

УДК 629.4.027: 620.179.162

Совершенствование ультразвукового контроля осей колесных пар подвижного состава железных дорог

А. Н. КИРЕЕВ^{1,2}, В. А. ВИТРЕНКО²¹Публичное акционерное общество «Лугансктепловоз», Луганск, 91005, Украина²Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования, Луганск, 91034, Украина

Аннотация. Предлагается безэталонный метод настройки функции временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа при контроле осей колесных пар подвижного состава железных дорог, позволяющий исключить при контроле недостатки применения стандартных образцов предприятия и метода диаграмм амплитуда — расстояние — диаметр и, соответственно, повысить достоверность результатов ультразвукового контроля.

Для автоматизации расчетов при настройке функции временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа разработан программный продукт «NDTRT-18».

Разработана методика настройки функции временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа. Представлен результат практической настройки функции временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа УД 2-70 с применением разработанного безэталонного метода для ультразвукового контроля подступичной части локомотивной оси диаметром 235 мм.

Предлагаемый безэталонный метод и программный продукт успешно внедрены в Публичном акционерном обществе «Лугансктепловоз» в технологический процесс контроля осей колесных пар магистральных тепловозов 2ТЭ116У, 3ТЭ116У, 2ТЭ116УД ультразвуковым эхоимпульсным методом.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог; ось колесной пары; техническое диагностирование; неразрушающий контроль; ультразвуковой контроль; эхоимпульсный метод; временная регулировка чувствительности

Введение. В настоящее время с повышением скоростей движения на железных дорогах, увеличением объемов перевозок грузов и пассажиров особое внимание уделяется безопасности движения на железных дорогах.

На безопасность движения на железных дорогах влияет множество факторов, таких как состояние рельсового пути, исправная работа систем сигнализации и автоматики, а также качество и надежность подвижного состава.

Одной из наиболее ответственных систем подвижного состава является экипажная часть. Поддержание на высоком уровне технического состояния элементов экипажной части является неотъемлемым условием обеспечения безопасности на железных дорогах.

Анализ проблемы и постановка задачи. В процессе изготовления и эксплуатации элементы экипажной части подвергаются техническому диагностированию во избежание возникновения производственных и эксплуатационных отказов [1]. В состав технического диагностирования входит множество контрольных операций, в том числе и ультразвуковой неразрушающий контроль элементов экипажной части на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей.

Одним из ответственных элементов экипажной части подвижного состава является ось колесной пары. Разрушение оси вследствие наличия в ней дефектов типа нарушения сплошности может привести к серьезной аварии на железной дороге. На рис. 1 представлен пример излома вагонной оси, вследствие которого произошел сход грузового вагона на прямом участке пути Донецкой железной дороги, который повлек за собой высокий экономический ущерб [2].

В соответствии с РД 32.144–2000 «Контроль неразрушающий приемочный. Колеса цельнокатаные, бандажи и оси колесных пар подвижного состава. Технические требования» и ГОСТ 33200–2014 «Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия» (дата введ. в действие 1.04.2016 г.) оси колесных пар в процессе изготовления подвергаются ультразвуковому контролю на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей в осевом, радиальном направлениях и наклонным преобразователем зоны гантельных переходов.

Технологические несплошности, возникающие в осях вследствие нарушения технологических процессов изготовления, расположены преимущественно в центре или вблизи центра сечения оси и вытянуты вдоль оси. Такие несплошности наиболее полно выявляются в результате ультразвукового контроля с цилиндрической поверхности в радиальном направлении (рис. 2).

Существующая технология ультразвукового контроля осей колесных пар в радиальном направлении несовершенна вследствие влияния некоторых

■ E-mail: lifter_23@mail.ru (А. Н. Киреев)

факторов, которые будут описаны ниже, уменьшающих достоверность результатов контроля.

Цель научного исследования — совершенствование ультразвукового контроля осей колесных пар подвижного состава железных дорог за счет повышения достоверности результатов контроля.

Основная часть. Контроль оси колесной пары в радиальном направлении осуществляется с цилиндрической поверхности эхоимпульсным акустическим методом [3–5].

Определение допустимости несплошностей, обнаруженных в процессе ультразвукового контроля, осуществляется на эталонных отражателях, выполненных в стандартных образцах предприятия. В качестве эталонных отражателей применяются плоскодонные цилиндрические отражатели диаметром 3 и 5 мм, расположенные на минимальном, максимальном расстоянии и в середине контролируемого диапазона: отражатель диаметром 5 мм служит для настройки оценочного уровня чувствительности и определения допустимости несплошности по амплитудной характеристике; отражатель диаметром 3 мм — для настройки контрольного уровня чувствительности и определения допустимости несплошностей по протяженности и количеству. Для настройки чувствительности изготавливают несколько стандартных образцов предприятия для контроля разных диаметров оси колесной пары. В стандартном образце предприятия выполняют шесть эталонных отражателей: три отражателя диаметром 3 мм, три отражателя диаметром 5 мм.

Изготовление стандартных образцов предприятия — дорогой и технологически трудновыполнимый процесс. В результате влияния множества факторов, таких как неточность инструмента, технологического оборудования, исполнителя и др., в стандартных образцах предприятия могут возникать следующие несоответствия техническим требованиям:

- отсутствие параллельности плоского дна эталонного отражателя и касательной плоскости к точке ввода центрального луча ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя (рис. 3, а), вследствие чего отраженная волна от плоскодонного цилиндрического отражателя уходит в сторону и не вся ее энергия принимается преобразователем;
- отсутствие плоскостности эталонного отражателя (рис. 3, б), вследствие чего отраженная волна от плоскодонного цилиндрического отражателя расходится в стороны и не вся ее энергия принимается преобразователем;
- высокая шероховатость поверхности плоского дна эталонного отражателя (рис. 3, в), вследствие чего ультразвуковая волна рассеивается на поверхности плоскодонного цилиндрического отражателя и уменьшается амплитуда принятого сигнала;

Рис. 1. Фото излома оси колесной пары грузового вагона
Fig. 1. Pictures of axle breakage of freight cars



- вследствие технологических неточностей изготовления стандартных образцов предприятия могут возникать и другие несоответствия техническим требованиям, которые уменьшают амплитуду принятого пьезоэлектрическим преобразователем эхо-сигнала.

Также большое влияние на уменьшение достоверности результатов ультразвукового контроля осей колесных пар оказывает разница в затухании ультразвуковой волны при ее прохождении в контролируемой оси и в стандартном образце предприятия.

Коэффициент затухания ультразвука состоит из коэффициентов поглощения δ_n и рассеивания δ_p : $\delta = \delta_n + \delta_p$. На величину поглощения (преобразование энергии ультразвуковой волны в тепловую энергию) влияют потери на дефектах кристаллических решеток, термоупругие эффекты, трение дислокаций, фонон-фононное взаимодействие, взаимодействие



Рис. 2. Процесс ультразвукового контроля локомотивной оси с цилиндрической поверхности в радиальном направлении
Fig. 2. Process of ultrasonic inspection of locomotive axis with the cylindrical surface in the radial direction

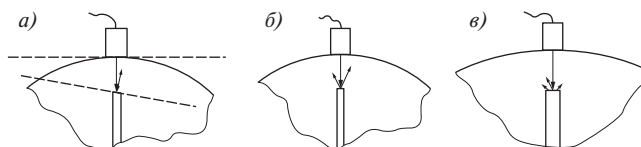


Рис. 3. Возможные несоответствия эталонных отражателей в стандартных образцах предприятия техническим требованиям
Fig. 3. Possible inconsistencies of reference reflectors in standard enterprise samples to technical requirements

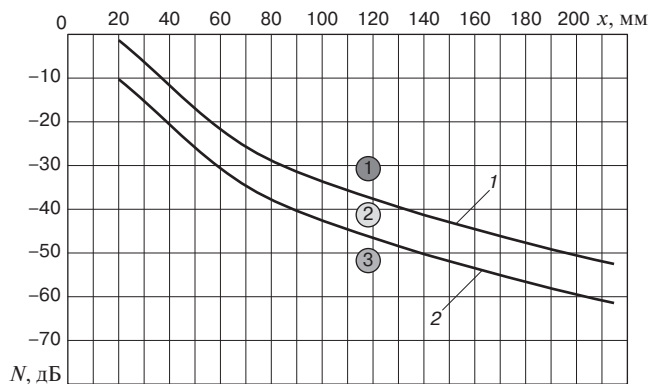


Рис. 4. АРД-диаграмма:
кривая 1 — для диаметра плоскодонного цилиндрического отражателя 5 мм; кривая 2 — для диаметра плоскодонного цилиндрического отражателя 3 мм
Fig. 4. ARD-diagramm:
Curve 1 — for 5-mm diameter flat bottom cylindrical refractor;
Curve 2 — for 3-mm diameter flat bottom cylindrical refractor

фононов с электронами проводимости, взаимодействие ультразвука с колебаниями кристаллических решеток, магнитоупругие эффекты [6]. Коэффициент поглощения в металлах и сплавах пропорционален частоте ультразвуковой волны [7], при этом коэффициент поглощения для продольных волн больше, чем для поперечных.

При рассеивании энергия акустической волны остается звуковой, однако уходит от направления распространения вследствие отражения от неоднородностей среды. Металлы и сплавы имеют поликристаллическое строение, и в них затухание определяется прежде всего рассеиванием. Рассеивание ультразвука обусловлено тем, что поликристаллический материал не является строго однородным. В нем встречаются граничные поверхности, на которых звуковое сопротивление изменяется [8].

Контролируемая ось и стандартный образец предприятия могут иметь слегка отличающийся структурно-фазовый состав. Превышение коэффициентом затухания в контролируемой оси значения коэффициента затухания в материале стандартного образца предприятия приведет к тому, что эхо-сигнал от дефекта будет классифицироваться как эхо-сигнал от допустимой несплошности, а в обратном случае — эхо-сигнал от допустимой несплошности будет классифицироваться как эхо-сигнал от дефекта.

Для исключения перечисленных выше недостатков применения стандартных образцов предприятия целесообразен переход к безэталонному методу классификации несплошностей при ультразвуковом контроле осей колесных пар, основанному на изучении закона, описывающего связь между амплитудной характеристикой ультразвукового эхо-сигнала от несплошности и ее размерами, глубиной залегания и параметрами объекта контроля.

Для расчета амплитудной характеристики донного эхо-сигнала в оси колесной пары в радиальном направлении используется аналитическая зависимость

$$N_d = 20 \lg \left(\frac{S_a}{2\lambda D} e^{-2\delta D} \right), \quad (1)$$

где λ — длина ультразвуковой волны, мм; S_a — площадь преобразователя, мм²; D — диаметр контролируемого участка оси, мм; δ — коэффициент ослабления ультразвуковой волны, Нп/мм.

Коэффициент δ в выражении (1) характеризует ослабление ультразвуковой волны при ее прохождении в оси колесной пары не только за счет затухания, но и за счет ввода через выпуклую цилиндрическую поверхность, которая играет роль расфокусирующей линзы для ультразвука.

Из выражения (1) находим аналитическую зависимость для расчета коэффициента ослабления ультразвуковой волны при ее прохождении в оси колесной пары в радиальном направлении:

$$\delta = - \frac{\ln \left(\frac{10^{(N_d/20)} 2\lambda D}{S_a} \right)}{2D}. \quad (2)$$

Отражение ультразвуковой волны от плоскодонного цилиндрического отражателя описывается аналитической зависимостью [9–11]

$$N = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta x} \right), \quad (3)$$

где S_b — площадь плоскодонного цилиндрического отражателя, мм²; x — расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до отражателя, мм.

Из выражений (2) и (3) получаем

$$N = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} \left(\frac{10^{(N_d/20)} 2\lambda D}{S_a} \right)^{\frac{x}{D}} \right). \quad (4)$$

Как видно из выражения (4), для расчета амплитудной характеристики ультразвукового эхо-сигнала от плоскодонного цилиндрического отражателя необходимо знать амплитудную характеристику донного эхо-сигнала на контролируемом участке оси, которая измеряется непосредственно в контролируемой оси на бездефектном участке.

По результатам измерения амплитудной характеристики донного эхо-сигнала на контролируемом участке оси, воспользовавшись аналитической зависимостью (4), строится диаграмма амплитуда — расстояние — диаметр (АРД-диаграмма) для диаметров плоскодонных цилиндрических отражателей 3 и 5 мм [12].

На рис. 4 представлена АРД-диаграмма для участка локомотивной оси диаметром 235 мм, амплитуда

донного эхо-сигнала $N_d = -35$ дБ (на бездефектном участке).

При выявлении в контролируемой оси эхо-сигнала от несплошности его оценка осуществляется следующим образом:

- в случае попадания значения амплитудной характеристики эхо-сигнала от несплошности в область 1 (см. рис. 4) АРД-диаграммы несплошность классифицируется как дефект;
- в случае попадания значения амплитудной характеристики эхо-сигнала от несплошности в область 2 или на кривую 1 АРД-диаграммы осуществляется оценка несплошностей по протяженности, количеству и условному расстоянию между несплошностями следующим образом — ось признается несоответствующей техническим требованиям, если:

- 1) в оси выявляются шесть или больше эхо-сигналов от несплошностей;
- 2) минимальное условное расстояние между любыми двумя несплошностями меньше 50 мм;
- 3) когда условная протяженность несплошности больше 40 мм;

- в случае попадания значения амплитудной характеристики эхо-сигнала от несплошности в область 3 или на кривую 2 АРД-диаграммы несплошность классифицируется как допустимая.

При оценке несплошностей в оси колесной пары при помощи АРД-диаграмм контроль оси необходимо осуществлять при чувствительности поиска, которая превышает на 6 дБ амплитуду эхо-сигнала от эталонного отражателя диаметром 5 мм, расположенного на максимальной глубине в контролируемом диапазоне. Однако контроль с такой чувствительностью приведет к повышенному уровню шумов в начале временной развертки ультразвукового дефектоскопа. На рис. 5 представлено фото экрана ультразвукового дефектоскопа УД 2-70, настроенного на чувствительность поиска для контроля подступичной части локомотивной оси диаметром 235 мм. Из рис. 5 виден повышенный уровень шумов приблизительно на 35% диапазона контроля.

Для того чтобы избавиться от описанного выше недостатка применения АРД-диаграмм, целесообразно применение функции временной регулировки чувствительности (функции ВРЧ), имеющейся у большинства современных ручных ультразвуковых дефектоскопов, позволяющей получить одинаковую амплитуду эхо-сигналов от равновеликих отражателей во всем контролируемом диапазоне.

Впервые был разработан новый математический аппарат для безэталонной настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при контроле осей колесных пар с цилиндрической поверхности в радиальном направлении по пяти точкам. На рис. 6 представлены основные аналитические зависимости для настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа.

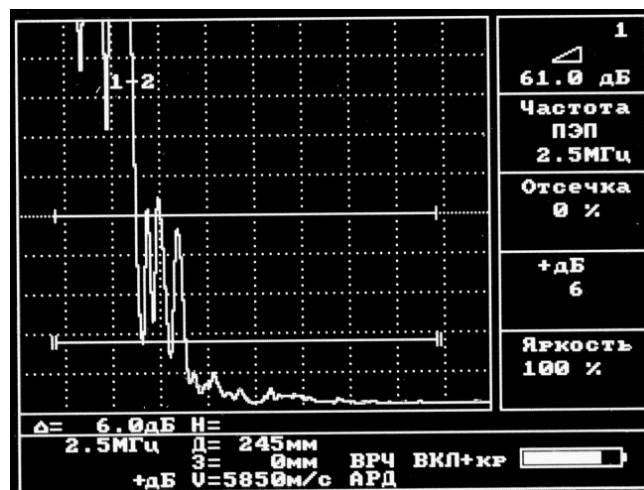


Рис. 5. Фото экрана ультразвукового дефектоскопа УД 2-70, настроенного с чувствительностью поиска

Fig. 5. Screen picture of ultrasonic flaw detector UD2-70 adjusted from sensitivity search

Коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ	
$20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 (D-20)^2} \left(\frac{10^{\frac{N_d}{20}} 2\lambda D}{S_a} \right)^{1-\frac{20}{D}} \right)$	
Диапазон ультразвукового дефектоскопа, мм	
$D + 10$	
Координата маркера ВРЧ, мм	Уровень ВРЧ, дБ
$D - 20$	0
$0,75D - 10$	$20 \lg \left(\frac{(D-20)^2}{(0,75D-10)^2} \left(\frac{10^{\frac{N_d}{20}} 2\lambda D}{S_a} \right)^{\frac{10}{D}-0,25} \right)$
$D/2$	$20 \lg \left(\frac{(D-20)^2}{(D/2)^2} \left(\frac{10^{\frac{N_d}{20}} 2\lambda D}{S_a} \right)^{\frac{20}{D}-0,5} \right)$
$0,25D + 10$	$20 \lg \left(\frac{(D-20)^2}{(0,25D+10)^2} \left(\frac{10^{\frac{N_d}{20}} 2\lambda D}{S_a} \right)^{\frac{30}{D}-0,75} \right)$
20	$20 \lg \left(\frac{(D-20)^2}{400} \left(\frac{10^{\frac{N_d}{20}} 2\lambda D}{S_a} \right)^{\frac{40}{D}-1} \right)$

Рис. 6. Аналитические зависимости для настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при ультразвуковом контроле осей колесных пар подвижного состава железных дорог

Fig. 6. Analytical dependence for setting function of difference-frequency wave for ultrasonic flaw detector during ultrasonic inspection of wheelset axles of railway rolling stock

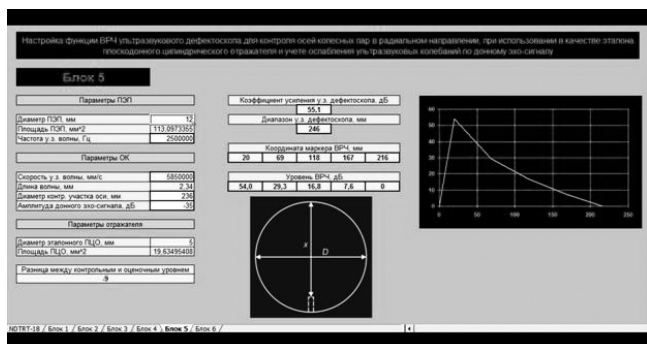


Рис. 7. Окно «Блок 5» программного продукта «NDTRT-18»

Fig. 7. The window "Block 5" of "NDTRT-18" software

Разница между контрольным и оценочным уровнями находится из выражения

$$\Delta N = 20 \lg \left(\frac{S_{b-3}}{S_{b-5}} \right) = 20 \lg \left(\frac{7,069}{19,635} \right) = -8,873 \text{ дБ} \approx -9 \text{ дБ}, \quad (5)$$

где S_{b-3} — площадь плоскодонного цилиндрического отражателя диаметром 3 мм, мм²; S_{b-5} — площадь плоскодонного цилиндрического отражателя диаметром 5 мм, мм².

Для автоматизации расчетов при настройке функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при контроле осей колесных пар в радиальном направлении был разработан программный продукт «NDTRT-18» (Блок 5).

Окно программного продукта «NDTRT-18» — (Блок 5) представлено на рис. 7.

Программный продукт «NDTRT-18» устанавливается на персональный компьютер или планшет. Настройка функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при контроле осей колесных пар в радиальном направлении при помощи программного продукта «NDTRT-18» (Блок 5) осуществляется следующим образом:

- на контролируемом участке оси измеряется амплитуда донного эхо-сигнала (на бездефектном участке);
- в окно (Блок 5) программного продукта «NDTRT-18» вводятся следующие данные: диаметр контролируемого участка оси, мм; диаметр пьезоэлектрического преобразователя, мм; частота ультразвуковой волны, Гц; скорость ультразвуковой волны в объекте контроля, мм/с; амплитуда донного эхо-сигнала, дБ;
- программный продукт «NDTRT-18» (Блок 5) рассчитывает параметры настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа: коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ; диапазон ультразвукового дефектоскопа, мм; разницу между контрольным и оценочным уровнем, дБ; координаты маркера ВРЧ, мм; уровень ВРЧ для разных координат, дБ; также выводится приблизительный вид кривой ВРЧ, который должен получиться на экране дефектоскопа;

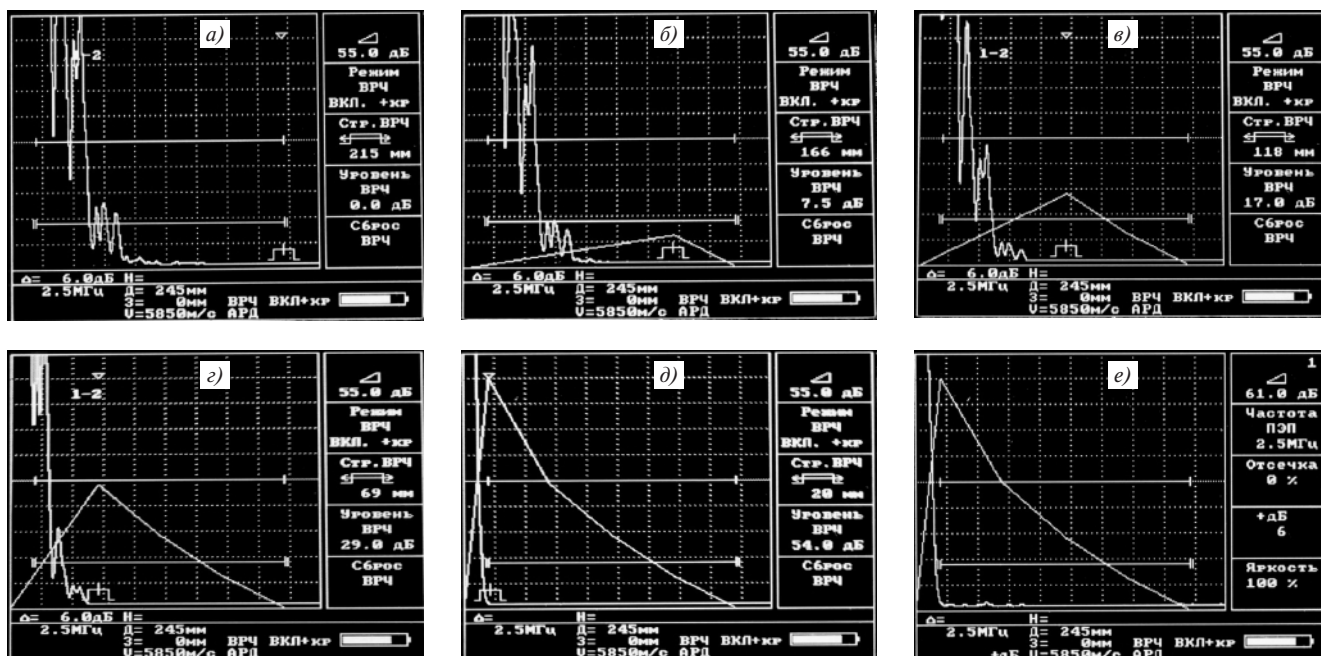


Рис. 8. Фото экранов ультразвукового дефектоскопа УД 2-70 при настройке функции ВРЧ, при координатах маркера ВРЧ:

а — 215 мм; б — 166 мм; в — 188 мм; г — 69 мм; д — 20 мм; е — режим контроля (чувствительность поиска)

Fig. 8. Picture screens of ultrasonic flaw detector UD2-70 when adjusting difference- frequency wave function, at the marker coordinate of difference- frequency wave:

а — 215 mm; б — 166 mm; в — 188 mm; г — 69 mm; д — 20 mm; е — control mode (search sensitivity)

• на ультразвуковом дефектоскопе выставляются следующие данные:

1) диапазон контроля;
2) коэффициент усиления;
3) параметры строка 1 (отмечается оценочный уровень): начало строка 20 мм, длина строка D —40 мм, где D —диаметр контролируемого участка; уровень строка 0,0 дБ;

4) параметры строка 2 (отмечается контрольный уровень): начало строка 20 мм, длина строка D —40 мм; уровень строка –9,0 дБ;

5) дальше идет настройка функции ВРЧ: вначале выставляется координата маркера ВРЧ, находящегося на максимальной глубине в контролируемом диапазоне, и выставляется рассчитанный программным продуктом уровень ВРЧ, и так далее справа налево.

На рис. 8 представлены фото экрана ультразвукового дефектоскопа УД 2-70 при настройке функции ВРЧ разработанным безэталонным методом для контроля подступичной части локомотивной оси диаметром 235 мм (амплитуда донного сигнала—35 дБ). Первым стробом отмечен оценочный уровень, вторым—контрольный.

Выводы. 1. Разработан безэталонный метод настройки чувствительности ультразвуковой аппаратуры и оценки допустимости несплошностей при ультразвуковом контроле осей колесных пар подвижного состава железных дорог эхоимпульсным акустическим методом.

2. Предлагаемый метод позволяет повысить достоверность результатов ультразвукового контроля за счет исключения недостатков применения стандартных образцов предприятия при настройке чувствительности и оценке допустимости несплошностей.

3. Созданный программный продукт «NDTRT-18» (Блок 5) позволяет автоматизировать расчеты для настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при контроле осей колесных пар подвижного состава железных дорог.

4. Безэталонный метод и программный продукт «NDTRT-18» успешно внедрены в ПАО «Лугансктепловоз» в технологический процесс ультразвукового контроля осей колесных пар магистральных тепловозов 2ТЭ116У, 3ТЭ116У, 2ТЭ116УД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бервинов В.И., Доронин Е.Ю., Зенин И.П. Техническое диагностирование и неразрушающий контроль деталей и узлов локомотивов. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. 332 с.
2. Гаврилюк А.Ф., Рябец Т.А. Состояние и анализ безопасности движения на железных дорогах Украины. Пути развития средств НК // Неразрушающий контроль. 2008. № 2. С. 13—21.
3. Капранов Б.И., Коротков М.М. Акустические методы контроля и диагностики: учебное пособие. Ч. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 186 с.
4. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. Изд. 2-е, испр. и доп. / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
5. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах. Т. 3: Ультразвуковой контроль / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
6. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / пер. с англ. М.: Наука, 1978. 544 с.
7. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1965. 391 с.
8. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник / пер. с нем. Е. К. Бухмана, Л. С. Зенковой; под ред. В. Н. Волченко. М.: Металлургия, 1991. 752 с.
9. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
10. Киреев А.Н. Дефектометрия при ручном контроле элементов и систем подвижного состава железных дорог ультразвуковым эхо-методом // Вестник РГУПС. 2015. № 2. С. 24—30.
11. Киреев А.М. Наукові основи та практична реалізація вдосконалення ультразвукового контролю елементів та систем рухомого складу залізниць. Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2012. 142 с.
12. Повышение достоверности диагностической операции ультразвукового контроля осей колесных пар / Г.Г. Басов [и др.] // Ресурсосберегающие технологии производства и обработка давлением материалов в машиностроении: сборник научных трудов. Луганск, 2008. С. 292—299.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КИРЕЕВ Андрей Николаевич, канд. техн. наук, начальник центральной заводской лаборатории ПАО «Лугансктепловоз»; доцент кафедры железнодорожного транспорта Луганского государственного университета имени Владимира Даля

ВИТРЕНКО Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор по науке Луганского государственного университета имени Владимира Даля

Статья поступила в редакцию 6.11.2015 г., актуализирована 4.12.2015 г., принята к публикации 30.12.2015 г.

Improvement of ultrasonic inspection of wheelset axles of railway rolling stock

A. N. KIREEV^{1,2}, V. A. VITRENKO²

¹Public Joint Stock Company "Luganskteplovoyz", Lugansk, 91005, Ukraine

²Lugansk State University named after Vladimir Dal, State educational institution of higher education, Lugansk, 91034, Ukraine

Abstract. The article set the task of improving the ultrasonic inspection of wheelset axles of railway rolling stock by increasing the reliability of the inspection results.

Taken into account the specificity of the wheelset axles production defects, which may occur in it due to failures in technological processes of production, located mainly near the center of the axis and extend along the axis. Such defects are gained more complete identification as a result of the ultrasonic inspection with pulse-echo method on cylindrical side with direct converter in radial direction.

During ultrasonic inspection of axles on the cylindrical side in the radial direction sensitivity setting and evaluation of the permissibility of defects is performed on standardized samples of the enterprise with standard reflectors located at different depths in the inspection range. Cylindrical flat bottom 5 mm diameter reflectors are used as reference reflector, to adjust the estimated level of sensitivity, and 3 mm for adjusting the reference sensitivity level. The main disadvantage of the use of standard samples of the enterprise is the possible non-conformity of standard reflectors with technical requirements, such as the lack of parallelism of tangent plane of the flat bottom of the reflector to the entry point of the ultrasonic wave; lack of flatness of the bottom of the reference reflector; increased roughness of the flat bottom of the reference reflector, and others. The mismatch data results in decrease of the amplitude of echoes from the reference reflector, which leads to inaccurate assessment of defects in the inspected axis.

To eliminate the disadvantages of standard enterprise samples more reasonable is to make a transition to the assessment of defects by the use of charts amplitude-distance-diameter, built on the use of analytical dependencies describing the amplitude of the ultrasonic echo signal from different reflective surfaces. However, the application of the graphs method amplitude-distance-diameter leads to an increased amount of noises during the process of ultrasonic inspection at the beginning of the inspected range of flaw-detection.

The paper presents a mathematical apparatus and on its basis a standardless method for the setting of time function is developed to adjust the sensitivity of the ultrasonic flaw detector during the inspection of wheelset axes of railway rolling stock, allowing to exclude disadvantages of application of standard samples of the enterprise during the control and the diagram method the amplitude-distance-diameter, and accordingly, increase the reliability of the results of ultrasonic testing.

To automate the calculation when setting up the time function to adjust the sensitivity of the ultrasonic flaw detector the software "NDTRT-18" was designed (Unit 5).

A method for time setting to adjust the sensitivity of the ultrasonic flaw detector with developed standardless method and software product "NDTRT-18" was described.

Results of the practical setting the time function to adjust the sensitivity of the ultrasonic flaw detector UD 2 – 70 with using developed standardless method for ultrasonic inspection of the locomotive wheel seat axis of 235 mm diameter were presented.

Developed standardless method and software were implemented in the public joint stock company "Luganskteplovoyz" into the process of inspection of wheelset axles of diesel locomotives 2TE116U, 3TE116U, 2TE116UD with ultrasonic pulse-echo method.

Keywords: railway rolling stock; the wheelset axle; technical diagnostics; nondestructive testing; ultrasonic testing; echo pulse method; time sensitivity adjustment

■ E-mail: lifter_23@mail.ru (A. N. Kireev)

REFERENCES

1. Bervinov V.I., Doronin E.Yu., Zenin I.P. *Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i nerazrushayushchiy kontrol' de-taley i uzlov lokomotivov* [Technical diagnostics and non-destructive testing of parts and components of locomotives]. Moscow, GOU "Training Center for education on railway transport" Publ., 2008, 332 p.
2. Gavriluk A. F., Ryabets T. A. *Sostoyaniye i analiz bezopasnosti dvizheniya na zheleznykh dorogakh Ukrainy. Puti razvitiya sredstv NK* [Status and analysis of traffic safety on the railways of Ukraine. Ways of development of NDT]. *Nerazrushayushchiy kontrol'*, 2008, no. 2, pp. 13 – 21.
3. Kapranov B. I., Korotkov M. M. *Akusticheskiye metody kontrolya i diagnostiki* [Acoustic methods of control and diagnostics]. Tomsk, TPK Publ., 2008, 186 p.
4. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika* [Nondestructive testing and diagnostics. Reference book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003, 656 p.
5. Ermolov I. N., Lange Yu. V., Klyuev V. V. *Ul'trazvukovoy kontrol'* [Ultrasonic testing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004, vol. 3, 864 p.
6. Truell R., Elbaum Ch., Chik B. *Ultrasonic methods in solid state physics* [transl. from English]. Moscow, Nauka Publ., 1972, 340 p.
7. Shraiber D. S. *Ul'trazvukovyye metody v fizike tverdogo tela* [Ultrasonic flaw detection]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1965, 391 p.
8. Krautkremer Yozef, Gerbert Krautkremer. *Ul'trazvukovoy kontrol' materialov* [Ultrasonic testing of materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991, 752 p.
9. Ermolov I. N. *Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya* [Theory and practice of ultrasonic testing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 240 p.
10. Kireev A. N. *Defektometriya pri ruchnom kontrole elementov i sistem podvizhnogo sostava zheleznykh dorog ul'trazvukovym ekho-metodom* [Defectometry with manual control of elements and railway rolling stock systems with ultrasonic echo method]. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 2015, no. 2, pp. 24 – 30.
11. Kireev A. M. *Naukovі osnovi ta praktichna realizatsiya vdoshkonalennya ul'trazvukovogo kontrolyu elementiv ta sistem rukhomogo skladu zaliznits* [Scientific bases and practical realization of the perfection of ultrasonic testing of components and systems of railway rolling stock]. Lugansk, Noulidzh Publ., 2012, 142 p. (in Ukr.).
12. Basov G. G., Kireev A. N., Mozheyko A. V., Kireeva M. A. *Povyshenie dostovernosti diagnosticheskoy operatsii ul'trazvukovogo kontrolya osey kolesnykh par. Resursoberegayushchie tekhnologii proizvodstva i obrabotka davleniem materialov v mashinostroenii*. Sb. nauch. tr. [Increasing the reliability of diagnostic operation of ultrasonic test-ing of wheelset axles. Resource saving technologies of production and pressure processing of materials in mechanical engineering. Coll. sci. works]. Lugansk, SNU im. V. Dala Publ., 2008, pp. 292 – 299.

ABOUT THE AUTHORS

KIREEV Andrey Nikolaevich,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the central laboratory of Public Joint Stock Company "Luganskteplovoyz"; Associate Professor of Department of Railway Transport, Lugansk State University named after Vladimir Dal

VITRENKO Vladimir Alekseevich,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-Rector for Science, Lugansk State University named after Vladimir Dal, State educational institution of higher education

Received 6.11.2015

Revised 4.12.2015

Accepted 30.12.2015