

Применение функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом

А. Н. КИРЕЕВ^{1,2}, В. А. ВИТРЕНКО²

¹ Публичное акционерное общество «Лугансктепловоз», Луганск, 91005, Украина

² Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, 91034, Украина

Аннотация. В статье рассматривается задача разработки метода отстройки функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности по боковому цилиндрическому отражателю диаметром 6 мм, расположенному в мере СО-2 на глубине 44 мм, ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом.

Описывается математический аппарат для отстройки функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности по боковому цилиндрическому отражателю в мере СО-2 ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог, а также разработанный на его основе программный продукт NDTRT-23 для автоматизации расчетов параметров временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог; неразрушающий контроль; ультразвуковой контроль; эхо-импульсный метод; условная чувствительность; временная регулировка чувствительности

Введение. Применение методов неразрушающего контроля (НК) [1] получило широкое распространение при оценке технического состояния деталей подвижного состава железных дорог (ПСЖД) как при изготовлении, так и в эксплуатации. Наибольшее распространение методы НК получили при контроле на отсутствие в деталях ПСЖД недопустимых несплошностей (дефектоскопия).

Для выявления в деталях ПСЖД поверхностных несплошностей применяются визуальный [2] и капиллярный [3] методы НК. Для выявления поверхностных и подповерхностных несплошностей применяются магнитный [4, 5] и электромагнитный (вихретоковый) [6] методы НК.

Для выявления внутренних несплошностей в деталях ПСЖД применяется радиационный метод [7] НК, однако он имеет множество недостатков и ограничений: необходимость защиты персонала от вредного воздействия ионизирующего излучения; относитель-

но небольшая толщина просвечиваемых деталей (до 100 мм); громоздкость аппаратуры; дороговизна применяемых при контроле материалов (рентгеновская пленка, реактивы); сложность в выявлении плоскостных несплошностей с малым раскрытием. Данные ограничения обусловили применение радиационного метода НК в основном при контроле сварных соединений с относительно малыми толщинами свариваемых деталей (до 10 мм, толщины свыше 10 мм достоверно контролируются акустическими методами) и контроле литых деталей толщиной не более 100 мм.

Успешно применяются при контроле деталей ПСЖД на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей акустические [8] методы НК. Из них наибольшее распространение получил ультразвуковой эхо-импульсный метод.

Анализ проблемы и постановка задачи. Для отстройки чувствительности аппаратуры при ультразвуковом контроле (УЗК) деталей ПСЖД эхо-импульсным методом применяются различные виды отражателей [9] в зависимости от конструкции объекта контроля и наиболее часто встречающихся видов несплошностей.

Широкое распространение в различных методиках УЗК деталей ПСЖД как при изготовлении, так и в эксплуатации получил метод настройки условной чувствительности на мере СО-2 (рис. 1) [10]. Метод заключается в отстройке нулевого уровня на боковом цилиндрическом отражателе (БЦО) и добавлении к нему дополнительного коэффициента усиления (k_y), установленного нормативной документацией на контроль.

Отстройка нулевого уровня от БЦО в мере СО-2 осуществляется следующим образом: пьезоэлектрический преобразователь устанавливается на рабочую поверхность меры СО-2 над БЦО диаметром 6 мм, расположенным на глубине 44 мм. Медленно «притирая» преобразователь к поверхности меры СО-2, определя-

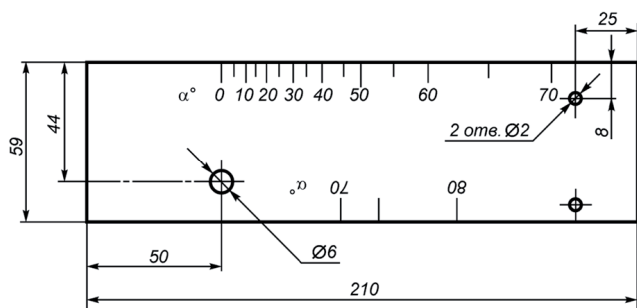


Рис. 1. Эскиз меры СО-2
Fig. 1. Outline of CO-2 measure

ется точка с максимальной амплитудой эхо-сигнала от БЦО. Кнопками усиления и ослабления сигнала амплитуда эхо-сигнала доводится до контрольного уровня (обычно 50 % высоты вертикальной шкалы экрана дефектоскопа), фиксируется показание децибелного аттенюатора ($N_{\text{СО-26ио}}$).

Достоинством применения метода условной чувствительности является то, что для настройки достаточно одной меры СО-2 с фиксированными поверяемыми метрологическими характеристиками при контроле довольно широкой номенклатуры деталей ПСЖД.

Недостатком данного метода является то, что чувствительность по всему диапазону контроля будет одинаковой и, соответственно, приведет к тому, что в начале диапазона контроля несплошности малого размера будут классифицироваться как недопустимые, в то время как несплошности такого же размера в конце диапазона контроля будут классифицироваться как допустимые. Это имеет особое значение при контроле деталей с диапазоном контроля 70 мм и более.

Для выравнивания амплитуды эхо-сигнала от равновеликих отражателей во всем диапазоне контроля используется функция временной регулировки чувствительности (ВРЧ) ультразвукового дефектоскопа. Однако функция ВРЧ ультразвукового дефектоскопа отстраивается при настройке эквивалентной чувствительности на стандартных образцах предприятия с эталонными отражателями (плоскодонный цилиндрический отражатель, полусферический отражатель и др.). Методов отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности не существует.

Цель научного исследования — разработка метода применения функции ВРЧ при настройке условной чувствительности на мере СО-2 при УЗК деталей ПСЖД.

Основная часть. Для настройки функции ВРЧ необходимо учесть ослабления амплитуды эхо-сигнала за счет расширения фронта волны в зоне Фраунгофера. Отражение продольной ультразвуковой волны в зоне Фраунгофера от бокового цилиндрического отражателя описывается выражением [11, 12]:

$$N = 20 \lg \left(\frac{S_a}{\lambda} \sqrt{\frac{d}{8x^3 \left(1 + \frac{d}{2x}\right)}} \right), \quad (1)$$

где N — амплитуда эхо-сигнала от БЦО, дБ; S_a — площадь пьезоэлектрического преобразователя, мм²; λ — длина ультразвуковой волны, мм; d — диаметр БЦО (для меры СО-2 — 6 мм), мм; x — расстояние до отражателя, мм.

Настройку функции ВРЧ предлагается проводить по пяти точкам:

$$x = \begin{cases} x_1 = 20 \\ x_2 = 0,25x_d + 12,5 \\ x_3 = 0,5x_d + 5 \\ x_4 = 0,75x_d - 2,5 \\ x_5 = x_d - 10 \end{cases} \quad \text{мм}, \quad (2)$$

где x_d — расстояние до донной поверхности, мм; точка x_1 — начало диапазона контроля (20 мм, выбрано для учета зоны Френеля преобразователя диаметром 12 мм и частотой 2,5 МГц); x_5 — конец диапазона контроля (10 мм от донной поверхности, выбрано с учетом мертвой зоны в конце диапазона контроля); x_2 , x_3 , x_4 — четверть, половина и три четверти диапазона контроля соответственно.

Амплитуда эхо-сигнала в точках x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 будет соответственно N_1 , N_2 , N_3 , N_4 , N_5 .

Уровень ВРЧ ($k_{\text{ВРЧ}}$, дБ) в точках x_1 – x_5 будет находиться из выражения:

$$k_{\text{ВРЧ}} = \begin{cases} k_{\text{ВРЧ1}} = N_1 - N_5 & \text{при } x = x_1; \\ k_{\text{ВРЧ2}} = N_2 - N_5 & \text{при } x = x_2; \\ k_{\text{ВРЧ3}} = N_3 - N_5 & \text{при } x = x_3; \\ k_{\text{ВРЧ4}} = N_4 - N_5 & \text{при } x = x_4; \\ k_{\text{ВРЧ5}} = 0 & \text{при } x = x_5. \end{cases} \quad (3)$$

Воспользовавшись выражениями (1)–(3), получаем математический аппарат для отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 для ультразвукового контроля деталей ПСЖД эхо-импульсным методом (табл. 1).

Для автоматизации расчетов для отстройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа был разработан программный продукт NDTRT-23. Окно программного продукта представлено на рис. 2.

В программный продукт NDTRT-23 вводятся следующие данные: расстояние до донной поверхности x_d , мм; амплитуда эхо-сигнала от БЦО в мере СО-2 $N_{\text{СО-26ио}}$, дБ; дополнительный коэффициент усиления k_y , дБ.

В окне программного продукта NDTRT-23 выводятся следующие данные: коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ; диапазон ультразвуку-

вого дефектоскопа, мм; координаты маркера ВРЧ, мм; уровень ВРЧ, дБ; кривая ВРЧ в графическом виде.

На рис. 3. представлены фото экрана ультразвукового дефектоскопа с отстройкой функции ВРЧ при настройке условной чувствительности для контроля ступицы центра колесного спицевого литого для колесных пар электропоезда на выявление внутренних технологических дефектов после предварительной механической обработки ($N_{\text{СО-2бцо}} = 8 \text{ дБ}$, $k_y = 4 \text{ дБ}$, $x_d = 206 \text{ мм}$).

Для возможности выбора количества точек при отстройке функции ВРЧ была получена аналитическая зависимость в общем виде (без конкретных значений точек настройки ВРЧ):

$$k_{\text{ВРЧ}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{x_k^3 (1 + 3/x_k)}{x^3 (1 + 3/x)}} \right), \quad (4)$$

где x_k — конечная точка контроля; x — точка настройки функции ВРЧ, мм.

Аналитическая зависимость (4) учитывает ослабление ультразвуковой волны при ее прохождении в объекте контроля за счет расхождения, но не учитывает ослабление ультразвуковой волны за счет затухания. Была получена аналитическая зависимость, которая учитывает ослабление ультразвуковой волны и за счет расхождения, и за счет затухания:

$$k_{\text{ВРЧ}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{x_k^3 (1 + 3/x_k)}{x^3 (1 + 3/x)}} \right) \left(2\lambda x_d 10^{N_d/20} / S_a \right)^{\frac{x-x_k}{x_d}}, \quad (5)$$

где N_d — амплитуда донного сигнала на бездефектном участке объекта контроля.

Однако для учета затухания ультразвуковой волны необходимо измерение амплитуды донного сигнала на бездефектном участке объекта контроля. Следовательно, отстройка функции ВРЧ будет производиться для каждого конкретного контролируемого изделия. Применение аналитической зависимости (5) целесообразно при контроле партии однотипных объектов с приблизительно равным затуханием.

Для оценки достоверности предложенного метода отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения эксперимента был изготовлен образец «ЭКСП.ОБР.» из стали 20, высотой 59 мм (в качестве заготовки для изготовления образца взята мера СО-2), в котором были выполнены три БЦО диаметром 6 мм на глубинах 27 мм (БЦО 3), 34 мм (БЦО 2) и 44 мм (БЦО 1), расстояние от торца образца до центра БЦО 3 — 79 мм.

Для проведения эксперимента применялся ультразвуковой импульсный дефектоскоп УД2-70, прямой совмещенный пьезоэлектрический преобразователь П111-2,5-к12-003, в качестве контактной жидкости

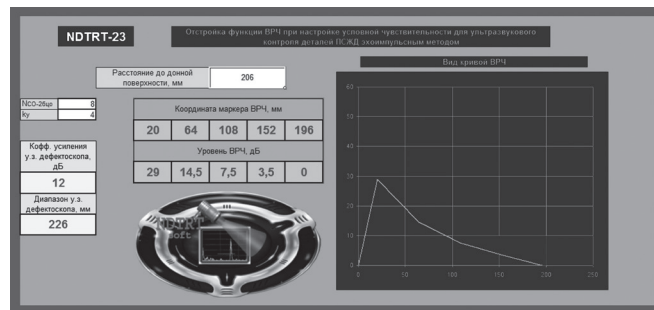


Рис. 2. Окно программного продукта NDTRT-23
Fig. 2. The window of the software product NDTRT-23

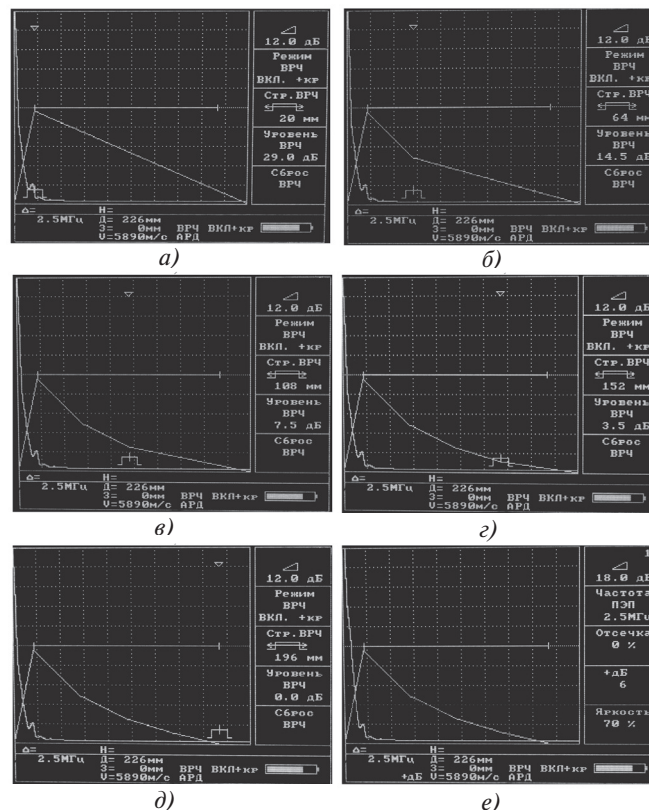


Рис. 3. Фото экранов ультразвукового дефектоскопа УД2-70 с отстройкой функции ВРЧ при координате маркера ВРЧ: а — 20 мм; б — 64 мм; в — 108 мм; г — 152 мм; д — 196 мм; е — режим контроля (чувствительность поиска, превышающая на 6 дБ чувствительность оценки)

Fig. 3. Screens photo of ultrasonic flaw detector UD2-70 with detuning the DAC function at the coordinate of the DAC marker: а — 20 mm; б — 64 mm; в — 108 mm; г — 152 mm; д — 196 mm; е — control mode (search sensitivity, exceeding by 6 dB sensitivity of the evaluation)

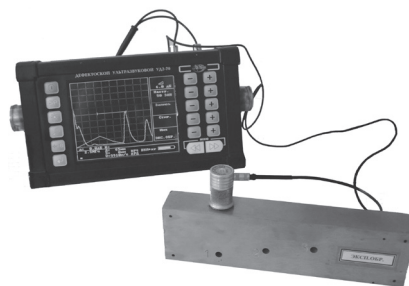


Рис. 4. Стенд для проведения эксперимента
Fig. 4. Stand for the experiment

применялся глицерин. Фото экспериментального стенда представлено на рис. 4.

В образце определялась амплитуда эхо-сигнала от БЦО, расположенных на разной глубине, при настройке условной чувствительности по БЦО 1, расположенному на глубине 44 мм, с добавлением дополнительного коэффициента усиления 7,5 дБ без функции ВРЧ и с отстроенной функцией ВРЧ. Расчет параметров функции ВРЧ осуществлялся с помощью

Таблица 1

Математический аппарат для отстройки функции ВРЧ

Table 1

Mathematical tool for detuning the DAC function

Коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ	
$N_{\text{СО-26но}} + k_y$	
Параметры отстройки функции ВРЧ	
Точка ВРЧ (координата маркера ВРЧ), мм	Уровень ВРЧ, дБ
$x_1 = 20$	$k_{\text{ВРЧ1}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{9200}} \right)$
$x_2 = 0,25x_d + 12,5$	$k_{\text{ВРЧ2}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,25x_d + 12,5)^3 (1 + 3 / (0,25x_d + 12,5))}} \right)$
$x_3 = 0,5x_d + 5$	$k_{\text{ВРЧ3}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,5x_d + 5)^3 (1 + 3 / (0,5x_d + 5))}} \right)$
$x_4 = 0,75x_d - 2,5$	$k_{\text{ВРЧ4}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,75x_d - 2,5)^3 (1 + 3 / (0,75x_d - 2,5))}} \right)$
$x_5 = x_d - 10$	$k_{\text{ВРЧ5}} = 0$

Таблица 2

Параметры функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа для проведения эксперимента

Table 2

Parameters of the DAC function of the ultrasonic flaw detector for the experiment

Точка ВРЧ (координата маркера ВРЧ), x, мм				
20	34	48	61	75
Уровень ВРЧ, $k_{\text{ВРЧ}}$, дБ				
17	10	5,5	2,5	0

аналитической зависимости (4), параметры функции ВРЧ представлены в табл. 2.

Фото экранов ультразвукового дефектоскопа при определении амплитуды эхо-сигнала от отражателей в экспериментальном образце без функции ВРЧ представлены на рис. 5. Фото экранов ультразвукового дефектоскопа при определении амплитуды эхо-сигнала от отражателей в экспериментальном образце с отстроенной функцией ВРЧ представлены на рис. 6.

Как видно из рис. 5, при отключенной функции ВРЧ амплитуда эхо-сигналов от равновеликих БЦО в экспериментальном образце, расположенных на разной глубине, различна.

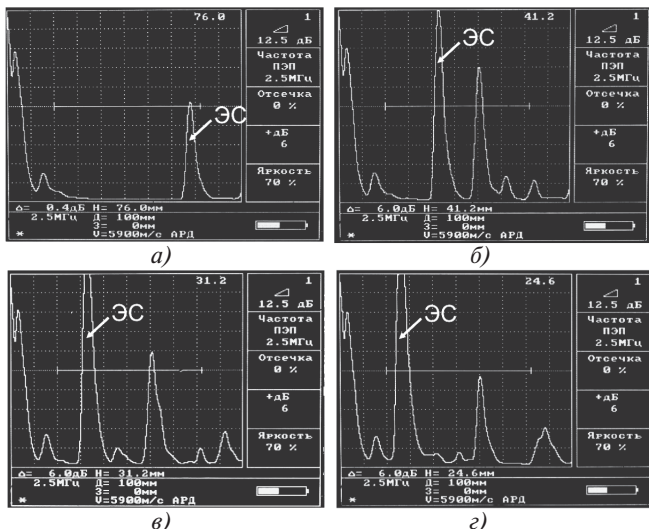


Рис. 5. Определение эхо-сигналов от БЦО в образце без функции ВРЧ: а — эхо-сигнал (ЭС) от БЦО 3 с торца; б — эхо-сигнал от БЦО 1; в — эхо-сигнал от БЦО 2; г — эхо-сигнал от БЦО 3
Fig. 5. Determination of echo signals from the SDH in the sample without the DAC function: а — echo signal (ЭС) from the SDH 3 from the end; б — echo signal from the SDH 1; в — echo signal from the SDH 2; г — echo signal from the SDH 3

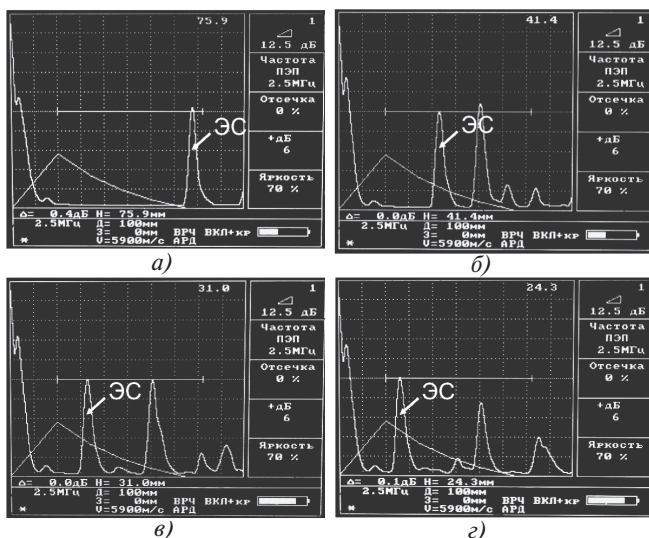


Рис. 6. Определение эхо-сигнала от БЦО в образце с отстроенной функцией ВРЧ: а — эхо-сигнал от БЦО 3 с торца; б — эхо-сигнал от БЦО 1; в — эхо-сигнал от БЦО 2; г — эхо-сигнал от БЦО 3
Fig. 6. Determination of echo signals from the SDH in the sample with detuned DAC function: а — echo signal (ЭС) from the SDH 3 from the end; б — echo signal from the SDH 1; в — echo signal from the SDH 2; г — echo signal from the SDH 3

При отстроенной функции ВРЧ (рис. 6), амплитуда эхо-сигналов от равновеликих БЦО в экспериментальном образце одинаковая (в пределах погрешности измерения), что подтверждает достоверность предложенного метода.

Выводы. 1. Наибольшее распространение при выявлении внутренних дефектов в деталях ПСЖД получил ультразвуковой эхо-импульсный метод.

2. Отсутствие отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД приведет к тому, что амплитуда эхо-сигнала от равновеликих отражателей (дефектов) во всем диапазоне контроля будет разной, и их оценка будет недостоверной.

3. Предложен математический аппарат для отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД по пяти точкам.

4. Для автоматизации расчетов параметров ВРЧ на основе полученного математического аппарата был разработан программный продукт NDTRT-23.

5. Получена аналитическая зависимость для отстройки функции ВРЧ, позволяющая выбрать количество точек ВРЧ.

6. Получена аналитическая зависимость для отстройки функции ВРЧ, позволяющая учесть затухание ультразвуковой волны в объекте контроля.

7. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую достоверность предложенного метода отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиндух В. Ф. Неразрушающие методы контроля и диагностика узлов и деталей подвижного состава: учеб. пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 2005. 109 с.

2. ГОСТ 23479–79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.

3. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1989. 24 с.

4. Ергучев Л. А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава. Гомель: УО «БелГУТ», 2005. 90 с.

5. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Магнитно-порошковый метод. Типовые технологические процессы. М.: Стандартинформ, 2015. 116 с.

6. ГОСТ Р ИСО 15549–2009. Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.

7. ГОСТ 20426–82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения. М.: Изд-во стандартов, 1982. 24 с.

8. ГОСТ 20415–82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. М.: Изд-во стандартов, 1982. 14 с.

9. Киреев А. Н. К вопросам об эталонировании чувствительности ультразвукового импульсного эхо-метода при контроле элементов подвижного состава железных дорог // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2007. № 8. Ч. 2. С. 104–107.

10. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2014. 24 с.

11. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.

12. Киреев А. Н. Дефектometрия при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог. Луганск: Ноулидж, 2016. 147 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КИРЕЕВ Андрей Николаевич,

канд. техн. наук, начальник центральной заводской лаборатории ПАО «Лугансктепловоз»; доцент кафедры железнодорожного транспорта ГОУ ВПО «Луганский национальный университет им. Владимира Даля»

ВИТРЕНКО Владимир Алексеевич,

д-р техн. наук, профессор, проректор по науке ГОУ ВПО «Луганский национальный университет им. Владимира Даля»

Статья поступила в редакцию 31.08.2017 г., актуализирована 03.11.2017 г., принята к публикации 11.11.2017 г.

Application of DAC function at the setting of conditional sensitivity of ultrasonic control of rolling stock parts with echo-pulse method

A. N. KIREEV^{1,2}, V. A. VITRENKO²

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

² State Educational Institution of Higher Professional Education "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal'", Lugansk, 91034, Ukraine

Abstract. The aim of the article is to develop a method for tuning out the distance amplitude correction curve (DAC) when adjusting the conditional sensitivity of a lateral cylindrical reflector with a diameter of 6 mm, located in the CO-2 measure at a depth of 44 mm, ultrasonic monitoring of railway rolling stock by an echo-pulse method.

The method of adjusting the conditional sensitivity for the CO-2 measure, which consists in detuning the zero level along the lateral cylindrical reflector, fixing the value of the amplitude and adding an additional gain factor, established by the regulatory documentation for control, obtained a wide circulation in various methods of

ultrasonic inspection of the rolling stock parts both in manufacturing and in operation.

The advantage of applying the method of conditional sensitivity is that one CO 2 measure with fixed verified metrological characteristics is enough to control a fairly wide range of rolling stock parts.

The disadvantage of this method is that the sensitivity over the entire control range will be the same and, accordingly, will lead to the fact that at the beginning of the monitoring range the small-size discontinuities will be classified as unacceptable, while the discontinuities of the same size at the end of the control range will be classified as allowable.

A mathematical tool is proposed for tuning out the DAC when adjusting the conditional sensitivity along the lateral cylindrical reflector to the CO-2 measure of ultrasonic inspection of parts of the railroad rolling stock.

To automate the calculations of the DAC parameters of an ultrasonic flaw detector, the software product NDRTR-23 was developed on the basis of the obtained mathematical tool.

Keywords: railway rolling stock; unbrakable control; ultrasonic testing; echo-pulse method; conditional sensitivity; distance amplitude correction

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-377-382>

REFERENCES

1. Klindukh V. F. *Nerazrushayushchie metody kontrolya i diagnostika uzlov i detalei podvizhnogo sostava. Ucheb. posobie* [Non-destructive inspection methods and diagnostics of units and parts of rolling stock. A textbook]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2005, 109 p.
2. GOST 23479–79. *Non-destructive testing. Methods of optical type. General requirements*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985, 12 p. (in Russ.).
3. GOST 18442–80. *Non-destructive testing. Capillary methods. General requirements*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989, 24 p. (in Russ.).
4. Erguchev L. A. *Magnitnye metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya detalei zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Magnetic methods and means of nondestructive testing of parts of railway rolling stock]. Gomel', UO BelGUT Publ., 2005, 90 p.
5. GOST R 56512–2015. *Non-destructive testing. Magnetic particle method. Typical technological processes*. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 116 p. (in Russ.).
6. GOST R ISO 15549–2009. *Non-destructive testing. Eddy current control. General provisions*. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 11 p. (in Russ.).

7. GOST 20426–82. *Non-destructive testing. Flaw detection methods. Application area*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1982, 24 p. (in Russ.).

8. GOST 20415–82. *Non-destructive testing. Acoustic methods. General provisions*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1982, 14 p. (in Russ.).

9. Kireev A. N. *K voprosam ob etalonirovanii chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo impul'snogo ekho-metoda pri kontrole elementov podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [To questions about the calibration of the sensitivity of the ultrasonic pulse echo-method in the control of railway rolling stock elements]. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [Bulletin of the Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University]. Lugansk, 2007, no. 8, Part 2, pp. 104–107.

10. GOST R 55724–2013. *Non-destructive testing. Welded joints. Ultrasonic methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 24 p. (in Russ.).

11. Ermolov I. N. *Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya* [Theory and practice of ultrasonic testing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 240 p.

12. Kireev A. N. *Defektometriya pri ul'trazvukovom diagnostirovanii elementov i sistem podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [Defectometry in the ultrasonic diagnosis of railroad rolling stock elements and systems]. Lugansk, Knowledge Publ., 2016, 147 p.

ABOUT THE AUTHORS

Andrey N. KIREEV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Central Factory Laboratory of PJSC "Luganskteplovoz"; Associate Professor of the Department of Railway Transport of GOU VPO "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal"

Vladimir A. VITRENKO,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Prorector for Science Issues, GOU VPO "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal"

Received 31.08.2017

Revised 03.11.2017

Accepted 11.11.2017

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

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства АО «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).