



УДК 620.192.63

Поступила 28.07.2016

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛОВОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

### USING THE ANGULAR CYLINDRICAL REFLEKTOR TO ADJUST THE SENSIVITY OF THE ULTRASONIC FLAW DETEKTOR

*А. Г. ЛЕЖАВА, А. А. ПИВОВАРЧИК, А. С. ТРАЙГЕЛЬ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: lataia@tut.by*

*A. G. LEZHAVA, A. A. PIVOVARCHYK, A. S. TRAIHEL, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus, 22, Ozheshko str. E-mail: lataia@tut.by*

*В статье проведен анализ существующих искусственных отражателей, используемых для настройки чувствительности ультразвуковых дефектоскопов. Отмечены их недостатки, связанные в основном с погрешностью изготовления. В качестве альтернативы предложен угловой цилиндрический отражатель. Исследовано влияние погрешности его изготовления на амплитуду отраженного сигнала. На основе полученного результата предложен способ настройки чувствительности, исключая главный недостаток.*

*The article analyzes the existing artificial reflectors are used to adjust the sensitivity of the ultrasonic flaw detectors. Noting their shortcomings, mainly related to the accuracy of manufacture. As an alternative, the angular cylindrical reflector. The influence of manufacturing error on the amplitude of the reflected signal. On the basis of the result proposed by the sensitivity setting method that eliminates the main drawback.*

**Ключевые слова.** Искусственные отражатели. Чувствительность. Ультразвуковой дефектоскоп. Погрешность изготовления. Угловой цилиндрический отражатель. Амплитуда отраженного сигнала. Способ настройки чувствительности.

**Keywords.** Artificial reflectors. Sensitivity. Ultrasonic Flaw Detector. manufacturing error. Corner cylindrical reflector. The amplitude of the reflected signal. sensitivity adjustment method.

В ультразвуковой дефектоскопии известно большое количество искусственных отражателей для настройки дефектоскопов на требуемую чувствительность. Среди них – плоскостное отверстие, боковое цилиндрическое отверстие, угловой цилиндрический отражатель (вертикальное сверление), угловой плоский отражатель (зарубка), двугранный угол, бесконечный паз, сегментный отражатель, отверстие со сферическим дном и др. [1].

Как показывает опыт применения отражателей различного типа, основным их недостатком является большая зависимость результатов контроля от точности изготовления [2–4]. Ошибки в изготовлении отражателей особенно опасны при контроле малых толщин.

Не оправдывает себя и «безэталонный» способ настройки чувствительности, который заключается в измерении сигнала, отраженного от двугранного угла торца испытательного образца. При этом стабильность величины отраженного сигнала ниже, чем у всех других типов отражателей [3]. Кроме того, поскольку величина отраженного сигнала является опорной, для определения браковочного уровня чувствительности при безэталонном способе настройки необходим пересчет показаний или использование АРД-диаграмм [5].

Более целесообразно применение искусственных отражателей малых размеров, таких, чтобы величина отраженного сигнала соответствовала браковочному уровню чувствительности. Выбор типа отражателя определяется его отражательными свойствами, технологичностью и воспроизводимостью изготовления [6].

Из перечисленных выше искусственных отражателей в настоящее время наибольшее распространение получили угловые плоские отражатели (зарубки), так как их сравнительно легко изготовить [1]. Кро-

ме того, их можно озвучивать под разными углами в плоскости прозвучивания. Отраженный луч всегда вернется обратно при условии, что отражающая грань и поверхность строго перпендикулярны относительно друг друга. Однако воспроизводимость результатов контроля при настройке по ним низкая [3] из-за трудности выполнения данного условия. Отклонение угла в  $1^\circ$  в ту или иную сторону может привести к разнице амплитуды в 6 дБ, что недопустимо [4].

В наибольшей степени требованиям к искусственным отражателям соответствуют цилиндрические отражатели (боковое и вертикальное сверление), которые обладают наилучшей воспроизводимостью. Они лучше имитируют объемные протяженные дефекты, такие, как канальные поры, лежащие в плоскости стыка, часто ориентированы перпендикулярно оси шва (свищ). Лучшим имитатором такого дефекта является цилиндрическое отверстие, просверленное перпендикулярно поверхности стыка, которое также хорошо имитирует непровары и трещины в корне сварного шва и на поверхности сварного изделия [1, 7]. Несмотря на очевидные преимущества, такой искусственный отражатель широкого распространения не получил. Главная причина – сложность в изготовлении отверстия, ось которого строго перпендикулярна поверхности образца, особенно, если он имеет криволинейную поверхность, например, труба.

Было проведено исследование влияния угла отклонения от вертикали на амплитуду сигнала, отраженного от углового цилиндрического отражателя.

Предварительно проведены исследования по выявлению величины случайных отклонений оси вертикального сверления от нормали к поверхности образца. Замеры проводили на 43 отверстиях, выполненных в образцах из труб, диаметрами 108 и 219 мм, а также на листовом материале. Замеры выполняли в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, т. е. в плоскости, совпадающей с направлением прозвучивания и перпендикулярной ей. Во всех случаях отклонение оси от вертикали составило не более  $2^\circ$ .

Измерение амплитуд, отраженных от углового цилиндрического отражателя, проводили в тех же плоскостях, что и замеры отклонения осей. Каждое отверстие озвучивали с двух противоположных сторон, получая два значения амплитуды, соответственно для отклонения оси сверления на угол  $+\Delta$  и  $-\Delta$ . Отверстия для исследования были изготовлены с углами наклона оси к нормали до  $3^\circ$ . Измеряли амплитуду сигнала, отраженного как от верхнего (рис. 1, а, в), так и от нижнего (рис. 1, б, г) отражателей.

Диаметры отверстий равны 0,8 и 2 мм. Применяли как совмещенные, так и раздельно-совмещенные (РС) пьезоэлектрические преобразователи частотой 5 МГц и с углом ввода  $\alpha = 65^\circ$ . Результаты измерений показали прежде всего, что кривизна образца и диаметр сверлений рассматриваемых размеров не влияют на характер изменения отраженного сигнала. На нее не влияют также отклонения оси сверления в плоскости, перпендикулярной плоскости, совпадающей с направлением прозвучивания (рис. 1, в, г). Отклонение амплитуды в данном случае не превышает  $\pm 1$  дБ, что находится в пределах ошибки измерений.

В плоскости же, совпадающей с направлением прозвучивания, изменения амплитуд отраженных сигналов значительные (рис. 1, а, б). При увеличении величины угла углового отражателя  $> 90^\circ$  происходит увеличение расхождения луча ультразвуковой волны (рис. 2, а), что приводит к уменьшению амплитуды отраженного сигнала. Наоборот, при уменьшении величины угла углового отражателя  $< 90^\circ$  происходит обратное явление, а именно уменьшение расхождения луча (рис. 2, в), что приводит к увеличению амплитуды отраженного сигнала. При отклонении оси сверления от нормали до  $\pm 2^\circ$  осцилляции амплитуды отраженного сигнала составили  $\pm 4$  дБ.

Было замечено, что полученные кривые (см. рис. 1, а, б) приблизительно симметричны значению амплитуды в точке, для которой отклонение угла  $\Delta = 0$ . Этот факт позволяет, несмотря на ошибки отклонений оси вертикального сверления от нормали при изготовлении углового цилиндрического отражателя, точно определить амплитуду отраженного сигнала. Для этого необходимо от одного и того же сверления найти амплитуду отраженного сигнала с двух противоположных сторон и принять их среднее арифметическое значение. По результатам измерений (см. рис. 1, а, б) были построены зависимости средних арифметических значений амплитуд, измеренных с двух противоположных от сверления сторон от угла  $|\Delta|$  (рис. 3). Из рисунка видно, что отклонение этих значений не превышает  $\pm 1$  дБ, т. е. не превышает пределов ошибки измерений.

На основе полученных результатов разработан способ настройки чувствительности ультразвукового дефектоскопа, исключаяющий ошибки отклонений оси вертикального сверления от нормали. Суть способа заключается в том, что амплитуда сигнала, отраженного от углового цилиндрического отражателя (вертикального сверления), замеряется с двух противоположных от его оси сторон и берется ее среднее арифметическое значение, которое соответствует значению амплитуды при нулевом отклонении.

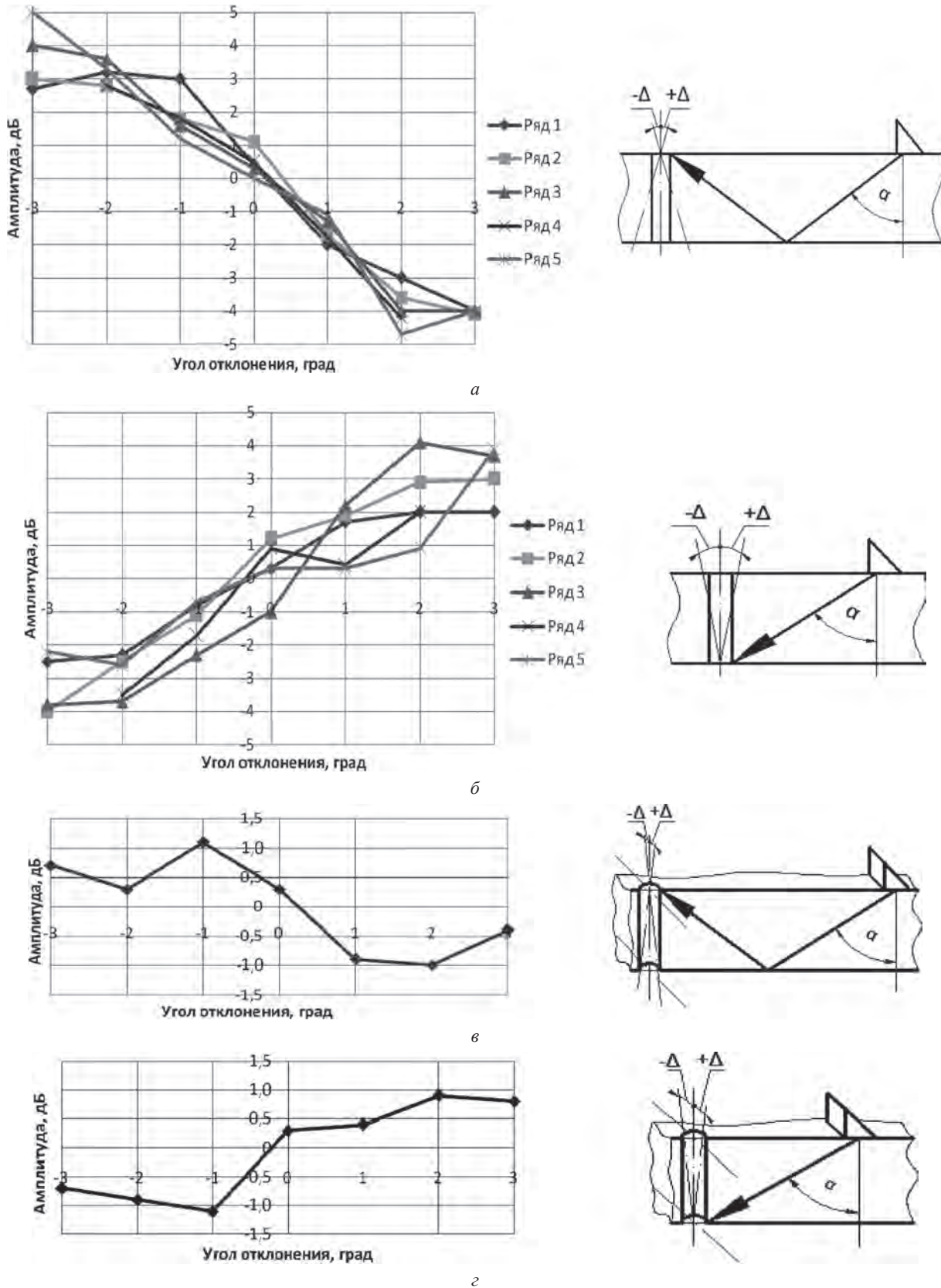


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала, отраженного от углового цилиндрического отражателя, от отклонения оси вертикального сверления от нормали: отклонения в плоскости, совпадающей с направлением прозвучивания: *а* – верхний отражатель; *б* – нижний отражатель; отклонения в плоскости, перпендикулярной направлению прозвучивания; *в* – верхний отражатель; *г* – нижний отражатель. Ряд 1 – совмещенный ПЭП – для листа толщиной 10 мм, диаметр отверстия – 2 мм; ряд 2 – РС ПЭП – для листа толщиной 10 мм, диаметр отверстия – 2 мм; ряд 3 – РС ПЭП – для трубы диаметром 219×6, диаметр отверстия – 2 мм; ряд 4 – РС ПЭП – для трубы диаметром 108×4, диаметр отверстия – 2 мм; ряд 5 – РС ПЭП – для трубы диаметром 219×6, диаметр отверстия – 0,8 мм

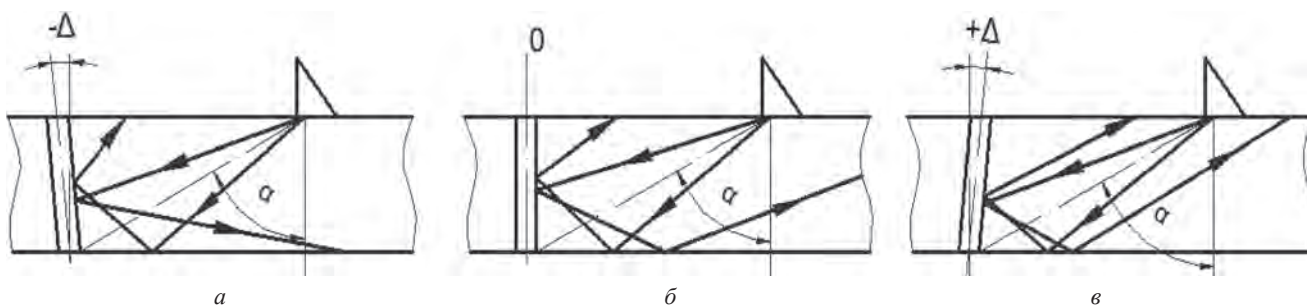


Рис. 2. Схема изменения расхождения луча при отражении от углового цилиндрического отражателя в зависимости от отклонения оси сверления от вертикали: а – большим 90°; б – равным 90°; в – меньшим 90°

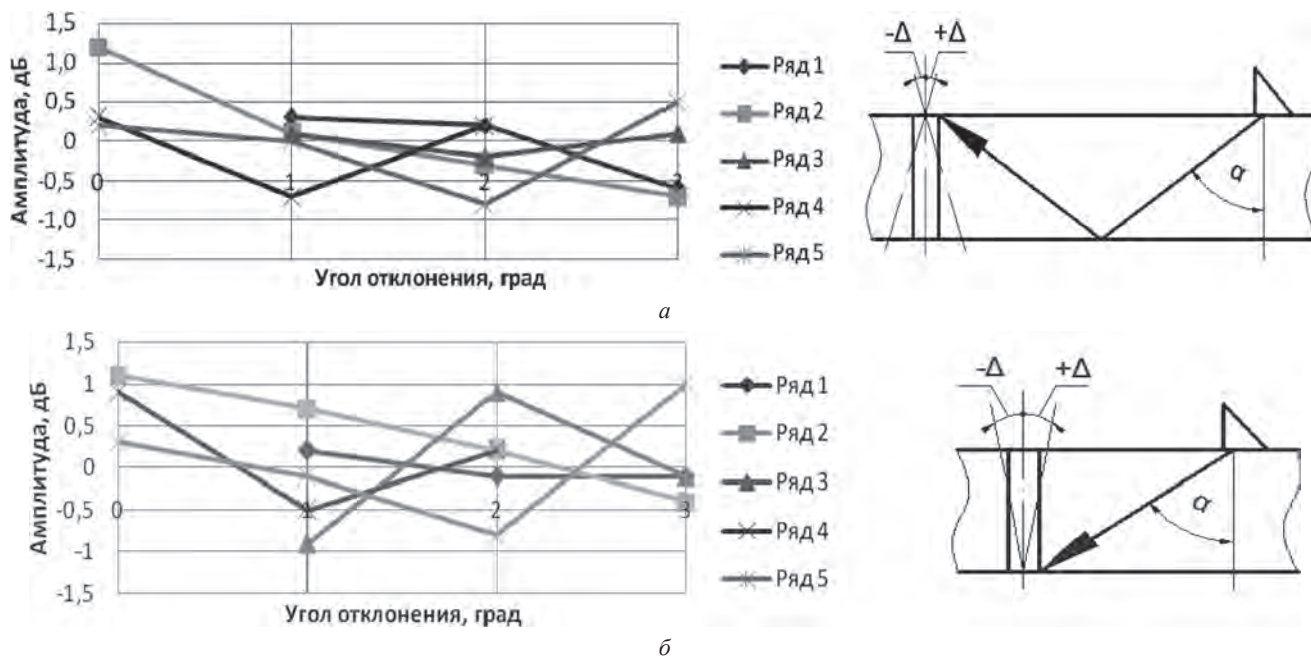


Рис. 3. Зависимость средних значений амплитуд, измеренных с двух противоположных от оси сверления сторон от угла отклонения  $|\Delta|$ : а – верхний отражатель; б – нижний отражатель. Обозначения рядов те же, что и на рис. 1

Следует отметить еще одно важное преимущество вертикального цилиндрического отверстия. Так как его легко изготовить в условиях любой мастерской и получить с помощью предложенного способа настройки чувствительности ультразвукового дефектоскопа стабильные результаты, то отпадает необходимость приобретения дорогостоящих и недостаточно стабильных стандартных образцов предприятия для настройки чувствительности. Образцы с вертикальным цилиндрическим отверстием возможно и необходимо изготавливать из того же материала, из которого изготовлена подлежащая контролю конструкция. В этом случае автоматически будет учтено качество поверхности, а также возможная анизотропия акустических свойств, которая встречается в металлах.

### Литература

1. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
2. Гурвич А. К., Кузьмина Л. И. О воспроизводимости чувствительности ультразвукового контроля по эталонным отражателям различного вида // Ультразвуковой контроль сварных соединений. Л.: ЛДНТП, 1972. С. 9–14.
3. Дианов В. Ф. Воспроизводимость настройки чувствительности ультразвуковых дефектоскопов по тест-образцам // Дефектоскопия. 1974. № 2. С. 25–30.
4. Загорюлько В. С., Стипура А. П., Вьюниченко В. Н. Влияние размеров углового отражателя на амплитуду эхо-сигнала при настройке ультразвуковых дефектоскопов // Дефектоскопия. 1986. С. 51–55.
5. Волченко В. Н. Контроль качества сварных конструкций. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.
6. Щербинский В. Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. Изд. 2-е испр. М.: Изд-во «Тиссо», 2005. 326 с.
7. Алешин Н. П., Белый В. Е., Вопилкин А. Х. и др. Методы акустического контроля металлов. М.: Машиностроение, 1989. 456 с.



## References

1. **Ermolov I. N.** *Teorija i praktika ul'trazvukovogo kontrolja* [Theory and practice of ultrasonic testing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 240 p.
2. **Gurvich A. K., Kuz'mina L. I.** O vosproizvodivosti chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo kontrolja po jetalonnym otrazhateljam razlichnogo vida [About reproducibility sensitivity ultrasonic testing on the reference reflectors of various kinds.]. *Ul'trazvukovoj kontrol' svarnyh soedinenij = Ultrasonic testing of welded joints*. Leningrad: LDNTP Publ., 1972, pp. 9–14.
3. **Dianov V. F.** Vosproizvodimost' nastrojki chuvstvitel'nosti ul'trazvukovyh defektoskopov po test-obrazcam [The reproducibility of the sensitivity settings of ultrasonic test on test samples]. *Defektoskopija = Flaw detection*, 1974, no. 2, pp. 25–30.
4. **Zagorul'ko V. S., Stipura A. P., V'junichenko V. N.** Vlijanie razmerov uglovogo otrazhatelja na amplitudu jeho-signalu pri nastrojke ul'trazvukovyh defektoskopov [Influence of the angular size of the reflector on the amplitude of the echo signal with the setting of ultrasonic flaw detectors]. *Defektoskopija = Flaw detection*, 1986, pp. 51–55.
5. **Volchenko V. N.** *Kontrol' kachestva svarnyh konstrukcij* [Welded structures Quality control]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986, 152 p.
6. **Shherbinskij V. G.** *Tehnologija ul'trazvukovogo kontrolja svarnyh soedinenij* [The technology of ultrasonic testing of welded joints]. Moscow, Tisso Publ., 2005, 326 p.
7. **Aleshin N. P., Belyj V. E., Vopilkin A. H., Voshhanov A. K., Ermolov I. N., Gurvich A. K.** *Metody akusticheskogo kontrolja metallov* [Methods for monitoring acoustic metal]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 456 p.