

УДК 620.179.16  
МРНТИ 59.45.29

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕЩЕННОГО ХОРДОВОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ В СТЕНКЕ ТРУБЫ  
ОТРАЖАТЕЛЯ «ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ОТВЕРСТИЕ»,  
ОРИЕНТИРОВАННОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЕЕ ОСИ, МЕТОДОМ  
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

**Демьяненко А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*СКГУ им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан*

**Ильченко М.А.<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*ТОО «NORD HOTEL GROUP», Петропавловск, Казахстан*

**Аннотация**

В данной статье рассматривается применение раздельно-совмещенного хордового преобразователя для обнаружения отражателя «цилиндрическое отверстие», просверленного в торцевой стенке отрезка стальной трубы параллельно ее оси. Данный тип отражателя имитирует протяженные дефекты цилиндрической (или близкой к цилиндрической) формы, которые могут возникать в процессе проката труб. Показано, что применение раздельно-совмещенного хордового преобразователя в общем случае не позволяет обнаружить в стенке трубы протяженный параллельно ее оси дефект. Данный тип преобразователя может обнаружить только не параллельные оси трубы участки протяженного дефекта, т.е. его начальную или конечную часть. При этом невозможно будет отличить начало (конец) протяженного дефекта от локального отражателя (например, трещины). По уменьшению амплитуды донного сигнала от торца трубы можно обнаружить только небольшой участок параллельного оси трубы протяженного дефекта в торцевой стенке трубы, при размещении преобразователя над дефектом на фокусном расстоянии от торца трубы. Поэтому для обнаружения в промышленных условиях протяженных параллельно оси трубы дефектов рекомендуется применять другие типы преобразователей.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, ультразвуковая дефектоскопия, отражатель «цилиндрическое отверстие», раздельно-совмещенный хордовый преобразователь.

**ҚҰБЫРДЫҢ ҚАБЫРҒАСЫНДА «ЦИЛИНДРЛІК САҢЫЛАУ»  
ШАҒЫЛДЫРҒЫШТЫ, ОНЫҢ ОСІНЕ ПАРАЛЛЕЛЬ БАҒДАРЛАНҒАН,  
УЛЬТРАДЫБЫСТЫ АҚАУКӨРГІШТІК ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ ҮШІН  
БӨЛЕК-БІРІКТІРІЛГЕН ХОРДАЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТІ ҚОЛДАНУ**

**Демьяненко А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М. Козыбаев атындағы СҚМУ, Петропавл, Қазақстан*

**Ильченко М.А.<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*«NORD HOTEL GROUP» ЖШС, Петропавл, Қазақстан*

**Аңдатпа**

Бұл мақалада оське параллель болат құбыр кесіндісінің бүйір қабырғаларында бұрғыланған «цилиндрлік саңылау» шағылдырғышты анықтау үшін бөлек-біріктірілген хордалық түрлендіргішті қолдану қарастырылады. Шағылдырғыштың бұл түрі құбырларды илектеу процесінде пайда болуы мүмкін цилиндрлік (немесе цилиндрлік жақын) пішінді ұзын ақаулар ұқсайды. Бөлек-біріктірілген хорды түрлендіргішті қолдану жалпы жағдайда құбыр қабырғасынан оның осіне параллель созылған ақауды анықтауға мүмкіндік бермейтіні көрсетілген. Түрлендіргіштің бұл түрі құбыр осіне параллель емес ұзын ақау бөліктерін, яғни оның бастапқы немесе соңғы бөлігін анықтай алады. Бұл ретте ұзын ақаудың басталуын (соңын) жергілікті шағылыстырғыштан ажырату мүмкін емес (мысалы, жарықшақтар). Бұл сигналдың амплитудасын құбырдың шетінен кеміту бойынша құбырдың шеткі қабырғасындағы созылған ақау түтігінің параллель осінің шағын бөлігін ғана құбырдың шетінен фокустық қашықтықта түрлендіргішті ақау үстінде орналастырған кезде табуға болады. Сондықтан құбыр осіне параллель

созылған ақауларды өнеркәсіптік жағдайларда анықтау үшін түрлендіргіштердің басқа түрлерін қолдану ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** бұзбай бақылау, ультрадыбысты ақаукөргіштік, «цилиндрлік саңылау» шағылыстырғыш, бөлек-біріктірілген хордалық түрлендіргіш.

**APPLICATION OF A SEPARATE-COMBINED CHORD TRANSDUCER  
FOR DETECTION IN THE PIPE WALL OF A REFLECTOR  
«CYLINDRICAL HOLE» ORIENTED PARALLEL TO THE PIPE'S AXIS  
BY MEANS OF ULTRASONIC FLAW DETECTION METHOD**

**Demyanenko A.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M. Kozybaev NKSU, Petropavlovsk, Kazakhstan*

**Иченко М.А.<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*LLP «NORD HOTEL GROUP», Petropavlovsk, Kazakhstan*

**Abstract**

This article discusses the use of a separate-combined chord transducer to detect the reflector «cylindrical hole» drilled in the end wall of a piece of steel pipe parallelly to its axis. This type of reflector simulates extended defects of cylindrical (or close to cylindrical) shape that can occur in the process of rolling pipes. It is shown that the use of a separate-combined chord transducer in the general case does not allow to detect a defect in the wall of the pipe extended parallelly to its axis. This type of transducer can detect only areas of extended defect which are not parallel to the pipe axis, i.e. its initial or final part. But it will be impossible to distinguish the beginning (end) of the extended defect from the local reflector (for example, cracks). By observing the reducing of the bottom signal amplitude from the pipe end can be detected only a small area of the parallel to the pipe axis extended defect in the end wall of the pipe, when placing the transducer over the defect in focal length from the pipe end. Therefore, it is recommended to use in industrial conditions other types of transducers to detect defects extended parallelly to the pipe axis.

**Key words:** nondestructive testing, ultrasonic flaw detection, reflector «cylindrical hole», separate-combined chord transducer.

**Введение**

Объектом исследования является глухое сверленное отверстие с коническим дном (отражатель «цилиндрическое отверстие») в торцевой стенке трубы, расположенное параллельно оси трубы. Данный тип отражателя имитирует протяженные дефекты цилиндрической формы, которые могут возникать в процессе проката труб. Для целей данного исследования каждый отражатель «цилиндрическое отверстие» характеризуется тремя параметрами: диаметром ( $\varnothing$ , мм), кратчайшим расстоянием от отражателя до наружной поверхности трубы ( $l$ , мм) и глубиной (длинной) отверстия ( $s$ , мм).

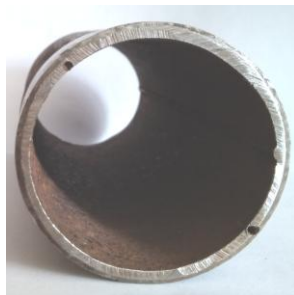


Рисунок 1 Отрезок стальной трубы с отражателями «цилиндрическое отверстие»

Два отражателя «цилиндрическое отверстие» просверлены в торце отрезка стальной трубы (ГОСТ 10704-91): длина отрезка трубы 152 мм, наружный диаметр составляет 60 мм, толщина торцевой стенки составляет 4 мм (Рисунок 1) [1]. Два отражателя «цилиндрическое отверстие», имеют параметры: ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм) и ( $\varnothing 2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=2$  мм).

Целью проведения экспериментальных исследований являлось определение эффективности применения хордового раздельно-совмещенного преобразователя для обнаружения отражателя «цилиндрическое отверстие» (глухое сверленное отверстие с коническим дном), просверленного в торцевой стенке стальной трубы, параллельно ее оси, при одностороннем доступе к изделию со стороны внешней поверхности трубы эхо-методом ультразвуковой дефектоскопии.

В этом эксперименте использовался раздельно-совмещенный хордовый пьезоэлектрический преобразователь с эластичным протектором типа П122 (РС ПЭП). Данный тип преобразователя предназначен для контроля сварных соединений стальных и полиэтиленовых трубопроводов, а также других цилиндрических конструкций различного назначения [2]. При контроле выявляются непровары, несплавления и другие протяженные дефекты сварки, ориентированные преимущественно вдоль сварного шва (т.е., перпендикулярно оси трубы), а также свищи, компактные дефекты типа пор и шлаковых включений. Наиболее надежное выявление дефектов гарантируется при их расположении в зоне, ограниченной поверхностями основного металла соединения.

#### Экспериментальная часть

Настройку РС ПЭП (заводской номер 1021) осуществляли с помощью стандартного образца предприятия (СОП). СОП (заводской номер 1021) имеет следующие параметры: номинальный диаметр (наружный диаметр стенки сегмента трубы) – 63 мм; номинальная толщина стенки – 5 мм; диаметр отверстия с плоским дном – 1,2 мм (отражатель ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм)). Рекомендованное расстояние от РС ПЭП (от передней грани корпуса) до продольной оси шва (до места возможного расположения дефекта) – 7-8 мм. По отражателю ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) в торцевой стенке СОП настраивали величину протектора и усиление дефектоскопа. В качестве браковочного уровня приняли амплитуду сигнала, отраженного от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм). РС ПЭП, при этом, размещали на расстоянии порядка 7 мм от плоского дна отражателя, что соответствовало максимуму амплитуды сигнала, так как плоское дно отражателя находилось в так называемом «фокусе» РС ПЭП. Остальные параметры дефектоскопа выбирались исходя из соображений удобства и наглядности.

В результате, в ходе данного эксперимента использовались следующие настройки ультразвукового дефектоскопа УСД-60: протектор – 15,77 мкс; угол ввода и стрелу приняли равными нулю и, таким образом, определяли фактическое расстояние от дефекта до РС ПЭП, а не его проекции на оси X и Y; скорость – 3230 м/с (скорость распространения поперечной ультразвуковой волны в стали [3]); полоса 4,0-6,0 МГц; R входа – 50 Ом; детектор – полный; L выхода – 4,7 мкГн; амплитуда – 200 В; частота задающих импульсов – 5,0 МГц; периодов – 5,0; частота повторения – 20 Гц; контактная жидкость – глицерин; тип преобразователя –  $\nabla$ ; браковочный уровень – 60% (зона а), поисковый уровень – 30% (зона б); усиление – 62,0 дБ; величину образца не задавали, так как угол ввода приняли равным нулю.

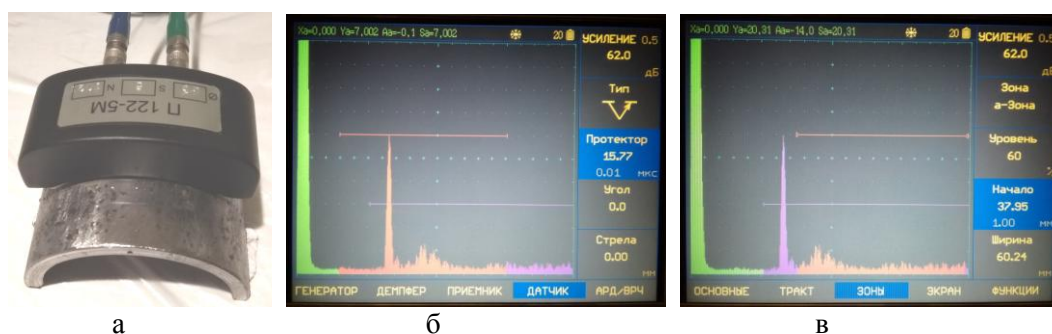
В Таблице 1 показаны результаты экспериментальных исследований как при настройке дефектоскопа УСД-60 (определение величины протектора и усиления) по отражателю ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) и исследованию влияния этого отражателя на амплитуду донного сигнала от торца СОП, так и результаты исследований по обнаружению отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм), расположенного в торцевой стенке отрезка стальной трубы с наружным диаметром 60мм и толщиной стенки 4мм и исследований его влияния на величину донного сигнала от торца отрезка стальной трубы.

Раздельно-совмещенный хордовый преобразователь (РС ПЭП) сначала размещали на оптимальном расстоянии от дна отражателя (определяемом по максимуму амплитуды отраженного сигнала), а потом на оптимальном расстоянии от торца трубы (или СОП) как в бездефектной зоне, так и точно над отражателем. В каждом эксперименте производилось фотографирование экрана дефектоскопа УСД-60 (Рисунки 2-11) и результаты измерений заносились в таблицу 1: Хф, мм – фактическое расстояние от передней стенки РС ПЭП, до торца сегмента трубы (СОП) или торца отрезка стальной трубы, соответственно; Sa, мм – расстояние, пройденное сигналом, отраженным от дефекта или торца (донный сигнал) и измеренное дефектоскопом УСД-60; Аа, дБ – амплитуда сигнала отраженного от дефекта или торца (донный сигнал). В столбце «примечания» содержится необходимая поясняющая информация по каждому зафиксированному отраженному сигналу.

Таблица 1 Результаты экспериментальных исследований

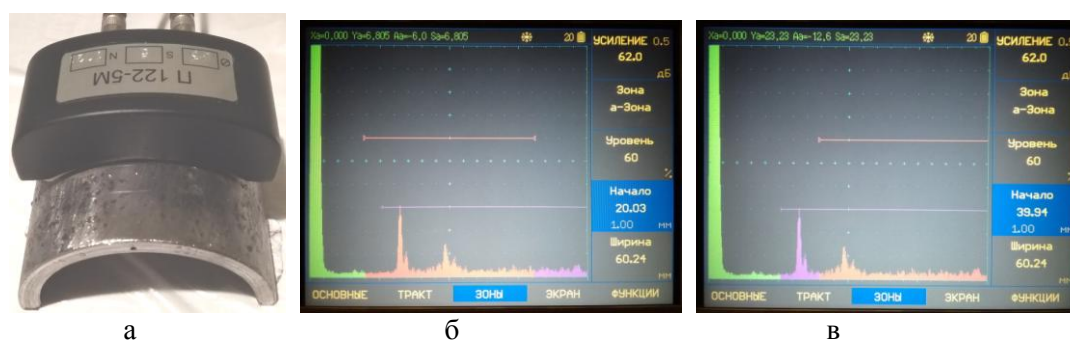
Хф, мм	Sa, мм	Аа, дБ	Примечания
Стандартный образец предприятия (СОП), заводской номер 1021			
19	7,002	- 0,1	Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм)
	20,31	- 14,0	Сигнал от торца СОП. РС ПЭП расположен напротив плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм) на расстоянии 7 мм
19	6,805	- 6,0	Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм) при смещении центра РС ПЭП влево от оси отражателя на 3 мм
	23,23	- 12,6	Сигнал от торца СОП. РС ПЭП смещен влево от оси отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм) на 3 мм.
19	6,769	- 6,0	Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм) при смещении центра РС ПЭП вправо от оси отражателя на 3 мм
	25,91	-14,7	Сигнал от торца СОП. РС ПЭП смещен вправо от оси отражателя ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм) на 3 мм.
19	17,04	- 12,6	Сигнал от торца СОП в бездефектной зоне.
8	7,988	7,2	Сигнал от торца СОП в бездефектной зоне.
8	7,980	6,8	Сигнал от торца СОП при размещении центра РС ПЭП над отражателем ( $\varnothing 1,2$ мм, $l=2$ мм, $s=12$ мм).
Отрезок стальной трубы (ГОСТ 10704-91), наружный диаметр 60мм, толщина стенки 4мм.			
19	6,769	5,0	Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$ мм, $l=1$ мм, $s=12$ мм) на расстоянии 7 мм
	18,45	-11,5	Сигнал от торца трубы. РС ПЭП расположен напротив конического дна отражателя ( $\varnothing 2$ мм, $l=1$ мм, $s=12$ мм) на расстоянии 7 мм
18	6,060	1,8	Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$ мм, $l=1$ мм, $s=12$ мм) на расстоянии 6 мм

	17,66	0,3	Сигнал от торца трубы. РС ПЭП расположен напротив конического дна отражателя ( $\varnothing 2$ мм, $l=1$ мм, $s=12$ мм) на расстоянии 6 мм
19	-	- 29,5	Шум в бездефектной зоне трубы. Сигнал от торца трубы отсутствует
8	8,106	7,8	Сигнал от торца трубы в бездефектной зоне
8	8,796	5,3	Сигнал от торца трубы при размещении центра РС ПЭП над отражателем ( $\varnothing 2$ мм, $l=1$ мм, $s=12$ мм)



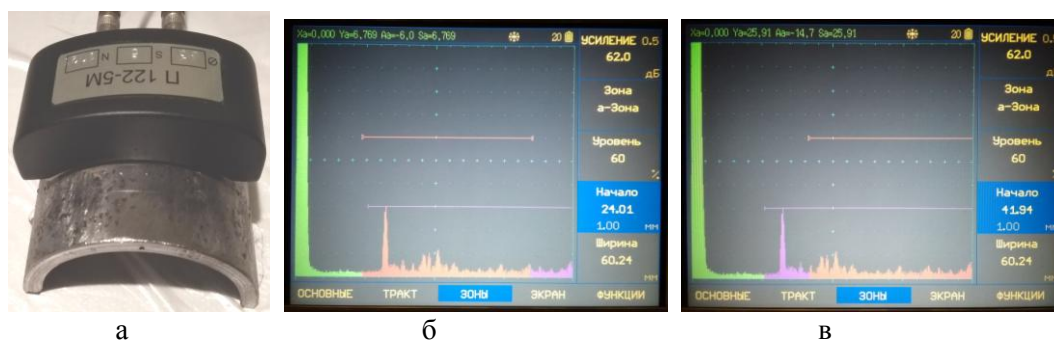
а - РС ПЭП расположен напротив плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) на расстоянии 19 мм от торца;  
б - Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм);  
в - Сигнал от торца СОП.

Рисунок 2 Настройка дефектоскопа по отражателю ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) ( $X\phi=19$  мм)



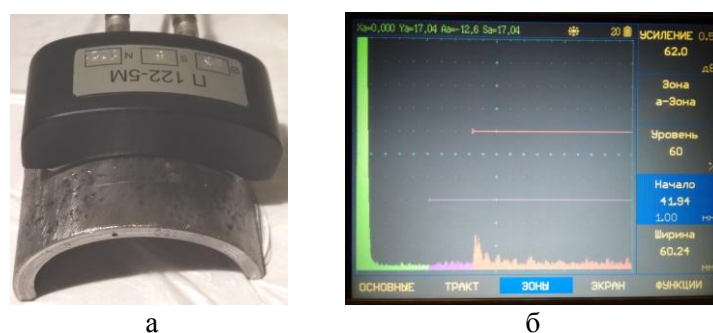
а - РС ПЭП смещен влево от оси отражателя на 3 мм;  
б - Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм);  
в - Сигнал от торца СОП.

Рисунок 3 Определение ширины поисковой зоны при смещении РС ПЭП влево от оси отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) на 3 мм ( $X\phi=19$  мм)



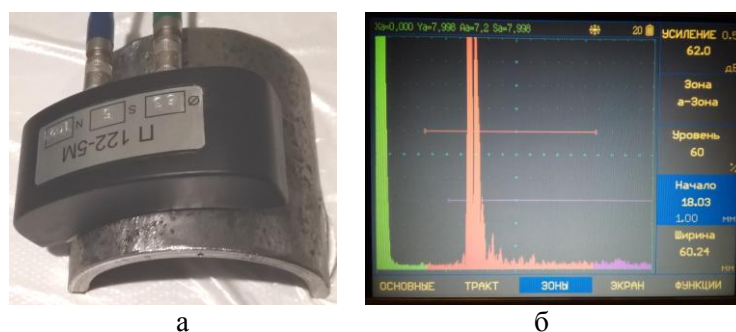
а - РС ПЭП смещен вправо от оси отражателя на 3 мм;  
б - Сигнал от плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм);  
в - Сигнал от торца СОП.

Рисунок 4 Определение ширины поисковой зоны при смещении РС ПЭП вправо от оси отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) на 3 мм ( $X\phi=19$  мм)



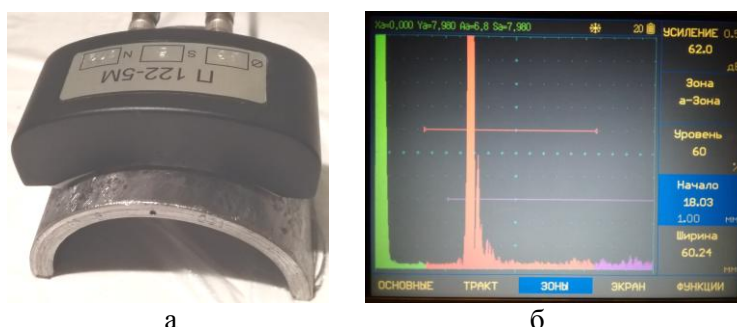
а - РС ПЭП расположенный в бездефектной зоне СОП;  
б - Сигнал от торца СОП в бездефектной зоне.

Рисунок 5 Исследование бездефектной зоны СОП ( $X\phi=19$  мм)



а - РС ПЭП расположенный в бездефектной зоне СОП;  
б - Сигнал от торца СОП в бездефектной зоне.

Рисунок 6 Исследование бездефектной зоны СОП ( $X\phi=8$  мм)



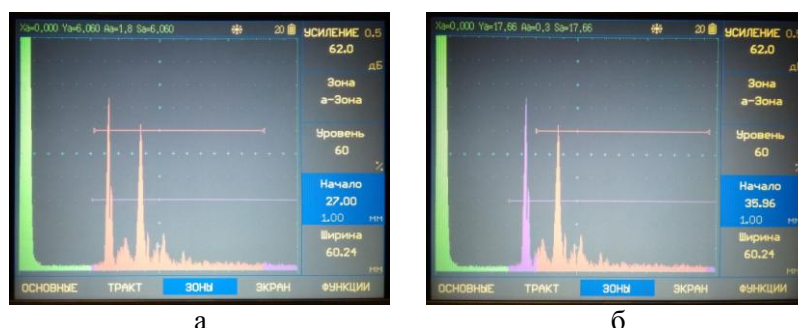
а - РС ПЭП расположен над отражателем ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм);  
б - Сигнал от торца СОП.

Рисунок 7 Исследование участка СОП при размещении центра РС ПЭП над отражателем ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) ( $X\phi=8$  мм)



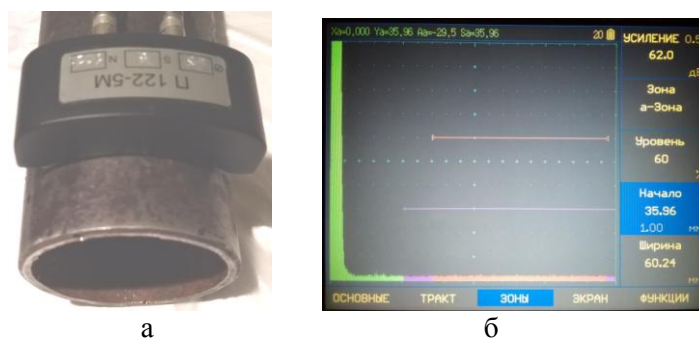
а - РС ПЭП расположен напротив конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм) на расстоянии 19 мм от торца;  
б - Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм);  
в - Сигнал от торца трубы.

Рисунок 8 Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм) ( $X\phi=19$  мм)



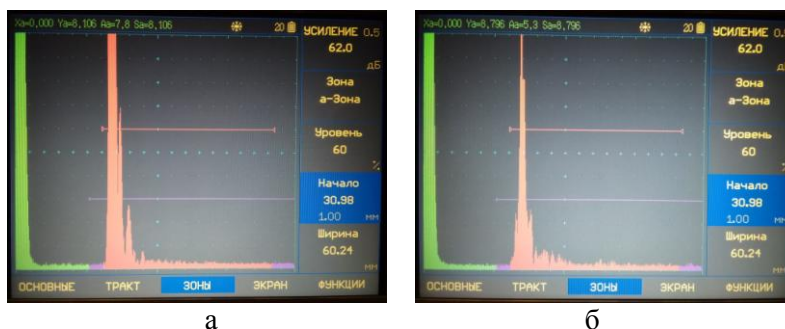
а - Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм);  
б - Сигнал от торца трубы.

Рисунок 9 Сигнал от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм) ( $X\phi=18$  мм)



а - РС ПЭП над бездефектной зоной трубы на расстоянии 19 мм от торца;  
 б - Сигнал от торца трубы отсутствует.

Рисунок 10 Исследование бездефектной зоны трубы. Сигнал от торца трубы отсутствует ( $X_{\phi}=19$  мм)



а - Сигнал от торца трубы в бездефектной зоне;  
 б - Сигнал от торца трубы при размещении центра РС ПЭП над отражателем ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм).

Рисунок 11 Исследование торца трубы ( $X_{\phi}=8$  мм)

С помощью раздельно-совмещенного хордового преобразователя с эластичным протектором типа П122 (РС ПЭП) можно обнаружить как плоское дно отражателя «цилиндрическое отверстие», расположенного параллельно оси трубы (Рисунок 2), так и коническое дно отражателя «цилиндрическое отверстие», расположенного параллельно оси трубы (Рисунок 8).

При этом важно, чтобы дефект (плоский или конический) находился в так называемом «фокусе» РС ПЭП. Ширина поисковой зоны (зоны, в которой сигнал от дефекта имеет амплитуду не ниже поискового уровня, равного минус 6дБ) для плоского дна отражателя ( $\varnothing 1,2$  мм,  $l=2$  мм,  $s=12$  мм) составляет 6мм при движении РС ПЭП влево (Рисунок 3) или вправо (рисунок 4) от точки с максимальной амплитудой. Размещение РС ПЭП на 1 мм ближе к торцу трубы от точки с максимальной амплитудой вызывает значительное уменьшение амплитуды сигнала, отраженного от конического дна отражателя ( $\varnothing 2$  мм,  $l=1$  мм,  $s=12$  мм) (Рисунки 8б и 9а) при одновременном увеличении амплитуды донного сигнала, отраженного от торца трубы (Рисунки 8в и 9б).



В бездефектной зоне СОП, при размещении РС ПЭП на расстоянии 19 мм от торца наблюдается сигнал от торца СОП с амплитудой минус 12,6 дБ, что на 6,6 дБ ниже поискового уровня (Рисунок 5). При размещении РС ПЭП на расстоянии 19 мм от торца отрезка стальной трубы, донный сигнал от торца трубы отсутствовал (Рисунок 10).

При размещении РС ПЭП в бездефектной зоне на расстоянии 8 мм от торца СОП или отрезка стальной трубы, что соответствует фокусному расстоянию от РС ПЭП до торца, наблюдается максимум амплитуды донного сигнала (Рисунки 6б и 11а, соответственно).

При размещении центра РС ПЭП над отражателем «цилиндрическое отверстие», на расстоянии 8 мм от торца, наблюдается небольшое снижение амплитуды донного сигнала: с 7,2 дБ до 6,8 дБ для СОП и с 7,8 дБ до 5,3 дБ для отрезка стальной трубы (Рисунки 7б и 11б, соответственно). Кроме этого, наблюдается незначительное уменьшение (в пределах погрешности) измеренного расстояния  $S_a$  до торца СОП с 7,988 мм до 7,980 мм и увеличение для отрезка стальной трубы измеренного расстояния  $S_a$  с 8,106 мм до 8,796 мм (Рисунки 6б и 7б, а также 11а и 11б, соответственно). Сигнал, отраженный от цилиндрической стенки отражателя «цилиндрическое отверстие» в обоих случаях отсутствовал (Рисунки 7б и 11б, соответственно).

### Заключение

Раздельно-совмещенный хордовый преобразователь с эластичным протектором типа П122 (РС ПЭП) может обнаружить, только не параллельные оси трубы участки дефекта, т.е. его начальную или конечную часть, при размещении преобразователя на бездефектном участке трубы в направлении отражателя. Если же данный преобразователь находится непосредственно над дефектом, параллельным оси трубы, то он не способен обнаружить ни дефекта, ни его начала, ни его конца.

Если есть возможность наблюдать донный сигнал от торца трубы (что не всегда возможно осуществить в производственных условиях), то о наличии протяженного дефекта (отражателя «цилиндрическое отверстие»), параллельного оси трубы можно судить только по уменьшению амплитуды донного сигнала.

Таким образом, с помощью раздельно-совмещенного хордового преобразователя с эластичным протектором типа П122, расположенного на поверхности трубы, в общем случае (т.е., на значительном удалении от торца трубы) невозможно обнаружить протяженный дефект (например, отражатель «цилиндрическое отверстие»), параллельный оси трубы. Поэтому в промышленных условиях РС ПЭП может быть рекомендован только для обнаружения дефектов, расположенных перпендикулярно или под небольшим углом к оси трубы.

### Литература:

1. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.
2. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник / В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филипов и др. Под ред. В.В. Клюева.- М. Машиностроение, 2003. С. - 488.
3. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. – Санкт-Петербург: СВЕН, 2011. – 312с.