

**Н.Н. Коновалов<sup>1</sup>, Р.Х. Рафиков<sup>2</sup>, М.Н. Преображенский<sup>3</sup>, В.В. Шалопьев<sup>3</sup>**  
(<sup>1</sup>НТЦ "Промышленная безопасность", <sup>2</sup>МГТУ МИРЭА,  
<sup>3</sup>ЯрГУ им. П.Г. Демидова; e-mail: knn5@mail.ru)

## **ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭХО-СИГНАЛОВ ОТ НЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ**

*Разработаны способ и автоматизированное техническое средство определения диаграмм направленности пьезопреобразователей эхо-сигналов от ненаправленных отражателей.*

*Ключевые слова: преобразователи, диаграмма направленности, автоматизированное техническое средство.*

***N.N. Konovalov, R.H. Rafikov, M.N. Preobrazhensky, V.V. Shalopyev***

## **CONSTRUCTING THE DIRECTION PATTERN OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS OF ECHO SIGNALS FROM NON-DIRECTIONAL REFLECTORS**

*A method and automated technical means constructing the direction pattern of piezoelectric transducers of echo signals from non-directional reflectors have been developed.*

*Key words: transducers, direction pattern, automated technical means*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 июня 2015 г.

Диаграмма направленности преобразователя является одной из важных характеристик, которая, в свою очередь, обуславливает выбор других, основных параметров ультразвукового контроля, таких как: чувствительность, шаг сканирования, точность измерений координат и условных размеров выявленных дефектов и др. [1, 2]. Эта характеристика представляет особый интерес при разработке новых технологий контроля, когда необходимо предусматривать взаимозаменяемость преобразователей, выпускаемых разными фирмами.

Детальный теоретический анализ поля излучения наклонного преобразователя с круглым пьезоэлементом проведён в работе [3] с использованием интегральных преобразований Фурье и построения поля волнового пучка в виде суперпозиции плоских волн с учётом соответствующих им коэффициентов прозрачности на границе оргстекло – сталь. Интегрирование производилось с рядом приближений и асимптотических оценок. В частности, не принималось во внимание поле поперечных волн в призме преобразователя и учитывалось только поле преломлённых поперечных волн в среде. В то же время в работах [4, 5] теоретически обосновано и экспериментально подтверждено наличие продольных волн в контролируемой среде для преобразователей с углами призм, больше первого критического. Эти волны могут оказать влияние на характер распространения ультразвука во второй среде, поэтому представляет интерес экспериментальное измерение диаграмм направленности преобразователей.

Существует три способа построения диаграмм направленности в основной плоскости. Как отмечено в [6], наиболее точным является способ измерения на полуцилиндрическом образце, изготовленном из металла, в котором исследуется направленность поля с использованием ЭМА-преобразователя. Этот способ предусмотрен в европейском стандарте [7]. Второй способ заключается в измерении пространственных огибающих от ненаправленного отражателя в виде бокового цилиндрического отверстия. Подробно порядок экспериментального определения диаграммы направленности наклонных преобразователей по пространственным огибающим амплитуд эхо-сигналов от ненаправленного отражателя описан в [1, 8]. Построение диаграммы производится по точкам и представляет собой достаточно трудоёмкий процесс. Автоматизация способа требует использования прецизионных механических устройств сканирования.

В работе [9] описан способ расчёта диаграмм направленности по угловому распределению амплитуд плоских волн в дальней зоне при регистрации эхо-сигналов от цилиндрической поверхности образца СО-3. На основе данного способа была разработана автоматизированная система калибровки ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей "АВГУР 5.4" [9], основными элементами которой являются системный блок, представляющий собой цифровой ультразвуковой дефектоскоп, содержащий платы аналого-цифрового преобразователя, управления приёмо-передающим трактом и прецизионным сканирующим устройством, обеспечивающим перемещение преобразователя по поверхности образца СО-3.

В настоящей работе под диаграммой направленности понимается построенная в декартовых координатах характеристика преобразователя на излучение-приём, снятая по эхо-сигналам от бокового цилиндрического отверстия. Как отмечено в [6], именно этот способ ближе к практике использования преобразователей при поиске дефектов, хотя называть эту характеристику диаграммой направленности там считают не совсем корректно.

Как видно из рис. 1, время прихода эхо сигнала  $t$ , которое регистрирует дефектоскоп, и координата  $x$  преобразователя связаны соотношениями:

$$t = \frac{2r}{c_t} = \frac{2\sqrt{h^2 + x^2}}{c_t}$$

или

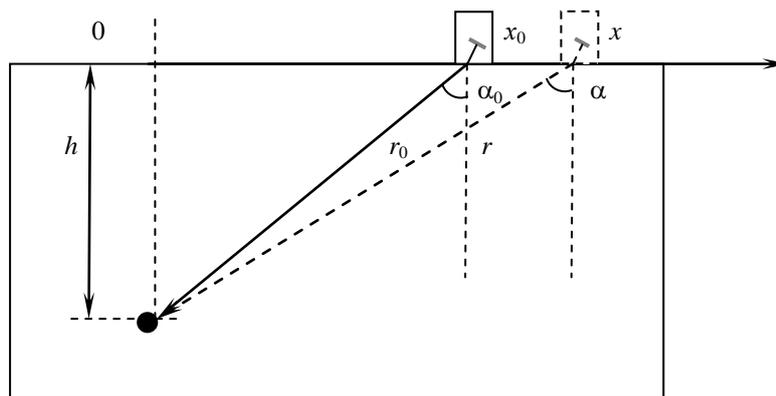
$$x = \sqrt{\frac{c_t^2 t^2}{4} - h^2},$$

где  $x$  – координата преобразователя, отсчитываемая от проекции отражающей поверхности на поверхность сканирования;

$h$  – глубина залегания отражающей поверхности;

$r$  – расстояние от точки выхода луча до отражающей поверхности;

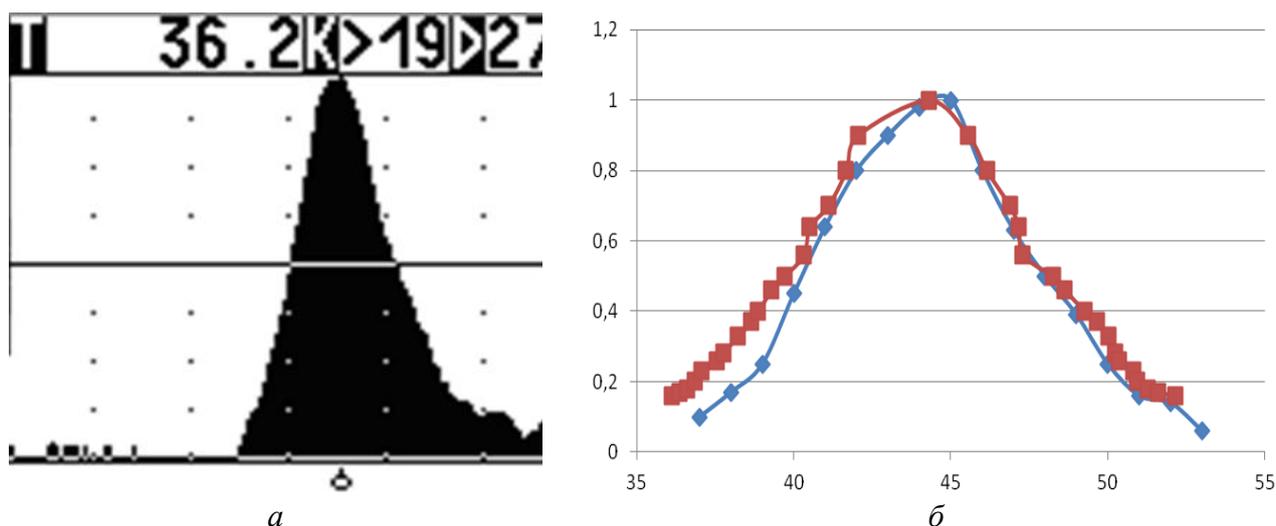
$c_t$  – скорость поперечной волны в образце.



**Рис. 1.** Схема измерения диаграммы направленности преобразователей от бокового цилиндрического отверстия

Таким образом, для каждой точки временной огибающей можно вычислить значение координаты преобразователя, то есть получить пространственную огибающую и, далее построить диаграмму направленности в соответствии с [1, 3]. Угол ввода  $\alpha_0$  определяется в положении максимума временной огибающей.

На рис. 2а на примере преобразователя П121-2,5-45 представлена типичная временная огибающая эхо-сигналов от бокового цилиндрического отверстия  $\varnothing 6$  мм на глубине 44 мм в образце СО-2, а на рис. 2б приведены результаты экспериментально полученные при измерении по пространственным огибающим от того же отражателя (квадраты красные) и построенная путём пересчёта из временной огибающей соответственно (квадраты синие). Аналогичные результаты получены и для преобразователей с углами ввода 40, 50 градусов.

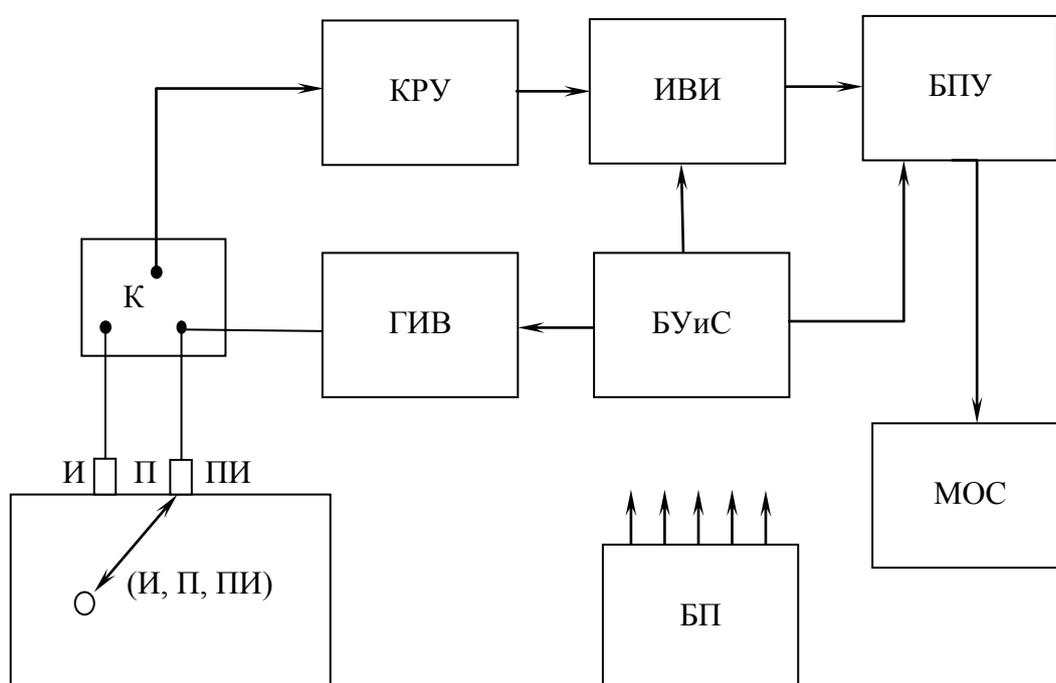


**Рис. 2.** Временная огибающая эхо-сигналов (а) и диаграммы направленности, экспериментально полученные при измерении по пространственным огибающим, квадраты красные, построенная путём пересчёта из временной огибающей, квадраты синие (б)

Данный способ построения диаграмм направленности может быть легко автоматизирован при использовании современных микропроцессорных дефектоскопов, позволяющих фиксировать временные огибающие эхо-сигналов от отражателей.

Для автоматизации предложенного способа построения диаграмм направленности преобразователей разработано специальное автоматизированное техническое средство, при использовании модулей обработки сигналов на базе современных микропроцессоров.

Структурная схема предлагаемого автоматизированного технического средства для определения диаграммы направленности приведена на рис. 3.



**Рис. 3.** Упрощённая схема автоматизированного технического средства для определения диаграммы направленности пьезоэлектрического преобразователя

Предлагаемое техническое средство состоит из генератора высокочастотных импульсов (ГИВ) (в зависимости от режима работы – излучающего (И), приёмного (П) или приёмно-излучающего (ПИ) преобразователя), ключа (К), образца (ненаправленный отражатель), блока программного управления (БПУ), модуля обработки сигналов (МОС), калиброванного регулируемого усилителя (КРУ), измерителя временных интервалов (ИВИ), блока управления и синхронизации (БУиС), блока питания (БП).

В автоматическом режиме были получены диаграммы направленности для преобразователей с углами ввода 40, 45, 50 градусов. Результаты хорошо согласуются с диаграммами направленности, полученными в ручном режиме по предложенному способу и по пространственным огибающим.

Дополнительно получены диаграммы направленности для преобразователей с углами ввода 34, 36, 38, 42, 58 градусов.

Для разработанного способа измерений характерно, что отсутствует статистически значимая случайная составляющая в результатах измерений.

### **Заключение**

Авторами показано, что для наклонных пьезопреобразователей наблюдается соответствие диаграмм направленности полученных по пространственным огибающим эхо-сигналов от ненаправленных отражателей и пересчитанных из временных огибающих этих отражателей.

Разнообразие преобразователей, применяемых при ультразвуковом контроле весьма велико, поэтому применение разработанного автоматизированного технического средства для измерения их характеристик, позволяющего оперативно измерять диаграммы направленности пьезопреобразователей с минимальным субъективным влиянием актуально.

Разработанный способ и автоматизированное техническое средство позволяют: увеличить объём информации о выявленном дефекте, упростить интерпретацию его результатов и измерять основные характеристики пьезопреобразователей, в частности диаграммы направленности пьезопреобразователей, снизить трудоёмкость, а также могут повысить достоверность контроля и точность измерений.

### **Литература**

1. *Гурвич А.К., Кузьмина Л.И.* Справочные диаграммы направленности искателей ультразвуковых дефектоскопов. К.: Техніка, 1980. 104 с.
2. *Гурвич А.К., Кусакин Н.А.* О допустимом разбросе числовых характеристик диаграммы направленности наклонных преобразователей // Дефектоскопия, 1984. № 11. С. 60-66.
3. *Дианов Д.Б.* Исследование направленности призматических преобразователей // Дефектоскопия, 1965. № 2. С. 8-22.
4. *Гурвич А.К., Дымкин Г.Я., Никифоров Л.А., Цомук С.Р.* Исследование поля продольных волн, возбуждаемых наклонными искателями с закритическими углами // Дефектоскопия, 1984. № 1. С. 68-73.
5. *Басацкая Л.В., Ермолов И.Н.* Поле преобразователей с углами наклона близкими к критическим // Дефектоскопия, 1985. № 4. С. 3-11.
6. *Гурвич А.К., Шевалдыкин В.Г.* Некоторые аспекты стандартизации характеристик ультразвуковых преобразователей // В мире НК, 2009. №3. С. 28-30.
7. *Европейский стандарт. EN 12668-2: 2010.* Неразрушающий контроль. Характеристика и проверка ультразвукового оборудования. Часть 2. Преобразователи.
8. *Гурвич А.К.* Диаграммы направленности наклонных искателей // Дефектоскопия. 1966. № 6. С. 3-9.
9. *Базулин А.Е., Базулин Е.Г.* Об измерении угла ввода пьезоэлектрического преобразователя на стандартном образце СО-3 // Дефектоскопия. 2010. № 2. С. 57-62.
10. *Базулин А.Е., Базулин Е.Г., Вопилкин А.Х., Тихонов Д.С.* Система калибровки ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей АВГУР 5.4. Часть I. Описание системы и методики калибровки // Контроль. Диагностика, 2009. № 9. С. 8-18.