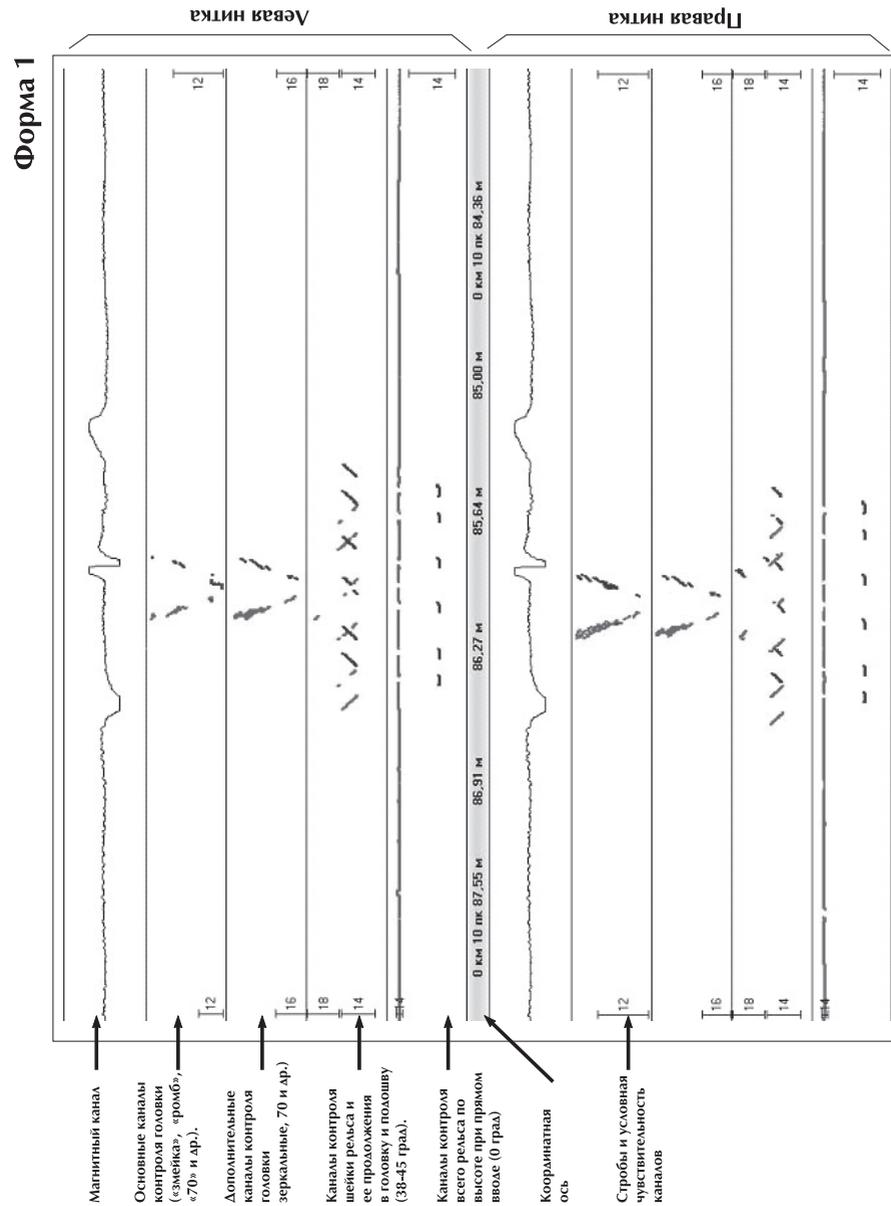
Настоящие требования могут быть откорректированы по предложениям разработчиков систем регистрации и по результатам применения документа на сети железных дорог ОАО «РЖД».



Таблица 1

Требуемые функции программ отображения и обозначения элементов управления

Название функции	Описание	Элемент управления	
		Клавиатура	Панель инструментов
Меню «Файл»			
База проездов	Таблица данных с возможностью сортировки по параметрам и автоматическим поиском файла по заданным параметрам		
Пересекающиеся файлы	Совместный синхронный просмотр дефектограмм с возможностью корректировки их взаимного положения		
Сохранить участок проезда	Сохранение участка дефектограммы в отдельный файл		
Печать ведомости	Распечатка ведомости натурного осмотра с возможностью предварительного просмотра и редактирования		
Протокол проезда	Информация о файле проезда, параметрах участка, ФИО операторов и др.		



Меню «Вид»			
Масштаб	Диапазон изменения от 1 м до 100 м (и более)	↑ ↓	Список масштабов
Сведение: • без сведения • сведение в единое сечение			
Порог отображения	Оперативное переключение порога отображения сигналов (при многопороговой регистрации)		
А-развертка	В любой точке дефектограммы и для любого канала.		
Настройка цветов	Настройка цветов фона, сигналов каналов контроля	Основное меню	
Лупа	Просмотр сигналов в увеличенном по горизонтали и вертикали масштабе		
Огибающая донного сигнала	Включение/выключение		
Зоны движения назад	Включение/выключение		
Ручной контроль	Просмотр результатов для съемных средств		

Меню «Переход»			
<ul style="list-style-type: none"> • на координату • на отметку из блокнота • на отметку оператора • на запись ручного сканирования 	Быстрый переход по отметке		
Меню «Расшифровка»			
Добавить в блокнот	Установка и удаление сохраняемых отметок о дефектах с комментариями расшифровщика, сохранение ведомости на диске		
Блокнот	Редактирование отметок с возможностью их включения и исключения из ведомости натурального осмотра		
База дефектов	В виде таблицы		
Измерения	Полуавтоматическое измерение условных размеров: ΔL, мм – условная протяженность по длине рельса, Δt, мкс (ΔH, мм) – условная высота, tз, мкс, мм – глубина залегания		
Измерение расстояния	Функция измерения расстояния между двумя точками для привязки отметок к реальному пути		
Непроконтролируемые участки	Автоматический поиск участков с нарушением акустического контакта с возможностью задания параметров поиска и выводом протокола	Основное меню	
Значимые участки	Автоматизированный поиск дефектоподобных участков	Основное меню	
Паспорт участка	Загрузка и использование базы паспортных данных вагонов-путеизмерителей по проверяемому участку	Основное меню	



Форма 2-3

Ведомость натурального осмотра № 1 от 191205 г.
(итоговая таблица)

Ведомость натурального осмотра № 1 от 191205

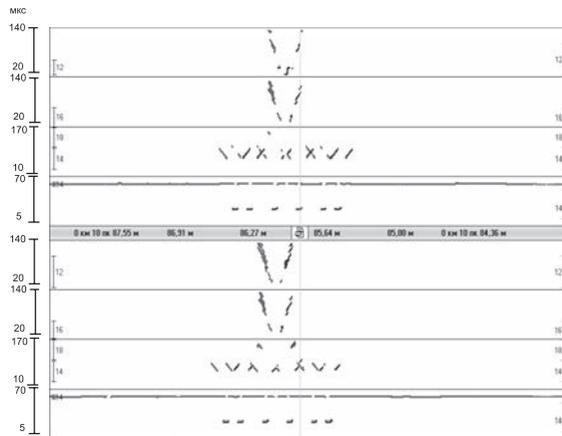
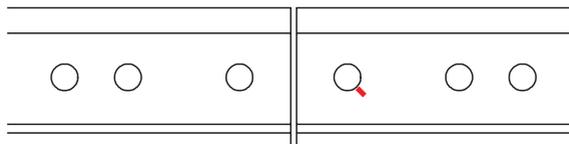
Перегон: Якшанга-Поназырево Начало: 475 км 1 пк 0м Конец: 482 км 1 пк 0 м
Дата контроля: 18.12.05
Дата расшифровки: 19.12.05

АВИКОН-01№ 02008 РИ-01№052 ПЧ12 Северная ж.д.
Дата контроля: 181205 Дата расшифровки: 191205 Участок: Якшанга-Поназырево
Код направления: 5360502 Путь: 1 Начало: 475км 0м Конец: 483км 500м
Нить: правая Звено: 4 Начало: 10см Конец: 52см
Координата: 0км 85м 95см Смотреть как: 53.1 Привязка: 1 болтовое отверстие принимающего конца
Результат натурального осмотра: 53.1 Дата: 200204 Дефектоскоп: РДМ-3 №1257

№ п/п	Км	пк	м	Нитка	Тип осмотра	Осмотреть как	Тип дефекта	Результат натурального осмотра
1	476	5	4	Правая	Срочный осмотр	53.1	ОДР	53.1
2	480	3	25	Левая	Планный осмотр	1 группа	ДР	17.2
3	481	6	28	Правая	Срочный осмотр	21.1	ОДР	21.2
4	481	9	45	Левая	Планный	1 группа	ДР	14.2

Оператор: Иванов И.И.

Начальник цеха дефектоскопии: Иванов



№ п/п	Объём		l (мм)	Eo (дБ)	Ампл.-д (0дБ-д)
	длина	площадь			
2	58	34	уоі	12	46
3	-58	34	уоі	12	44
4	58	34	сәдәәә.	16	-40
5	-58	34	сәдәәә.	16	42
6	45	0	уоі	14	42
8	45	0	уоі	18	44
7	-45	0	уоі	14	52
9	-45	0	уоі	18	50
0	0	0	СХ	14	50
1	0	0	уоі	14	48

Г і ді а і оі а д а с ә і с ү: -6АА

Примечания: трещина в 1 б/о, принимающий конец, вправо вниз

Расшифровал: Иванов А.А. _____

Выписку получил: Петров А.В. _____

Начальник цеха дефектоскопии: Щербаков Ю.А. _____

Марков Анатолий Аркадьевич
Козьяков Александр Борисович
Кузнецова Екатерина Алексеевна

РАСШИФРОВКА ДЕФЕКТОГРАММ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ

Практическое пособие

Редактор А. С. Афанасьев
Обложка: художник Н. Ю. Разорвина
Корректор А. А. Маркова
Компьютерная верстка: Н. Ю. Разорвина

Подписано к печати 11.02.2006. Формат 66x88 ...
Печать офсетная. Усл. печ. л.
Тираж 1200 экз.
Издательство «Образование-Культура»
Лицензия МД № 01026 от 21.02.2000 г.

Отпечатано в типографии «Турусел»
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.1. Тел. 311-5474
Лиц. ПЛД № 69-150.
Заказ № от02.06, тираж 1200 экз.