

УДК 620.1  
DOI 10.14489/td.2016.11.pp.004-008

# НОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕР СО-2, СО-3 ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПО ГОСТ Р 55724–2013



**А. В. Чуприн,**  
канд. экон. наук,  
ООО «НПК «ЛУЧ»,  
г. Балашиха, Московская  
область, Россия.  
E-mail: avchuprin@mail.ru



**В. А. Чуприн,**  
д-р техн. наук,  
ООО «НПК «ЛУЧ»,  
г. Балашиха, Московская  
область, Россия.  
E-mail: vachuprin@mail.ru



**А. П. Застава,**  
канд. техн. наук,  
ООО «НПК «ЛУЧ»,  
г. Балашиха, Московская  
область, Россия.  
E-mail: dzuna2004@mail.ru



**П. А. Шарин,**  
ООО «НПК «ЛУЧ»,  
г. Балашиха, Московская  
область, Россия.  
E-mail: petrasharin@mail.ru



Статья поступила в редакцию 30.08.2016

Received 30.08.2016

Ультразвуковой контроль изделий невозможен без применения мер СО-2, СО-3. Метрологические характеристики этих мер ранее нормировались ГОСТ 14782 [1], а с 1 июля 2016 г. – ГОСТ Р 55724–2013 [2].

Метрологические характеристики мер СО-2, СО-3 можно разделить на две группы – геометрические и акустические.

Под геометрическими характеристиками будем понимать размеры образцов, местоположение от-

верстий, расположение делений измерительных шкал, шероховатость и т.д.

Геометрические характеристики мер в данной работе не рассматриваются. Задача их нормирования и определения решается путем использования соответствующих приборов для линейно-угловых измерений. Отметим только, что набор геометрических характеристик мер СО-2, СО-3, указанный в ГОСТе [2], недостаточен для однозначного воспроизведения этих мер.

К акустическим характеристикам мер отнесем скорости распространения и коэффициенты затухания продольных и поперечных ультразвуковых волн в них.

ГОСТ Р 55724–2013 (Приложение А) [2] не включает в себя требований к акустическим характеристикам, есть только указания на марку стали. Также ни скорость ультразвука в образцах, ни его затухание никак не нормируются. При этом существует достаточно много методик контроля, в которых критерий браковки изделия привязан к мере СО-2 (например, [3, 4]). И если на частотах 1,25 и 2,5 МГц акустические свойства мер СО-2, СО-3 различаются незначительно, то на частотах 5 МГц и выше отличия могут быть весьма существенными.

Например, исследования, проведенные авторами работы [5], показали, что колебания амплитуды донного сигнала для мер СО-2 разных производителей на частоте 2,5 МГц составляют 2 дБ. В то же время на частоте 10 МГц разброс амплитуд эхосигналов достигает уже 11 дБ [5].

С трудностями использования мер СО-2, СО-3 сталкиваются также и производители пьезоэлектрических преобразователей при измерении их параметров, например угла ввода [6, 7]. Поэтому для измерения углов ввода преобразователей на частоту 10 МГц приходится использовать образец V2 [8].

Таким образом, задача нормирования и контроля акустических характеристик мер СО-2, СО-3 является весьма актуальной. Ее решение должно в дальнейшем обеспечить единство результатов ультразвукового контроля.

Отметим, что, по мнению авторов, нормирование характеристик мер и не должно регламентироваться стандартом [2]. Для этого необходим специальный нормативный документ, аналогичный международному стандарту ISO 7963:2006 [8].

Все сказанное относится также и к мере СО-3Р [2, 9], но в дальнейшем будут рассмотрены только характеристики мер СО-2, СО-3, подразумевая, что это относится и к СО-3Р.

В процессе исследований были проведены измерения акустических характеристик 100 комплектов мер СО-2, СО-3, изготовленных в разное время разными производителями.

Для этих мер измерялись скорости и коэффициенты затухания продольных и поперечных волн. Все измерения проводили на частотах 2,5; 5 и 10 МГц с помощью ультразвукового дефектоскопа УД2-70 и серийных прямых и наклонных преобразователей производства ООО «Научно-промышленная компания «ЛУЧ» [10]. Установка для измерений представлена на рис. 1.

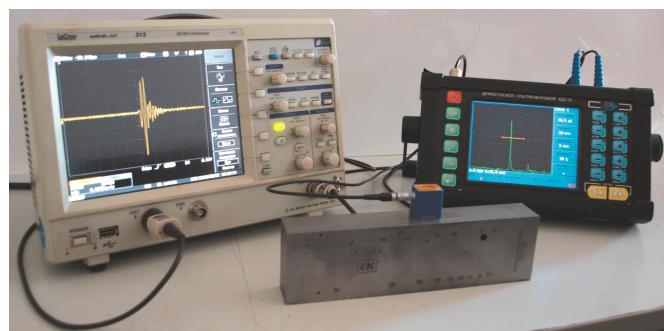


Рис. 1. Установка для измерения акустических характеристик мер СО-2, СО-3

### Измерение коэффициентов затухания в мерах

В процессе исследований измеряли не сами коэффициенты затухания, а амплитуды эхосигналов от различных отражателей. Измерения проводили для двух режимов полосы пропускания приемного тракта: полоса «узкая» и полоса «широкая» [11].

Результаты измерений амплитуд донных эхосигналов прямыми преобразователями практически совпали с результатами, полученными в работе [5]. Измерения наклонными преобразователями на частоты 2,5 и 5 МГц по величинам разброса амплитуд также схожи с результатами работы [5]. Аналогичные данные были получены также и для мер СО-3.

Больший интерес представляют результаты измерений амплитуд эхосигналов наклонными преобразователями на частоту 10 МГц. При этом меры СО-2 в процессе измерений распределились по четырем характерным группам.

1. Эхосигнал от отражателя Ø6 мм на глубине 14 мм наблюдается в узкой и широкой полосах пропускания приемного тракта, и частота эхосигнала уменьшается менее чем на 0,5 МГц по сравнению с частотой эхосигнала на образце V2.

2. Эхосигнал от отражателя Ø6 мм на глубине 14 мм наблюдается в узкой и широкой полосах пропускания приемного тракта, и частота эхосигнала уменьшается менее чем на 4 МГц по сравнению с частотой эхосигнала на образце V2.

3. Эхосигнал от отражателя Ø6 мм на глубине 14 мм наблюдается только в широкой полосе.

4. Эхосигнал от отражателя Ø6 мм на глубине 14 мм сравним с шумом.

Разумеется, это деление является условным и определяется величиной коэффициента затухания волн.

Результаты измерений по четырем группам представлены в табл. 1.

## 1. Результаты измерений по четырем группам мер CO-2

№ группы мер CO-2	Амплитуда эхосигнала от отверстия Ø6 мм, дБ		Количество мер в выборке, %
	Полоса «широкая»	Полоса «узкая»	
1	53 ... 57	54 ... 60	25
2	64 ... 69	72 ... 77	14
3	75 ... 79	—	38
4	—	—	23

«—» означает, что эхосигнал неразличим на фоне шумов.

Распределение мер CO-2 в процентном соотношении по группам приведено на рис. 2.

Из табл. 1 видно, что меры групп 3 и 4 невозможно использовать на частоте 10 МГц.

Отметим, что скорости продольных волн у мер всех групп находились в пределах  $5900 \pm 59$  м/с.



Рис. 2. Распределение мер CO-2 по группам

## Влияние термической обработки на коэффициент затухания в мерах

Для определения возможности использования мер CO-2, CO-3 на высоких частотах было исследовано влияние термической обработки на акустические характеристики этих мер [12].

Исследование проводили на двух группах мер, изготовленных из одной партии стали 20, одна из которых (группа Б) предварительно прошла термическую обработку по методике [8] для образца V2.

С помощью ультразвукового дефектоскопа УД-70 и наклонных преобразователей на частоты 2,5, 5 и 10 МГц (см. рис. 1) были измерены амплитуды эхосигналов  $A$  от отверстия Ø6 мм, а также отклонения измеренных от номинальных углов ввода  $\Delta\gamma$  ( $\Delta\gamma = \gamma_{\text{ном}} - \gamma_{\text{изм}}$ ) и частот эхоимпульсов  $\Delta f$  ( $\Delta f = f_{\text{ном}} - f_{\text{изм}}$ ). Измерения проводили в режиме работы приемного тракта дефектоскопа УД2-70 – полоса «широкая» [11].

Измерения показали, что на частоте 2,5 МГц различия между группами мер практически отсутствуют. Результаты измерений на частоты 5 и 10 МГц приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Из табл. 2 видны существенные отличия акустических характеристик мер двух групп, особенно на частоте 10 МГц.

Контрольное сравнение результатов измерений на термически обработанных мерах и образце V2 показало практически полное совпадение результатов измерения частоты преобразователей на всех частотах. В то же время есть расхождения в измерениях углов ввода (см. табл. 2).

Изменения скоростей продольных и поперечных волн в мерах, обусловленные термической обработкой, в процессе исследований не были выявлены.

## 2. Результаты измерений с помощью наклонных преобразователей на частоты 5 и 10 МГц

Наклонный преобразователь на частоту, МГц	Угол ввода $\gamma$ , °	Группа А			Группа Б			Образец V2		
		$A$ , дБ	$\Delta\gamma$ , °	$\Delta f$ , МГц	$A$ , дБ	$\Delta\gamma$ , °	$\Delta f$ , МГц	$A$ , дБ	$\Delta\gamma$ , °	$\Delta f$ , МГц
5	50	65	-2,0	-0,33	49	0	-0,10	39	+1,0	-0,03
	70	61	-2,7	-0,42	51	-0,8	-0,13	42	+1,7	-0,20
	74	62	-3,5	-0,43	50	-0,5	-0,12	45	-0,3	-0,17
10	65	63	-1,4	-3,1	48	-0,2	-0,26	39	+1,5	-0,03
	70	65	-1,3	-3,2	51	-0,2	-0,27	45	+1,3	-0,20
	74	72	-3,4	-3,7	55	-1,7	-0,29	48	+1,5	-0,17

Проведенные исследования показывают необходимость термической обработки мер при их изготовлении. Учитывая, что размеры мер СО-2 и СО-3 существенно превышают размеры образца V2, для них может потребоваться разработка иного режима термической обработки, нежели это регламентируется стандартом [8].

### **Влияние разброса скорости в мерах на точность измерения параметров преобразователей**

Рассмотрим влияние величины разброса скорости ультразвуковых волн в мерах на погрешность измерения параметров преобразователей. Стандарты [1, 9] регламентируют только скорость продольных колебаний с допуском  $\pm(1\dots2)\%$ . Однако при использовании мер СО-2, СО-3, СО-3Р больший интерес представляет величина разброса скорости поперечных колебаний, которая никак не нормируется. Согласно работе [13] скорость поперечных колебаний  $c_s$  равна

$$c_s = c_l \sqrt{\frac{1-2v}{2(1-v)}}, \quad (1)$$

где  $c_l$  – скорость продольной волны;  $v$  – коэффициент Пуассона.

Из формулы (1) видно, что допуск  $\pm(1\dots2)\%$  на скорость продольной волны приведет к такому же допуску на скорость поперечной волны в мерах СО-2, СО-3 и СО-3Р.

Проанализируем, как может повлиять, например, допуск в 1 % колебаний скорости поперечной волны на погрешность измерения угла ввода.

Примем, что номинальная скорость поперечной волны в мере СО-2  $c_s = 3200$  м/с и скорость продольной волны в призме из оргстекла  $c_{\text{пр}} = 2700$  м/с [13]. Тогда, используя закон Снеллиуса [13], для номинальных углов преобразователя 50, 65 и 70° расчетным путем получаем величины, представленные в табл. 3. Величина угла призмы рассчитана из номинальной величины угла ввода.

### **3. Влияние изменения скорости поперечной волны в мере СО-2 на изменение угла ввода преобразователя**

Угол призмы $\alpha$ , °	Скорость $c_s$ , м/с		
	3168 (-1 %)	3200	3232 (+1 %)
	Угол ввода $\gamma$ ( $\Delta\gamma = \gamma_{\text{изм}} - \gamma_{\text{ном}}$ ), °		
40,27	49,3 (-0,7)	50,0	50,7 (+0,7)
49,88	63,8 (-1,2)	65,0	66,3 (+1,3)
52,46	68,5 (-1,5)	70,0	71,7 (+1,7)

Таким образом, из табл. 3 видно, что разброс скорости поперечной волны в 1 % приводит к возникновению систематической погрешности определения угла ввода в пределах  $\pm(0,7\dots1,7)$ . Это недопустимо много, так как обычно допуск на разброс углов ввода преобразователей, устанавливаемый их изготовителями, составляет не более  $\pm(1,5\dots2,0)$ . Поэтому необходимо нормирование допуска на разброс скоростей ультразвуковых волн в мерах в пределах не более  $\pm0,5\%$ .

### **Выводы и рекомендации**

1. Необходима разработка отдельного национального стандарта РФ, устанавливающего требования к мерам СО-2, СО-3 и СО-3Р.
2. Необходима разработка государственной поверочной схемы мер СО-2, СО-3 и СО-3Р.
3. В качестве акустических характеристик мер СО-2, СО-3 и СО-3Р предлагается нормировать коэффициенты затухания продольных и поперечных волн, а также скорости продольных и поперечных волн.
4. Допуск на разброс скорости в мерах СО-2, СО-3, СО-3Р должен быть не более  $\pm0,5\%$ , аналогично, как и для V2 [8].
5. Меры в процессе изготовления должны проходить обязательную термическую обработку.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 14782–86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2005. 27 с.
2. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2014. 44 с.
3. РД 32.144–2000. Контроль неразрушающий приемочный. Колеса цельнокатаные, бандажи и оси колесных пар подвижного состава. Технические требования. М.: МПС России, 2001. 21 с.
4. Руководство по неразрушающему контролю деталей подвижного состава метрополитена. ЛИВЕ 415119.905 РНК. Часть III. Ультразвуковой метод. М.: НПК «ЛУЧ», 2013. 184 с.
5. Муравьев В. В., Коробейникова О. В., Кадикова М. Б. Анализ факторов, влияющих на результаты контроля зеркально-теневым методом // Дефектоскопия. 2007. № 9. С. 44 – 54.
6. Чуприн В. А., Застава А. П., Васильев В. А. К вопросу измерения параметров наклонных совмещенных пьезопреобразователей на частоту 10 МГц // XX Всерос. науч.-техн. конф. по НК и ТД: тез. докл. Москва, 3 – 6 марта 2014 г. М.: Изд. дом «Спектр», 2014. С. 154 – 156.
7. Интернет-ресурс ООО «УЗ-Константа» (Россия). URL: <http://www.constant-us.com/catalog/pep-def/003/index.php>

8. International standard ISO 7963:2006 Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block № 2. ISO, 2006. 16 p.
  9. ГОСТ 18576–96. Контроль неразрушающий. Рельсы железнодорожные. Методы ультразвуковые. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 28 с.
  10. Интернет-ресурс НПК «ЛУЧ» (Россия). URL: [http://luch.ru/product.php?article\\_id=1](http://luch.ru/product.php?article_id=1)
  11. Дефектоскоп ультразвуковой УД2-70. Руководство по эксплуатации ЛИВЕ.4115119.025 РЭ. М.: НПК «ЛУЧ», 2014. 59 с.
  12. Чуприн А. В., Чуприн В. А., Застава А. П., Попоудин А. А. Влияние технологии изготовления на акустические свойства мер СО-2, СО-3 по ГОСТ Р 55724–2013 // XXII Санкт-Петербургск. конф. «Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций», Санкт-Петербург, 24 – 27 мая 2016. СПб., 2016. С. 47.
  13. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль // Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. Т. 3 / под общ. ред. В. В. Клюева. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.
- References**
1. Non-destructive testing. Welded joints. Ultrasonic methods. (1987). Ru Standard No. GOST 14782–86. Moscow: Izdatel'stvo standartov. [in Russian language]
  2. Nondestructive testing. Welded joints. Methods of ultrasonic testing. (2013). Ru Standard No. GOST R 55724–2013. Russian Federation. [in Russian language]
  3. Non-destructive testing acceptance test. Solid-rolled wheels, rims and the axles of wheel pairs of the rolling stock. Technical requirements. (2001). Guidance document No. RD 32.144–2000. Moscow: Ministry of Transport of the Russian Federation. [in Russian language]
  4. Guidelines for non-destructive testing of rolling stock of the subway train. (2013). Guidance document No. LIVE 415119.905 RNK. Part III. Ultrasonic method. Moscow: NPK «LUCH». [in Russian language]
  5. Murav'ev V. V., Korobeinikova O. V., Kadikova M. B. (2007). Analysis of factors affecting the results of testing via the mirror–shadow method. Defektoskopija, (9), pp. 44–54. [in Russian language]
  6. Chuprin V. A., Zastava A. P., Vasil'ev V. A. (2014). Parameter measurement of inclined piezoelectric combined transducers at 10 MHz frequency. Proceedings of the XX All-Russian scientific and technical conference on NDT and TD. Moscow, 3 – 6 March 2014. (pp. 154–156). Moscow: Izdatel'skii dom «Spektr». [in Russian language]
  7. «UZ-Konstanta» official website. Russian Federation. Available at: <http://www.constant-a-us.com/catalog/pep-def/003/index.php> [in Russian language]
  8. Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block № 2. (2006). International standard ISO 7963:2006.
  9. Non-destructive testing. Railway metals. Ultrasonic methods. (1996). Ru Standard No. GOST 18576–96. Minsk: Euroasian Interstate council for standardization, metrology and certification. [in Russian language]
  10. NPK «LUCH» official website. Russian Federation. Available at: [http://luch.ru/product.php?article\\_id=1](http://luch.ru/product.php?article_id=1) [in Russian language]
  11. Ultrasonic defectoscope UD2-70. (2014). Manual guidance No. LIVE.4115119.025 RE. Moscow: NPK «LUCH». [in Russian language]
  12. Chuprin A. V., Chuprin V. A., Zastava A. P., Popoudin A. A. (2016). Influence of production technology on the acoustic properties of the measures CO-2, CO-3 based on the Standard GOST R 55724–2013. XXII St. Petersburg conference «Ultrasonic testing of metal structures», St. Petersburg, 24 – 27 May 2016. [in Russian language]
  13. Klyuev V.V. (Ed.), Ermolov I. N., Lange Iu. V. (2006). Nondestructive testing. Handbook. In 8 volumes. Vol. 3. Ultrasonic inspection. 2nd Ed. (revised and complemented). Moscow: Mashinostroenie. [in Russian language].