

# СЕРИЯ ПРИЗМ С ФОКУСИРОВКОЙ ПО ПАССИВНОЙ ОСИ (PAF)

Фазированные фокусирующие призмы помогают снизить процент отбраковки при проведении контроля за счет улучшения разрешения для определения длины дефекта.

Часто проверка параметров акустических настроек выполняется на плоских блоках или пластинах, даже если последующий ультразвуковой контроль проводится на искривленных поверхностях. Поскольку на ультразвуковой пучок влияет радиус кривизны различных границ раздела сред (например, граница раздела призма–деталь и граница донной поверхности), эхосигнал от дефекта, измеренного на пластине, может сильно отличаться от эхосигнала, измеренного на трубе. Чтобы решить эту проблему, компания Olympus разработала и запатентовала серию призм с фокусировкой по пассивной оси (Passive-Axis Focusing – PAF).

Когда ультразвуковой пучок распространяется по искривленной поверхности, граница раздела сред выступает в качестве собирающей или рассеивающей линзы в зависимости от соотношения скоростей сред. В большинстве типовых случаев неразрушающего контроля ультразвуков проходит из среды с низкой скоростью (например, призмы из материала Rexolite) к среде с высокой скоростью

(например, углеродистая сталь) через выпуклую границу раздела, например, через внешнюю поверхность трубы. В результате возникает эффект рассеивающей линзы, что приводит к увеличению ширины пучка. На рис. 1 показаны моделирование пучка (с использованием программного обеспечения CIVA™) и различия между пучком по пассивной оси на плоской поверхности (рис. 1, а) и его эквивалентом при входе в поверхность с наружным диаметром (НД) 4,5" (114,3 мм) (рис. 1, б). Первая среда – Rexolite (скорость продольной волны 2330 м/с), а вторая среда – углеродистая сталь (скорость поперечной волны 3240 м/с).

Как показано на рис. 2, поверхность внутреннего диаметра (ВД) (или внутренней стенки) трубы выступает в качестве еще одной рассеивающей линзы, дополнительно увеличивающей ширину пучка.

## Важность ширины пучка для измерения протяженности индикации

В большинстве случаев неразрушающего контроля, включая контроль кольцевых сварных швов, направление сканирования идет вдоль пассивной оси ФР-преобразователя (ФР – фазированная решетка), а измерение длины дефекта выполняется с помощью кодирующей системы. Наиболее часто используемым методом определения размера дефекта на основе амплитуды является метод уменьшения амплитуды на 6 дБ. Преимущество данного метода заключается в том, что ширина пучка не влияет на длину дефекта. Однако это верно только в том случае, если длина дефекта больше ширины пучка. Если измеренная длина дефекта короче ширины пучка, то она будет соответствовать самой ширине пучка. Например, самый короткий отражатель, который можно измерить пучком шириной 5 мм, имеет длину 5 мм. Это означает, что все отражатели длиной менее 5 мм будут считаться равными 5 мм.

## Фокусирующие ФР-преобразователи

Конструкция стандартных ФР-преобразователей изначально включала в себя плоские элементы

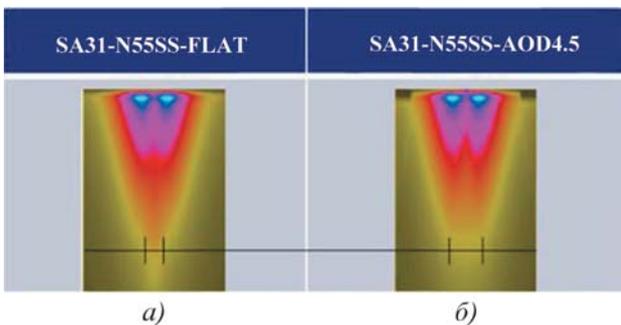


Рис. 1. Моделирование луча в плоской пластине (а) и в трубе с НД 4,5 (114,3 мм) (б)

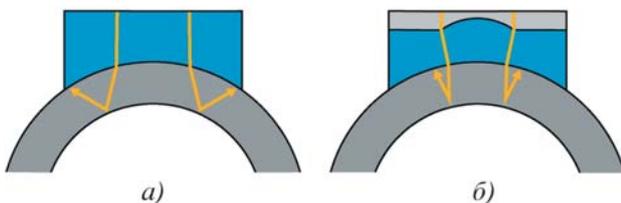


Рис. 2. Траектория расхождения луча для стандартной призмы (а) и фокусирующей призмы PAF (б)

в силу их простоты и универсальности. Некоторые преобразователи, специально предназначенные для контроля небольших диаметров, имеют изогнутые элементы (например, вогнутые с кривизной по высоте [CCEV]), чтобы компенсировать некоторые расхождения, возникающие на границах раздела деталей. Однако это значение кривизны является постоянным и, следовательно, не оптимизировано для широкого диапазона диаметров.

### Новая фокусирующая призма

Компания Olympus разработала и запатентовала [US9952183] технологию призм, которые позволяют выполнять оптимальную фокусировку пучка для определенных диаметров труб. Серия призм с фокусировкой по пассивной оси (PAF) (рис. 3) выполнена из двух материалов с различными акустическими скоростями. Граница раздела между материалами имеет форму собирающей линзы. Верхняя поверхность призмы плоская, что позволяет использовать любой стандартный преобразователь. Призмы PAF, применяемые для труб небольшого диаметра, имеют меньшие радиусы линз для большей фокусировки, в то время как призмы большого диаметра снабжены линзами большего радиуса.



Рис. 3. Призма с фокусировкой по пассивной оси (PAF)

### Результаты экспериментов

Были изготовлены два образца с вертикальными сквозными отверстиями диаметром 1 мм, находящимися на разном расстоянии друг от друга. Используемые образцы и призмы показаны на рис. 4. Первый образец представляет собой пластину (рис. 4, а), а второй – полутрубу (рис. 4, б) с наружным диаметром 4,5" (114,3 см). Для получения данных по пластине использовалась стандартная призма из материала Rexolite (SA31-N55S-IHC) с плоской нижней гранью, а для получения данных по изогнутому образцу – две другие призмы с изогнутой нижней гранью, со-

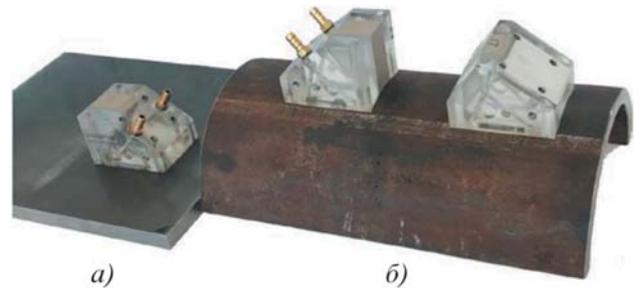


Рис. 4. Образец пластины со стандартной плоской призмой (а) и образец полутрубы со стандартной призмой и призмой PAF (б)

ответствующей диаметру полутрубы. Одна из изогнутых призм представляла собой стандартную модель из материала Rexolite (SA31-N55S-IHC-AOD4.5), а другая – композитную фокусирующую призму PAF (SA31-N55S-PAF18-AOD4.5) с радиусом линзы 18 мм.

Цель эксперимента состояла в том, чтобы измерить ширину пучка, полученного с помощью трех различных призм, используя угловой отражатель сквозных отверстий на ВД (прямое попадание) и НД (однократное отражение) с помощью метода уменьшения амплитуды на 6 дБ.

Для всех трех призм применялась одна и та же ультразвуковая настройка: линейное сканирование под углом преломления  $55^\circ$  (естественный угол призмы) поперечной волной с активной апертурой восемь элементов с использованием преобразователя 5L32-A31. Характеристики апертуры преобразователя, следующие:

- 32 элемента
- Шаг 0,6 мм
- Активная зона 19,2 мм
- Подъем 10 мм

На рис. 5 показана связь между развертками С-скан, S-скан и отслеживания лучей. Слева, в интерфейсе ПО NDT SetupBuilder™, показаны ниж-

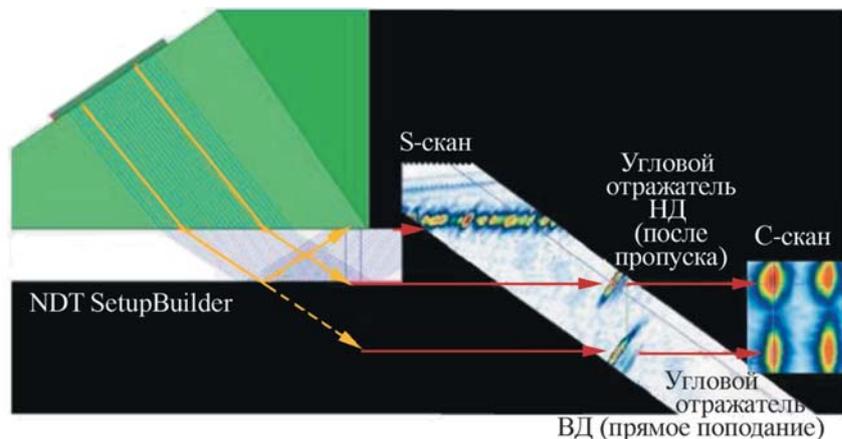


Рис. 5. Связь между изображениями С-скан, S-скан и отслеживания лучей

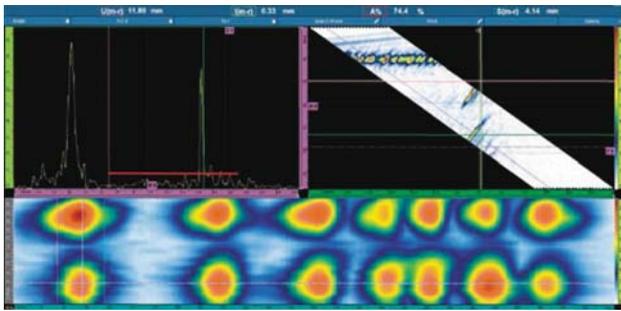


Рис. 6. Развертки A-, S- и C-скан, полученные с помощью стандартной призмы на плоской пластине

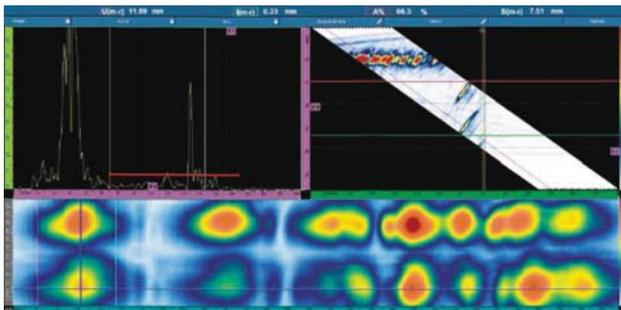


Рис. 7. Развертки A-, S- и C-скан, полученные с помощью стандартной призмы на трубе с НД 4,5" (114,3 мм)

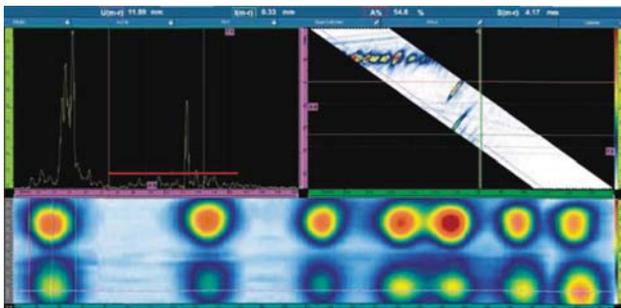


Рис. 8. Развертки A-, S- и C-скан, полученные с помощью призмы PAF на трубе с НД 4,5" (114,3 мм)

ние лучи, направленные на угловой отражатель НД после отражения от внутренней стенки, и верхние лучи, направленные на угловой отражатель ВД.

На развертке S-скан (в центре) угловой отражатель ВД находится выше углового отражателя НД, поскольку сигнал от него приходит раньше по времени. На развертке С-скан (справа) угловые отражатели НД и ВД находятся друг над другом для каждого сквозного отверстия в направлении сканирования.

Первый набор данных (рис. 6) был получен с помощью стандартной призмы на плоской пластине. Хотя отражатели и не являются совсем одинаковыми, легко обнаружить различные угловые отражатели семи сквозных отверстий. Амплитуда от отражателей ВД и НД одинакова. При использовании метода уменьшения амплитуды на 6 дБ измеренная ширина луча составила 5,0 мм на ВД и

4,1 мм на НД. Результаты приведены в табл. 1.

На рис. 7 показан второй набор данных, полученный с помощью стандартной призмы на образце полутрубы с НД 4,5" (114,3 мм). Амплитуда сигнала и изображение дефекта на развертке С-скан хуже по сравнению с предыдущими результатами. Трудно определить количество отдельных отражателей, присутствующих в образце. Измеренная ширина луча составила 5,7 мм на ВД и 7,5 мм на НД. Ширина луча 7,5 мм означает, что измеренная длина всех отражателей будет составлять не менее 7,5 мм. В соответствии, например, со стандартом ASME V31, который гласит, что максимальная допустимая длина дефекта составляет 6 мм или 6,4 мм в зависимости от поправки к стандарту, все отражатели, обнаруженные с помощью этой настройки, будут отбракованы.

Третье и последнее сканирование (рис. 8) было получено с помощью призмы PAF на образце полутрубы с НД 114,3 мм. Развертка С-скан значительно улучшилась по сравнению со стандартной призмой (см. рис. 8). Кроме того, общее изображение даже более четкое, чем изображение, полученное на плоской пластине. Измеренная ширина луча составила 3,5 мм на ВД и 4,2 мм на НД.

Таблица 1. Результаты измерений ширины луча

Призма	ВД, мм	НД, мм
Стандартная призма – пластина	5,0	4,1
Стандартная призма – труба	5,7	7,5
Призма PAF – труба	3,5	4,2

Таблица 2. Разница в коэффициенте усиления между стандартной призмой и призмой PAF

Призма	Коэффициент усиления, дБ	
	Результат 1	Результат 2
Стандартная призма – труба	43,7	43,7
Призма PAF – труба	41,6	42,3
Разница	-2,1	-1,4
Средняя разница	-1,75	

### Иные воздействия линзы на ультразвуковой сигнал

Материал, используемый для создания эффекта линзы в призме PAF, был выбран так, чтобы его акустический импеданс был максимально близким к импедансу материала Rexolite с целью избежать акустических вибраций в тонком верхнем слое, но с достаточно малой разницей в акустической скорости для обеспечения фокусировки луча.

Испытание было проведено для определения разницы в требуемом коэффициенте усиления меж-



## К 75-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ

Начало см. на стр. 5

ду новой серией призм PAF и стандартной серией призм, когда амплитуда отражателей установлена на определенном уровне. Сканирование проводили с помощью двух призм, стандартной и PAF, с использованием режима 250% на дефектоскопе Omni-Scan™ MX2 на двух отверстиях образца полутрубы. При последующей обработке числовой коэффициент усиления корректировался таким образом, чтобы высота каждого отражателя достигала 80% полной высоты экрана. В табл. 2 представлены конечные значения коэффициента усиления в децибелах для каждой комбинации отражатель – призма. Обратите внимание, что уровни усиления, необходимые для призм PAF, ниже, чем для стандартной призмы, вероятно, из-за фокусировки ультразвуковой энергии.

### Заключение

Эксперимент наглядно продемонстрировал отрицательное влияние кривизны детали на разрешающую способность при измерении длины индикации (дефекта). Благодаря новой серии призм PAF расходимость луча, вызванная наружной кривизной объекта контроля, можно компенсировать с помощью простого решения, совместимого со стандартными ФР-преобразователями. Ввиду меньшей итоговой ширины луча новая серия призм PAF позволяет измерять более мелкие дефекты и получать более четкие изображения для упрощения интерпретации данных и снижения процента отбраковки.

### Справочные материалы

**Pat. US9952183.** Olympus Scientific Solutions Americas Inc. / Zhang Jinchu, Liu C. Tricia, Habermehl Jason. Application Number: US14/851739. Publication Date: 24 April 2018. ■

Такая система, ее называли «прожжук», могла использоваться только при безоблачном небе, но и тогда ее эффективность была ничтожна, так как пилот, попав в луч прожектора, мог резко изменить курс, в результате расчеты прибора, управляющего зенитным огнем, становились непригодными.

При увеличивающихся скоростях самолетов и высоте их полета направление прихода звука и направление на самолет стали так сильно различаться, что система «прожжук» оказывалась вообще недееспособной. Необходимость создания принципиально новых средств для обнаружения самолетов стала очевидной.

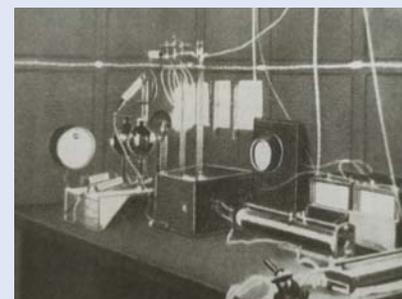
Итак, в конце 1932 г. молодой инженер П.К. Ощепков был назначен на работу в экспертно-технический сектор Управления ПВО РККА. Благодаря его энергии и убежденности идея радиотехнического обнаружения самолетов стала завоевывать популярность среди военных. В начальный период развития радиолокационной техники принципиальные возражения со стороны некоторых специалистов, в том числе и радиоинженеров, сводились главным образом к тому, что считалось невозможным выделить отраженный от самолета сигнал в силу чрезвычайно малой его мощности. В связи с этим практическое доказательство возможности радиообнаружения самолетов за многие километры от станции изучения имело исключительно важное значение.

По заданию управления ПВО РККА П.К. Ощепковым была написана статья «Современные проблемы развития техники противовоздушной обороны», опубликованная в № 2 журнала «Противовоздушная оборона» за 1934 г. В статье дан анализ существующих средств обнаружения воздушных целей и обоснована идея обнаружения самолетов с помощью электромагнитных волн достаточно короткой длины. В ней также развита мысль о том, что применение электромагнитных волн для определения направлений и дистанции будет возможно не только при разведке воздушного противника, но и в других видах боевой деятельности войск, а также в народном хозяйстве.

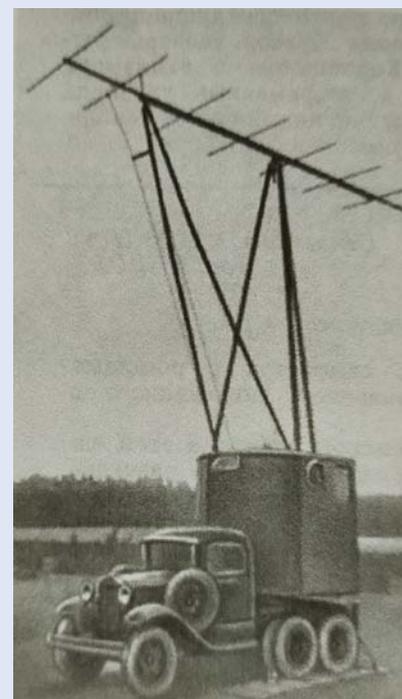
Окончание см. на стр. 72



Приемная часть радиолокатора непрерывного излучения, Ленинград, июль, 1934 г.



Передатчик на волне 5 м



Импульсный одноантенный радиолокатор РУС-2