

ПОВЫШЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ФОКУСИРОВКИ АНТЕННОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Д.О. ДОЛМАТОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

В настоящее время антенные решетки (АР) получают все большее применение в практике ультразвукового неразрушающего контроля. При этом во все большем количестве систем акустического контроля с АР находит применение технология Цифровой фокусировки антенной (ЦФА) [1]. В рамках данной технологии для получения набора ультразвуковых сигналов применяется режим двойного сканирования, который подразумевает поочередное зондирование объекта контроля каждым элементом преобразователя и прием отраженных ультразвуковых сигналов каждым элементом антенной решетки, рисунок 1. Впоследствии полученные наборы сигналов подвергаются цифровой когерентной обработке с использованием алгоритмов, основанных на использовании метода синтезированной апертуры.

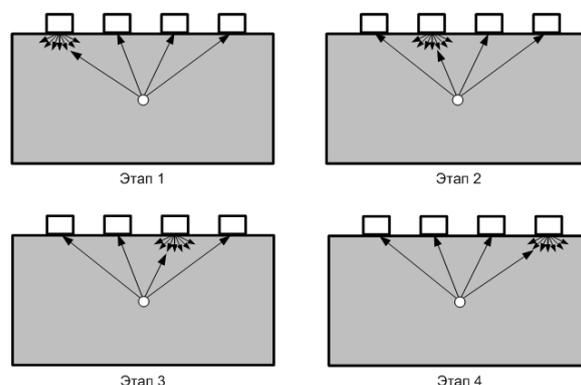


Рисунок 1 – Режим двойного сканирования

Актуальной задачей развития методов и средств ультразвукового контроля является повышение его производительности. Для этого высокой скорости сканирования объектов (например, с использованием роботов [2]), должна соответствовать быстрая оценка результатов контроля. В этой связи большой интерес представляет разработка и использование средств автоматической идентификации дефектов, которая может служить поддержкой дефектоскописту при оценке результатов контроля. Подобные решения могут базироваться, например, на использовании методов машинного обучения [3].

Высокая эффективность работы средств автоматического выявления дефектов в ультразвуковом неразрушающем контроле может быть обеспечена при использовании в анализе данных высокого качества. В контексте применения технологии ЦФА важным критерием качества результатов является высокое отношение сигнал/шум (ОСШ) восстанавливаемых изображений. В данной работе для повышения отношения сигнал/шум результатов предполагается использовать синтез изображений, полученных с учетом различных схем распространения ультразвуковых волн в объекте контроля. При вводе ультразвуковых волн акустические волны могут отражаться не только от несплошностей в контролируемой среде, но и от наружной поверхности объекта и донной поверхности объекта, рисунок 2. В результате эхо-сигналы могут содержать различные индикации, соответствующие отражению от одной несплошности.

Таким образом, существующие алгоритмы цифровой когерентной обработки могут быть адаптированы для восстановления изображений дефектов с учетом различных траекторий

распространения ультразвуковых волн. Наиболее простым подходом к синтезу изображений, полученных с учетом различных траекторий распространения ультразвуковых волн, является их произведение:

$$I_{total} = \prod_{i=1}^N I_i, \quad (1)$$

где I_i – изображение, полученное с учетом одной траектории распространения ультразвуковых волн.

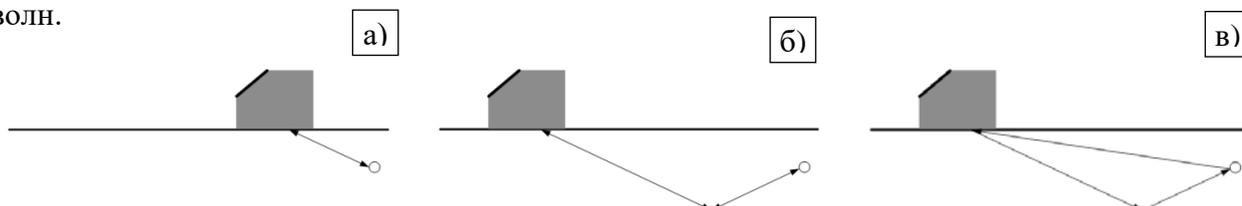


Рисунок 2 – Примеры различных траекторий распространения ультразвуковых волн:
 а) непосредственное отражение от дефекта; б) отражение от дефекта при однократном отражении от донной поверхности; в) отражение от дефекта при двукратном отражении от донной поверхности

Для проверки эффективности рассмотренного подхода была проведена его экспериментальная верификация. В качестве образца в эксперименте использовался алюминиевый образец толщиной 10 мм, содержащий паз высотой 1 мм, рисунок 3. В экспериментальной проверке использовалась антенная решетка Olympus 5L16-A1, состоящая из 16 элементов с рабочей частотой 5 МГц и шагом 0,6 мм, рисунок 4. АР размещалась на призме, обеспечивающей ввод поперечной ультразвуковой волны под углом 45° . В процессе экспериментальной проверки образец сканировался с шагом 1 мм. Полученные наборы подвергались цифровой когерентной обработке с учетом различных траекторий распространения ультразвуковых в объекте. При этом рассматривались схемы распространения, представленные на рисунке 2. В итоге было получено три изображения дефекта в тестовом образце, для которых осуществлялся синтез с использованием выражения (1). Все полученные результаты представлены на рисунке 5.



Рисунок 3 – Тестовый образец с прямоугольным пазом



Рисунок 4 – АР Olympus 5L16-A1

Для полученных результатов оценивалось отношение сигнал/шум (ОСШ) с использованием следующего выражения:

$$SNR = 20 \cdot \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right), \quad (1)$$

где I_1 – максимальная амплитуда изображения дефекта;

I_2 – максимальная амплитуда изображения, не содержащего дефект.

Результаты оценки ОСШ представлены в таблице 1.

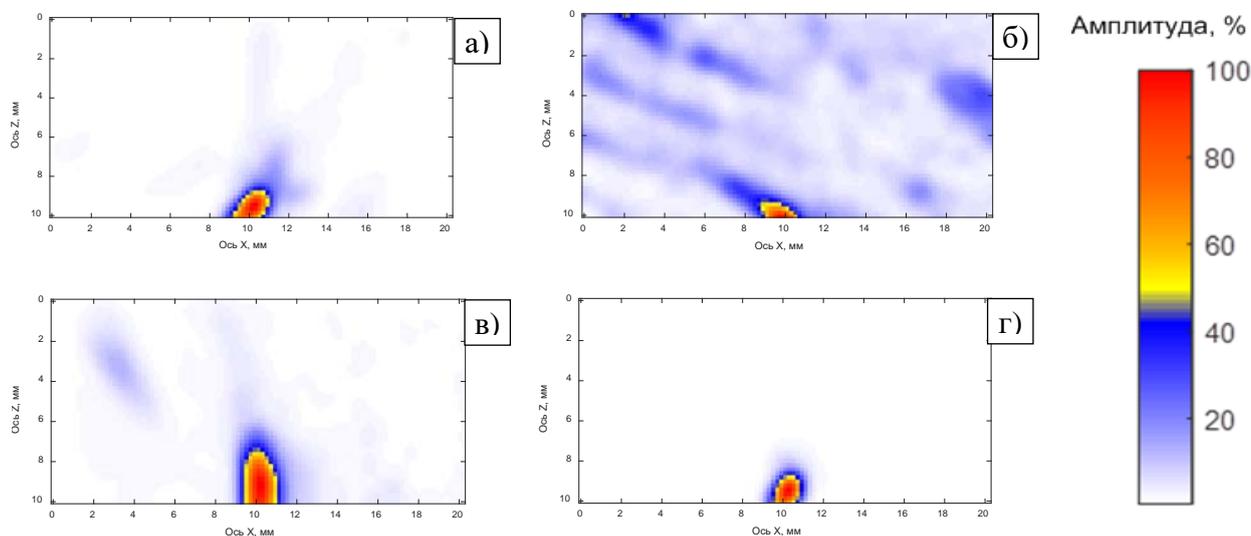


Рисунок 5 – Результаты ультразвукового контроля с применением технологии ЦФА и учетом различных траекторий распространения ультразвуковых волн:

- а) непосредственное отражение от дефекта (изображение 1); б) отражение от дефекта при однократном отражении от донной поверхности (изображение 2); в) отражение от дефекта при двукратном отражении от донной поверхности (изображение 3); г) изображение, полученное путем синтеза изображений а-в (изображение 4)

Таблица 1 – Результаты оценки ОСШ для всех рассмотренных случаев

Изображение	1	2	3	4
ОСШ	44,07	35,47	15,53	87,19

Таким образом, в рамках экспериментальной проверки рассмотренный подход показал свою эффективность. Изображения, полученные с учетом только одной траектории распространения ультразвуковых волн, имели ОСШ не выше 44,07 дБ, в то время как использование синтеза различных изображений обеспечило получение результатов с ОСШ равным 87,19 дБ, что является значительно более высоким значением.

Исследование выполнено за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук (проект № МК-1679.2022.4).

Список литературы

1. Самокрутов А.А. Ультразвуковая томография металлоконструкций методом цифровой фокусировки антенной решетки / Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. / Дефектоскопия. – 2011. – №. 1. – С. 21–38.
2. PAUT inspection of complex-shaped composite materials through six DOFs robotic manipulators / Mineo C. et al. //Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. – 2015. – Т. 57. – №. 3. – P. 161–166.
3. Deep learning for ultrasonic crack characterization in NDE / Pyle R. J. et al. //IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2020. –Vol. 68 (5). – P. 1854–1865.