

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. А. Абрамович, С. В. Микушев, С. А. Чертищева

ИЗУЧЕНИЕ ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО
МЕТОДА НА «ДЕФЕКТОСКОПЕ-
ТОМОГРАФЕ А1550 INTRO VISOR»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КАЛИБРОВОЧНОГО ОБРАЗЦА V2/25

Учебно-методическое пособие



ИЗДАТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УДК 534.6.08
ББК 22.326
А16

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доц. *А. Ю. Серов* (С.-Петербург. гос. ун-т);
д-р физ.-мат. наук, проф. *Н. В. Цветков* (С.-Петербург. гос. ун-т)

*Рекомендовано к изданию Учебно-методической комиссией
по УГСН 03.00.00 «Физика и астрономия» и УГСН 14.00.00
«Ядерная энергетика и технологии»
Санкт-Петербургского государственного университета*

Абрамович А. А., Микушев С. В., Чертищева С. А.

А16 Изучение эхо-импульсного метода на «Дефектоскопе-томографе А1550 Intro Visor» с использованием калибровочного образца V2/25: учебн.-метод. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2023. — 24 с.
ISBN 978-5-288-06332-9

Учебно-методическое пособие представляет собой описание и методические указания к выполнению лабораторной работы из двух частей, рассчитанному на два занятия общей продолжительностью 4 академических часа. В теоретической части пособия рассматриваются основные понятия и определения в области распространения ультразвуковых колебаний в твердых телах. Пособие содержит краткое описание дефектоскопа-томографа «А1550 Intro Visor» и его принцип действия, а также его технические характеристики, методику измерений и задания по выполнению практической части с вопросами для самоконтроля. Лабораторная работа выполняется на оборудовании Ресурсного центра «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета.

Рекомендуется обучающимся по направлению 03.04.02 Физика уровня магистратура в рамках дисциплин физического факультета СПбГУ «Практикум по методам импульсной ультразвуковой спектроскопии» и «Экспериментальные методы в акустике и радиоспектроскопии».

УДК 534.6.08
ББК 22.326

ISBN 978-5-288-06332-9

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2023

Содержание

Список сокращений	4
Физические основы эхо-импульсного метода	5
Лабораторная работа (часть 1)	11
Цели работы	11
Описание лабораторной установки.....	11
Порядок выполнения работы.....	16
Калибровка прямого ПЭП (глубиномер и время задержки)	17
Калибровка наклонного ПЭП (угол ввода и время задержки)	18
Лабораторная работа (часть 2).....	21
Цель работы	21
Оборудование и принадлежности	21
Порядок выполнения работы.....	21
Содержание отчета	23
Контрольные вопросы.....	23
Список рекомендованной литературы	23

Список сокращений

- УЗВ — ультразвуковые волны
- НК — неразрушающий контроль
- ОК — объект контроля
- ПЭП — пьезоэлектрический преобразователь
- УЗК — ультразвуковой контроль
- КО — калибровочный образец

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА

Использование ультразвуковых волн (УЗВ) различных частот позволяет экспериментально исследовать многие фундаментальные явления и процессы в физике твердого тела. К ним относятся: акустооптическое взаимодействие, взаимодействие со свободными носителями в полупроводниках и с электронами проводимости в металлах, акустические ядерный магнитный и парамагнитный резонансы, взаимодействие с мягкой модой при фазовых переходах, нелинейные эффекты и многое другое.

Основными характеристиками УЗВ являются частота, скорость и длина волны, которые связаны между собой соотношением

$$f = \frac{C}{\lambda}, \quad (1)$$

где f [Гц] — частота, т. е. количество колебаний в единицу времени, C [м/с] — скорость или расстояние, пройденное волной за единицу времени, λ [м] — длина волны, т. е. минимальное расстояние между двумя точками колеблющимися в одной фазе или расстояние, пройденное волной за один период.

Скорость распространения волны зависит лишь от плотности и упругих свойств среды и является постоянной величиной, поэтому длину волны в однородной среде можно менять только изменением частоты. Для изотропных тел, выполненных в форме стержня, модуль сдвига G [Па] и модуль упругости Юнга E [Па] связаны через коэффициент Пуассона ν :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (2)$$

Соответственно, зная величины скоростей продольных C_l и сдвиговых C_t УЗВ, а также плотность материала ρ [кг/м³], можно рассчитать эти три упругих параметра:

$$E = C_l^2 \rho, \quad (3)$$

$$G = C_t^2 \rho, \quad (4)$$

$$\nu = \frac{\gamma^2 - 2}{2(\gamma^2 - 1)}, \quad (5)$$

где $\gamma = \frac{C_l}{C_t}$ — отношение скоростей продольных и поперечных волн.

Измерение скоростей УЗВ различных типов осуществляется разными способами, один из которых реализован в ультразвуковой дефектоскопии, в частности

в современном «Дефектоскопе-томографе A1550 IntroVisor», освоение которого предлагается в настоящей работе. С его помощью можно как определять скорость УЗВ, так и оценивать их коэффициент поглощения в образце твердого материала.

В основу эхо-импульсной ультразвуковой дефектоскопии как одного из важных методов неразрушающего контроля (НК) материалов и конструкций положено свойство УЗВ различных типов отражаться от «дефекта» внутри материала, находящегося на пути акустического луча¹. Под «дефектами» понимается наличие в материале областей с другими (по сравнению с однородными) акустическими характеристиками, такими как скорость УЗВ и плотность. Например, это может быть полость, трещина, расслоение или «зерно» другого по плотности материала. В этой области импульс УЗВ испытывает как заметное отражение, так и частичное рассеивание, уменьшающее его амплитуду.

Очевидно, что, зная скорость УЗВ в материале и промежуток времени от излучения до приема импульса, можно определить координату и оценить размер «дефекта», при этом чувствительность эхо-импульсного метода к наличию дефекта определяется соотношением его размера b и длины волны λ . Чем оно больше, тем больше амплитуда отраженного от него сигнала, регистрируемого на дисплее дефектоскопа, при этом минимальный размер дефекта должен превышать половину длины волны:

$$b_{\min} > \frac{1}{2} \lambda, \quad (6)$$

где b_{\min} — минимальный размер дефекта, т. е. чувствительность метода.

Другой важной характеристикой УЗВ, зависящей от взаимодействия упругих колебаний с веществом, является коэффициент затухания δ , определяемый отношением амплитуд импульсов до (A_0) и после (A) прохождения пути r в веществе:

$$\delta = 20 \lg \frac{A_0}{A} \cdot \frac{1}{r}, \quad (7)$$

для распространенного случая, когда δ выражается в [дБ/см], а r отсчитывается в сантиметрах. Действительно, при распространении УЗВ их амплитуда уменьшается за счет диссипации ее энергии в реальной среде:

$$A(r) = A_0 e^{-\delta r}, \quad (8)$$

где δ выражается в единицах, обратных единицам длины. Кроме того, зная отношение амплитуд падающего и отраженного от дефекта импульса УЗВ, можно сравнить площадь дефекта в объекте контроля (ОК) с известной площадью контрольного образца². Для удобства в дефектоскопии существует шкала перевода

¹ Акустический луч — это условная линия в направлении распространения УЗВ от источника, всегда перпендикулярная к фронту волны.

² Контрольный образец — это образец, изготовленный из того же материала и по той же технологии, что и контролируемое изделие, но имеющий искусственные дефекты с заранее известными размерами.

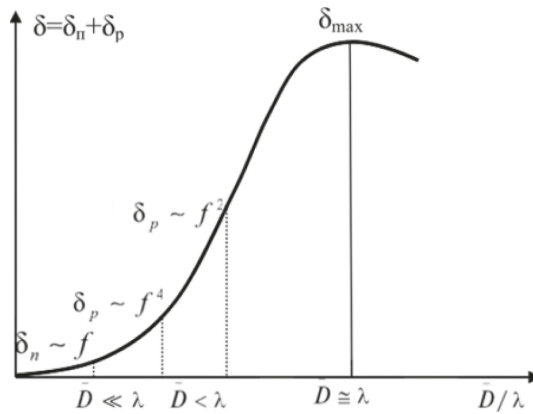


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента затухания от соотношения среднего размера зерна и длины УЗВ

децибел в отношении амплитуд по площади, из которой следует запомнить значение ± 6 дБ, которое говорит о том, что один сигнал в 2 раза больше или меньше относительно другого.

Кроме частичной диссипации энергии волны ($\delta_{\text{пог}}$) в величину δ , заметный вклад вносит ее рассеивание на самом дефекте ($\delta_{\text{рас}}$), поэтому коэффициент затухания является их суммой:

$$\delta = \delta_{\text{пог}} + \delta_{\text{рас}}. \quad (9)$$

Величина $\delta_{\text{пог}}$ в твердых телах зависит от их структуры, теплопроводности и упругого гистерезиса³ среды, т. е. от механизма перехода механической энергии в тепловую, в то время как рассеивание $\delta_{\text{рас}}$ связано с наличием в среде неоднородностей, что и приводит к отражению, преломлению и трансформации УЗВ из продольных в сдвиговые на границе с дефектом. Именно от величины $\delta_{\text{рас}}$ зависит амплитуда отраженного от дефекта импульса, наблюдаемого на экране дефектоскопа. В частности, для металлов одним из параметров, влияющих на коэффициент рассеивания, является средний размер зерна D [мм] (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что с ростом частоты УЗВ возрастает как чувствительность метода (6), так и коэффициент затухания УЗВ, поэтому требуется проводить оптимальный выбор рабочей частоты для измерений каждого ОК. В связи с этим современные дефектоскопы обладают широким диапазоном частот и соответствующим ему набором пьезопреобразователей (ПЭП).

Кроме этого, для эхо-метода важна такая характеристика среды, как удельное волновое сопротивление материала, или его акустический импеданс:

$$z = \rho C, \quad (10)$$

³ Упругий гистерезис — явление возникновения остаточной деформации после снятия механического напряжения, при котором упругие свойства при растяжении и сжатии различаются.

где z [$\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$], так как определяет условия отражения и преломления звуковых волн на границе раздела двух сред и амплитуду отраженной от дефекта волны. Действительно, обнаружение дефектов в эхо-методе основано на отражении упругих волн от дефектов с отличными акустическими свойствами относительно основного материала ОК, поэтому чем больше разница импедансов сред, тем больше интенсивность отраженной волны:

$$R = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2}, \quad (11)$$

где R — коэффициент отражения, показывающий соотношение интенсивностей отраженной и падающих УЗВ, а z_1 и z_2 волновые сопротивления основного материала и материала дефекта, соответственно.

Возбуждение ультразвуковых волн в ОК производится с помощью как преобразователей (ПЭП), так и самого дефектоскопа, содержащего импульсный генератор и приемник электрических колебаний ультразвуковых частот. В качестве излучателей и приемников чаще всего используют преобразователи, действие которых основано на обратном пьезоэлектрическом эффекте⁴. Обычно ПЭП выполняются в виде пластин и используются на частоте собственного механического резонанса, которая зависит как от их толщины l , так и скорости продольной УЗВ C_l , и называется рабочей частотой ПЭП:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{C_l}{2f}. \quad (12)$$

Для пьезоматериалов характерна точка Кюри T_k [K], т.е. температура, выше которой ПЭП теряет свои свойства. Например, у BaTiO_3 $T_k = 543 - 673\text{K}$, у ЦТС = $270 - 400\text{K}$. Это свойство накладывает ограничения на контроль нагретых материалов и конструкций.

Важной характеристикой ПЭП является его диаграмма направленности⁵ при излучении и приеме УЗВ, которая зависит от его диаметра a и длины волны (рис. 2), что необходимо учитывать при ультразвуковом контроле (УЗК) объектов различных размеров и форм.

Исходя из задач применения эхо-импульсного метода УЗК, применяются разные типы ПЭП. По способу их соединения с электрической схемой устройства выделяют (рис. 3):

— совмещенные преобразователи, которые соединяют одновременно с генератором и усилителем прибора, они служат как для излучения, так и для приема ультразвука (обозначаются символом «S»);

— отдельно-совмещенные преобразователи, один из которых (излучающий ПЭП) присоединяют к генератору дефектоскопа, а второй (приемный ПЭП) — к его усилителю, при этом оба конструктивно объединены, но имеют

⁴ Обратный пьезоэлектрический эффект — явление возникновения механической деформации материала — расширения или сжатия под действием приложенного к нему напряжения.

⁵ Диаграмма направленности — это зависимость амплитуды акустического поля в дальней зоне излучения от угла между акустической осью и направлением конкретного луча.

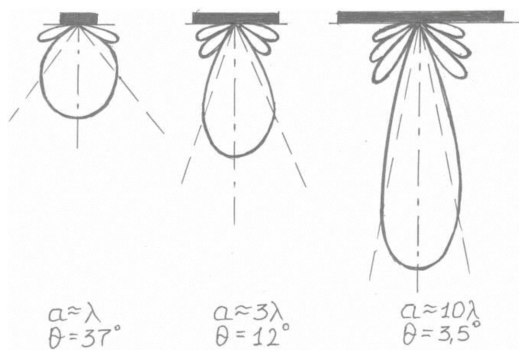


Рис. 2. Изменение формы диаграммы направленности при увеличении отношения диаметра преобразователя к длине излучаемой волны. Θ — угол, образованный штриховыми линиями

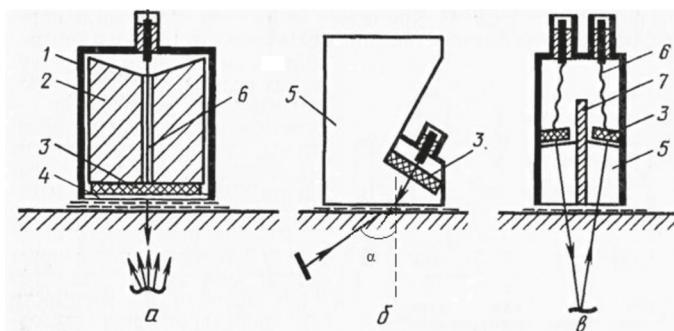


Рис. 3. Виды ультразвуковых пьезопреобразователей: *a* — прямой совмещенный, *б* — наклонный совмещенный, *в* — раздельно-совмещенный. 1 — корпус, 2 — демпфер, 3 — пьезопластина, 4 — протектор, 5 — призма, 6 — токопровод, 7 — акустический экран. Наклонный совмещенный ПЭП (*б*) используется как для введения в ОК пучка продольных УЗВ под углом к поверхности, так и для преобразования такого пучка в сдвиговые УЗВ при определенных углах призмы. Угол α означает направление пучка сдвиговых УЗВ в материале, преобразованных призмой из продольных УЗВ. Стрелками показаны как акустические лучи, излучаемые ПЭП в изделие, так и регистрируемые ими при отражении от дефектов

раздельные электрические разъемы и специальный акустический экран, разделяющий акустические лучи (обозначаются символом «D»).

По углу ввода α УЗВ в ОК различают прямые (0°) и наклонные (65° , 70° , 75°) ПЭП.

Дефектоскоп предназначен для возбуждения и приема ультразвуковых колебаний в ОК и преобразования их в вид, удобный для вывода на соответствующий индикатор, снабженный сервисными устройствами для измерения параметров принятых сигналов.

Современный дефектоскоп должен обладать портативностью, высокой чувствительностью, необходимым набором частот и комплектом соответствующих ПЭП, глубиномером, определяющим положение дефекта относительно поверхности ОК, и системой автоматической сигнализации наличия дефектов на заданной глубине ОК.

В настоящей работе предлагается ознакомиться с дефектоскопом-томографом «A1550 IntroVisor» отечественного производства («Акустические контрольные системы», Москва), сочетающим в себе вышеперечисленные параметры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА (ЧАСТЬ 1)

Цели работы

- Овладение навыками работы с ультразвуковым дефектоскопом-томографом «A1550 IntroVisor» (в дальнейшем — прибор) в режиме «ДЕФЕКТОСКОП-НАСТРОЙКА».
- Ознакомление с основными характеристиками прибора и набора ПЭП.
- Измерение опорного уровня для прямых ПЭП с применением калибровочного образца (КО) прибора V2/25.
- Измерение времени задержки в призме и угла ввода для наклонных ПЭП с применением КО V2/25.
- Ознакомление с назначением и функциями КО V2/25.
- Наблюдение формы и оценка размеров «искусственного» дефекта, созданного в КО V2/25 круглым сквозным отверстием.

Описание лабораторной установки

1. Прибор поддерживает следующие режимы работы: ТОМОГРАФ, СКАНЕР, ДЕФЕКТОСКОП, а также СТОП и НАСТРОЙКА, которые позволяют решать большинство задач дефектоскопии и обеспечить визуализацию внутренней структуры объекта (рис. 4). Основные технические характеристики прибора приведены в табл. 1.

В рабочем режиме происходит формирование зондирующего импульса, усиление принимаемых эхо-сигналов, представление их на экране и выполнение измерений. Подключение совмещенных ПЭП осуществляется через разъем











Рис. 4. Внешний вид электронного блока ультразвукового дефектоскопа «A1550 IntroVisor» с графическим индикатором и клавиатурой

«IN», расположенный в нижней правой части корпуса (для отдельно-совместимых ПЭП используется двойной соединительный кабель, подключаемый к разъемам «IN» и «OUT»). Управление осуществляется с помощью пленочной клавиатуры, основные обозначения которой приведены в табл. 2. Результаты измерений и состояние прибора отображаются на цветном TFT-дисплее с разрешением 640 × 480 точек.

Таблица 1

Наименование характеристики, ед. изм.	Значение
Устанавливаемые значения амплитуды импульса генератора импульсов возбуждения, В	25, 50, 100
Диапазон отклонения установки усиления приемника, дБ	от 0 до 100
Диапазон измерений временных интервалов, мкс	от 0 до 2 600
Диапазон измерений глубины залегания дефекта (по стали) с прямыми ПЭП, мм — S3568 2.5A0D10CL	от 7 до 300
— D1771 4.0A0D12CL	от 2 до 300
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений глубины залегания дефекта (по стали) с прямыми ПЭП, мм	$\pm(0,02 \cdot H + 1,00)$, где H — измеряемая глубина залегания дефекта, мм
Диапазон измерений глубины залегания дефекта (по стали) с наклонными ПЭП, мм	от 2 до 130
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений глубины залегания дефекта (по стали) с наклонными ПЭП, мм	$\pm(0,03 \cdot H + 1,00)$, где H — измеряемая глубина залегания дефекта, мм
Диапазон устанавливаемых скоростей распространения ультразвуковых волн, м/с	от 1 000 до 15 000
Диапазон показаний глубины залегания дефекта по стали (5920 м/с), мм: — с прямыми преобразователями — с наклонными преобразователями (угол 65°) — с наклонными преобразователями (угол 70°)	от 0 до 7500 от 0 до 1750 от 0 до 1400
Диапазон рабочих частот, МГц	от 1 до 10
Номинальное напряжение питания, В	11,1
Время непрерывной работы от полностью заряженного нового аккумулятора при нормальных климатических условиях, ч, не менее	8,5
Габаритные размеры, мм, не более: — длина — ширина — высота	166 260 80
Масса, г, не более	1800
Средний срок службы, лет, не менее	5

Таблица 2

Клавиша	Назначение клавиш в выбранном режиме	
	ДЕФЕКТОСКОП	НАСТРОЙКА
	Включение/выключение прибора	
	Вход в режим НАСТРОЙКА	Выход из режима НАСТРОЙКА
	КРАТКОВРЕМЕННОЕ НАЖАТИЕ	
	Не работает	
	УДЕРЖАНИЕ	
	Вызов окна подтверждения изменения текущего рабочего режима (ТОМОГРАФ — ДЕФЕКТОСКОП)	
	Перемещение курсора	Изменение значения активного параметра
	Включение/выключение опорного уровня	Запуск процедур настройки параметров, отмеченных знаком ►
	Не работает	Выход из процедуры настройки параметров, отмеченных знаком ►, без сохранения
	Изменение длины развертки (горизонтальные стрелки) Изменение значения аттенюатора (вертикальные стрелки)	Выбор параметра для редактирования (вертикальные стрелки) Вход/Выход в режим редактирования параметров
	Вход в режим СТОП	Не работает
	Основные функции клавиш-пиктограмм (слева направо): F1 — управление первым стробом ⁶ F2 — управление вторым стробом F3 — выбор типа срабатывания АСД F4 — выбор вида отображения сигнала F5 — включение/выключение режима ЛУПА F6 — включение/выключение амплитудной коррекции	Основные функции клавиш-пиктограмм (слева направо): F1 — настройка параметров ПЭП F2 — настройка параметров сигнала F3 — настройка параметров ОК F4 — настройка параметров амплитудной коррекции F5 — настройка параметров визуализации F6 — установка системных настроек

⁶ Строб — это «рабочая зона» применяемая для того, чтобы выделить тот участок экрана, на котором возможно появление сигналов от дефектов, расположенных по координате X.



Рис. 5. Наборы ПЭП для прибора, используемые в лабораторной работе:
 а) S3567 — прямой совмещенный 2,5 МГц; б) D2763 — прямой раздельно-совмещенный 10 МГц, имеющий два разъема; в) S5096 — наклонный 70°

Таблица 3

Параметр	Значение	Описание
Тип ПЭП	совм. / разд.	Выбор типа используемого ПЭП: совмещенный; раздельно-совмещенный
Рабочая частота, МГц	1,0/1,25/1,5/1,8/2,0/2,25/2,5/3,0/3,5/4,0/5,0/7,5/10,0	Подбирается в зависимости от свойств материала
Угол ввода, град	от 0,0 до 90,0 с шагом 0,5	Установка угла ввода ПЭП. При установке нулевого значения происходит автоматический переход значения параметра объекта контроля ТОЛЩИНА в состояние ВЫКЛ. Запуск процедуры калибровки на образце V2/25 нажатием клавиши «Enter»
Задержка, мкс	от 0,0 до 100,0 с шагом 0,1	Установка задержки в призме ПЭП
Стрела ⁷ , мм	от 0,0 до 50,0 с шагом 0,1	Установка стрелы преобразователя

2. Набор пьезоэлектрических преобразователей из комплекта прибора (рис. 5). Перед началом работы следует ознакомиться с паспортами ПЭП, где приведены их основные параметры (табл. 3).

3. Калибровочный образец V2/25 (рис. 6) предназначен для проверки и настройки параметров прибора и ПЭП. По нему производится калибровка по глубине и настройка чувствительности дефектоскопа для всех типов ПЭП. Также по нему определяют точку выхода луча, угла ввода и время задержки у наклонных ПЭП. Дополнительно КО используется для определения опорного уровня сигнала⁸, амплитуда которого используется для построения АРД-диаграмм⁹ при работе с ПЭП.

⁷ Стрела наклонного ПЭП — расстояние от белой точки выхода акустического луча наклонного ПЭП до внешней поверхности передней стенки его корпуса.

⁸ Опорный уровень — сигнал от искусственного отражателя в КО.

⁹ АРД-диаграмма («амплитуда — расстояние — диаметр») — метод определения размеров дефектов путем сравнения амплитуды эхо-сигнала от отражателя с амплитудой эхо-сигнала от плоскостного отверстия, расположенного на той же глубине или расстоянии.

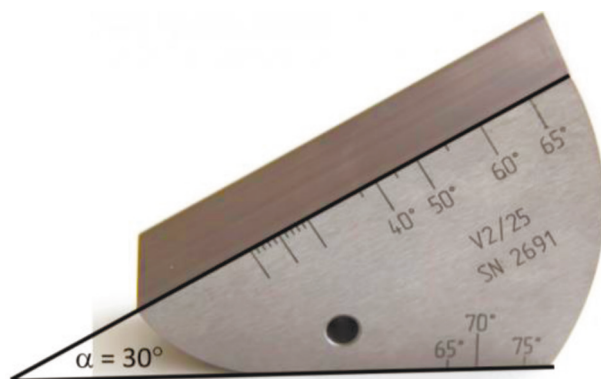


Рис. 6. Калибровочный образец V2/25 толщиной $h = 25$ мм, выполненный из наиболее распространенного при контроле сорта стали с известными скоростями УЗВ: $C_l = 5920$ м/с (см. табл. 1) и $C_t = 3250$ м/с (см. рис. 13)

Примечание. Все калибровки с использованием КО V2/25 справедливы только для материала с указанными выше значениями скоростей УЗВ

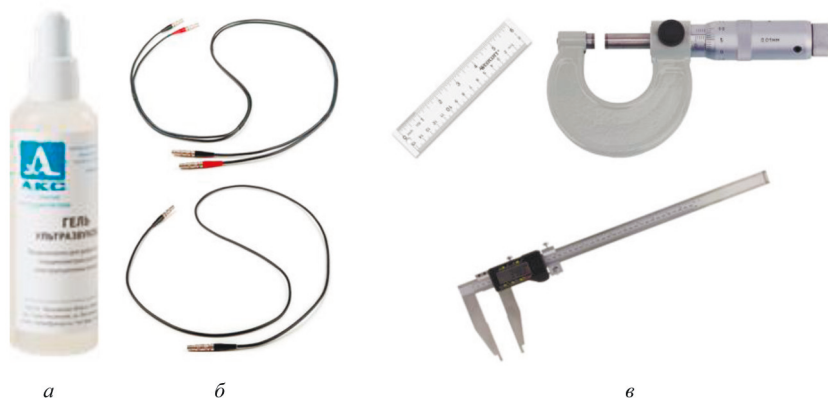


Рис. 7. а — ультразвуковой гель во флаконе; б — кабель LEMO — LEMO двойной (сверху) и одинарный (снизу) (При использовании двойного кабеля раздельно-совмещенных ПЭП необходимо соблюдать соответствие цвета точки на ПЭП и цвета контакта разъема кабеля.); в — приборы для измерения толщины ОК: линейка, микрометр, штангенциркуль

КО представляет собой плоскопараллельный стальной брусок треугольной формы. Боковые грани с плоской поверхностью расположены под углом 30^0 . Имеющееся сквозное отверстие диаметром 5 мм служит отражателем УЗВ, т. е. создает «искусственный» дефект. Штрихи на торцевой части обозначают углы ввода ультразвуковых волн для наклонных ПЭП и миллиметровую шкалу для определения «стрелы» наклонного ПЭП.

4. Ультразвуковой гель (рис. 7а) предназначен для обеспечения надежного акустического контакта между ПЭП и шероховатой поверхностью ОК: гель за-

полняет пространство между этими поверхностями, создавая слой жидкости, хорошо передающий УЗВ в ОК.

5. Набор соединительных кабелей (рис. 7б) предназначен для подключения ПЭП к ультразвуковому дефектоскопу. В комплект также входит кабель адаптера питания, сетевой кабель для подзарядки прибора и USB-кабель для подключения прибора к ПК с возможностью хранения и передачи данных сканов экрана прибора.



6. Вспомогательные инструменты (рис. 7в) предназначены для измерения толщины ОК, проверки параметров «стрелы» ПЭП и оценки координат расположения искусственного дефекта в КО.


Порядок выполнения работы

1. Освойте назначение основных функциональных клавиш управления дефектоскопа «A1550 Intro Visor» (таб. 2).

2. Включите прибор клавишей .

3. Удерживайте клавишу  для выхода в окно выбора режима работы.

4. Клавишей  выберите режим ДЕФЕКТОСКОП (отменить выбор клавишей ).

5. Проверьте параметры ПЭП S3567, S5096 и D2763 из техпаспортов. Для этого войдите в режим НАСТРОЙКА клавишей . Нажмите на пиктограмму F1 (рис. 8). В верхней части экрана располагается А-скан¹⁰ для визуального контроля редактирования текущих параметров.

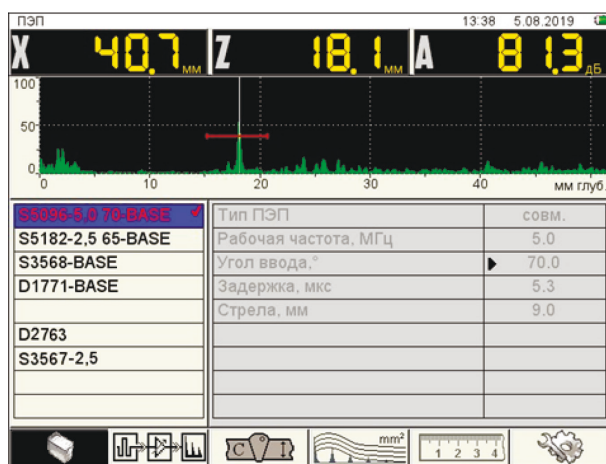











Рис. 8. Вид экрана в режиме НАСТРОЙКА — ДЕФЕКТОСКОП. X — расстояние от точки выхода луча до «дефекта» на оси абсцисс; Z — глубина залегания «дефекта» или толщина ОК для прямых ПЭП; A — амплитуда максимума 1-го по времени сигнала, помещенного в стробе

¹⁰ А-скан — отображение формы УЗВ, на котором ось ординат означает амплитуду эхо-сигнала в относительных единицах, а ось абсцисс — время (мкс) распространения или расстояние, пройденное УЗВ (мм глубины).

Перемещаясь по строкам клавишами  в левом столбце, выберите нужный ПЭП клавишей , чтобы текущая строка была отмечена «галочкой». Клавишей  перейдите в окно редактирования параметров ПЭП. Пользуясь клавишами  , отредактируйте данные при необходимости.

6. Проведите настройку прямого и наклонного ПЭП по методикам, описанным далее.


7. Для сохранения текущих настроек выйдите в окно конфигураций клавишей , нажмите клавишу . В появившемся окне перемещаясь вверх-вниз  клавишей  выберите «Сохранить под новым именем» или «Сохранить под тем же именем».


8. Полученные параметры калибровки для ПЭП S3567, S5096 и D2763 запишите в отчет.

9. В отчете к лабораторной работе (часть 1) записать полученные значения параметров при калибровке ПЭП и сравнить их с данными из паспортов ПЭП и КО. Предположите, почему данные могут различаться.


Калибровка прямого ПЭП (глубиномер и время задержки)





1. Подключите S3567 при помощи соединительного кабеля к дефектоскопу.
2. Выберите соответствующую конфигурацию и вернитесь в окно редактирования параметров (см. п. 5).

3. Выберите пиктограмму F4 и клавишами  перейдите на «Опорный уровень, дБ».

4. Установите ПЭП как показано на (рис. 9), предварительно обеспечив акустический контакт ультразвуковым гелем. Нажмите  и следуйте указаниям на экране.

Примечание. Для прямых ПЭП опорный уровень определяется по максимальной амплитуде донного сигнала¹¹ при установке ПЭП на боковую поверхность на КО V2/25 (или ОК с известной толщиной). На экране прибора 1-й по времени импульс — это зондирующий, он имеет много шумов из-за многократного переотражении от поверхности КО, поэтому измерения рекомендуется проводить на последующей серии импульсов.

5. Выберите пиктограмму F2 и выйдите из режима НАСТРОЙКА клавишей .

6. Установите длительность развертки, используя клавиши . Выбрав пиктограмму F1 клавишами  и  , установите строб так, чтобы в него входил лишь донный сигнал ОК.


¹¹ Донный сигнал — это импульс УЗВ, отраженный от нижней поверхности КО, перпендикулярной оси акустического пучка.




Рис. 9. Калибровка прямого совмещенного ПЭП S3567 на КО V2/25

Примечание. Развертка устанавливается таким образом, чтобы сигнал от максимально удаленного отражателя находился в пределах экрана. Для прямых ПЭП это донный сигнал. Максимальное значение амплитуды рекомендуется выставлять на высоте 50 % экрана путем корректировки усиления.

7. Выйдя из режима калибровки строба повторным нажатием пиктограммы F1, клавишами **+** **-** установите курсор (тонкая вертикальная линия) так, чтобы координата Z равнялась толщине КО (25 мм).

8. Войдите в режим НАСТРОЙКА . Нажмите пиктограмму F1 и клавишами выберите строку «Задержка, мкс». Клавишами **+** **-** добейтесь, чтобы курсор на А-скане стоял на максимуме амплитуды от донного сигнала.

9. Сохраните настройки конфигурации: , **Enter**, **Enter**. «Галочка» в окне конфигураций сменит красный цвет на белый (или черный при неактивной конфигурации).

Калибровка наклонного ПЭП (угол ввода и время задержки)

1. Подключите S5096 при помощи соединительного кабеля к дефектоскопу.
2. Выберите соответствующую конфигурацию и вернитесь в окно редактирования параметров (п. 5).

3. Выберите пиктограмму F1.


4. Установите ПЭП как показано на (рис. 10), предварительно обеспечив акустический контакт ультразвуковым гелем.

5. Перейдите на строку «Угол ввода, °», нажмите **Enter** и следуйте указаниям на экране. Для определения задержки в призме преобразователя просканируйте КО V2/25 со стороны длинной грани напротив отверстия. Получите временную огибающую и нажмите **Enter** (рис. 11).

6. Установите ПЭП, как показано на рис. 12, предварительно обеспечив акустический контакт ультразвуковым гелем и следуйте указаниям на экране.

7. Просканируйте отверстие в КО V2/25 движением ПЭП вперед-назад по наклонной грани, проходя указатель стрелы (точка на ПЭП) с отметкой угла 70°.

Получите временную огибающую и нажмите **Enter** (рис. 13).

8. Сохраните настройки конфигурации: , **Enter**, **Enter**.

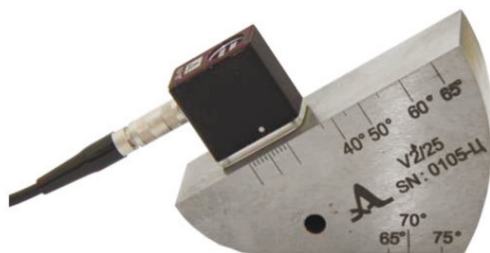


Рис. 10. Определение времени задержки в призме ПЭП на КО V2/25

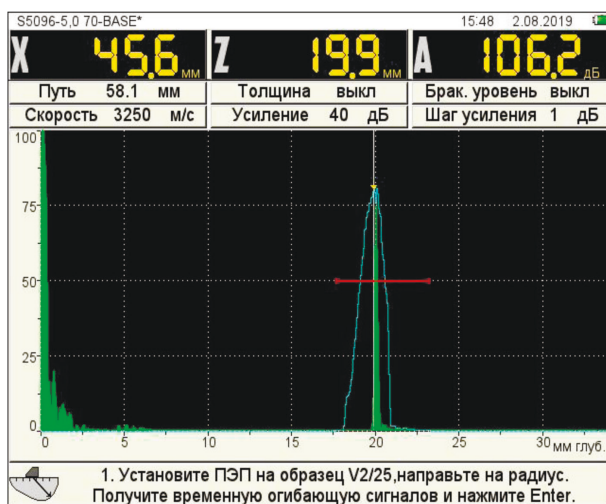


Рис. 11. Временная огибающая сигнала при калибровке задержки в призме наклонного ПЭП, скорость поперечных УЗВ в КО составляет 3250 м/с (из паспорта КО) (см. рис. 10)

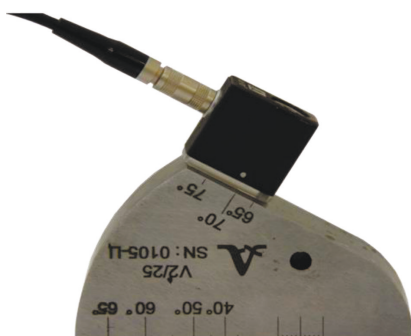


Рис. 12. Определение угла ввода УЗВ из наклонного ПЭП в КО V2/25

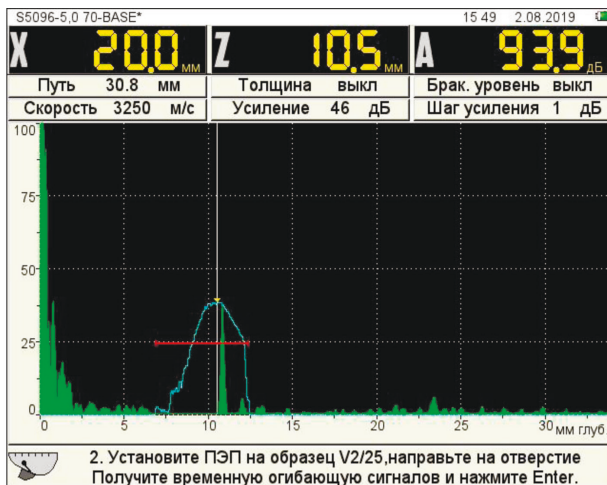


Рис. 13. Временная огибающая сигнала, полученная при калибровке угла ввода из наклонного ПЭП (см. рис. 12)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА (ЧАСТЬ 2)

Цель работы

Измерение скорости и коэффициента поглощения продольных УЗВ на частотах 2,5 и 10 МГц в любых трех из пяти ОК, выполненных из различных материалов (рис. 14).

Примечание. Для осуществления многократности измерений (не менее 5) рекомендуется использовать все возможные грани ОК для ввода УЗВ, а для расчета стандартного отклонения — применить известную программу для инженерных расчетов (калькулятор, компьютер).

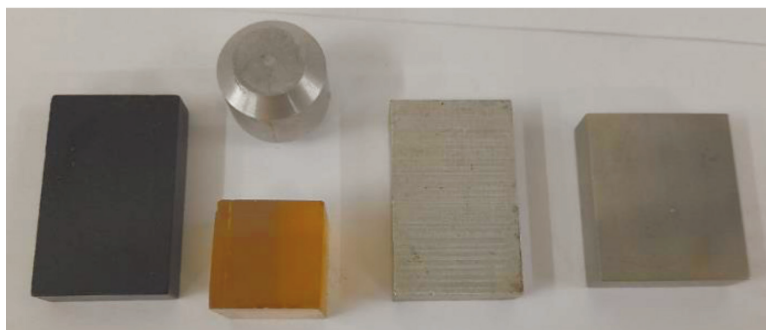


Рис. 14. Объекты контроля (слева направо): тёмный пластик, стекло (внизу); дюраль (наверху); обычная углеродистая сталь; инструментальная сталь

Оборудование и принадлежности

1. Настроенный в режиме «дефектоскоп» — прибор «A1550 IntroVisor» с присоединенным к нему ПЭП.
2. Прямой совмещенный ПЭП S3567 на резонансной частоте 2,5 МГц и прямой раздельно-совмещенный ПЭП D2763 на резонансной частоте 10 МГц.
3. Микрометр или штангенциркуль.
4. Два соединительных кабеля для подключения ПЭП к прибору и USB-кабель для подключения прибора к ПК или «флеш-памяти».

Порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы контроля к измерениям: очистить поверхности спиртом, измерить высоту, ширину и толщину ОК и нанести на них слой ультразвукового геля для создания надежного акустического контакта.

Примечание. Для исключения проникновения УЗВ из ОК в поверхность стола, на котором проводятся измерения, необходимо создать между ними воздушный слой с помощью бумаги или установить ОК на «ребристую» подложку.

2. Последовательно присоединяя к прибору ПЭП на частоты 2,5 и 10 МГц провести многократные измерения скоростей продольных УЗВ и их коэффициентов поглощения для трех выбранных ОК, используя формулы (13)–(14):

$$C_l = \frac{2h}{t}, \quad (13)$$



где C_l — скорость продольных волн в ОК, h — толщина ОК (акустический путь), t — время прохождения эхо-сигнала в ОК.

$$\delta = 20 \lg \frac{A_1}{A_2} \frac{1}{2h}, \quad (14)$$

где δ — коэффициент затухания в ОК, A — амплитуда эхо-сигнала в ОК.

Размерности скоростей привести в системе СИ, коэффициента затухания — в дБ/см.

В целях уменьшения погрешности измерений при расчете затухания в ОК следует использовать эхо-импульсы начиная со 2-го (рис. 15), т. е. без учета зондирующего импульса и учитывать наибольшее количество хорошо различимых сигналов (с учетом времени задержки в призме).

Примечание. К отчету рекомендуется приложить сканы развертки нескольких пиков для визуализации экспоненциальной зависимости затухания (рис. 15). Это позволит реализовать режим СТОП. При нажатии клавиши  в режиме ДЕФЕКТОСКОП происходит вход в режим сохранения и просмотра ранее сохраненных А-сканов. Для удобства следует отключить строб в рабочем режиме нажатием пиктограммы F1 и клавишей .

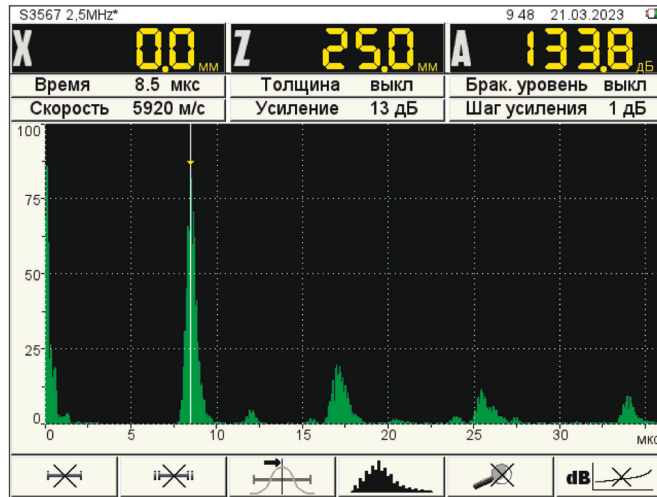


Рис. 15. А-сканы затухающих импульсов в КО V2/25 толщиной $h = 25,00$ мм с использованием прямого совмещенного ПЭП S3567 с резонансной частотой 2,5 МГц

3. Оформить отчет с описанием размеров и названий материалов исследованных образцов. Привести расчеты скоростей и коэффициентов поглощения продольных УЗВ на частотах 2,5 и 10 МГц. Кроме того, необходимо оценить погрешности измеренных величин и обосновать разницу в полученных результатах для разных материалов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Название и номер работы.
- ФИО, факультет и номер группы студента, выполнившего работу.
- Цель работы.
- Схема хода луча для прямого и наклонного ПЭП при эхо-импульсном методе контроля с односторонним доступом к ОК.
- Расчетные формулы, результаты измерений и вычислений, а также погрешности.
- А-скан для расчета поглощения в одном из измеренных образцов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем вы видите достоинства и недостатки эхо-импульсного метода УЗК?
2. Что является отражателем для прямого и наклонного ПЭП при его установке на КО?
3. Как измерить скорость распространения продольных волн?
4. В чем сущность пьезоэффекта и в каких материалах он может наблюдаться?
5. Из какого материала выполнены ПЭП исследуемого дефектоскопа и почему он называется «пьезокерамика»?
6. Почему при измерениях использовался ультразвуковой гель? Какие есть альтернативы для создания акустического контакта в отсутствие геля?
7. Из каких соображений выбирается рабочая частота ПЭП при УЗК?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дефектоскоп ультразвуковой «A1550 Intro Visor». Руководство по эксплуатации АПЯС. 412231.040 РЭ. М.: АКС, 2021. 92 с.
2. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. Введение. 1988-01-01. М.: Стандартиформ, 2005. 27 с.
3. *Ермолов И. Н., Ермолов М. И.* Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов 1-го и 2-го уровней квалификации. 5-е изд., стер. М.: Азимут, 2006. 208 с.: 77 ил.
4. *Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б.* Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972. 308 с.

Учебное издание

*АБРАМОВИЧ А. А., МИКУШЕВ С. В.,
ЧЕРТИЩЕВА С. А.*

ИЗУЧЕНИЕ ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА
НА «ДЕФЕКТΟΣКОПЕ-ТОМОГРАФЕ А1550 INTRO VISOR»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛИБРОВОЧНОГО ОБРАЗЦА V2/25

Корректор *А. С. Фомина*
Компьютерная верстка *Е. М. Воронковой*
Обложка *Е. Р. Куныгина*

Подписано в печать 10.04.2023. Формат 70×100 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 1,95. Тираж 300 экз. Print-on-Demand. Заказ №

Издательство Санкт-Петербургского университета.
199004, С.-Петербург, В. О., 6-я линия, 11.
Тел./факс +7(812)328-44-22 publishing@spbu.ru



publishing.spbu.ru

Типография Издательства СПбГУ. 199034, С.-Петербург, Менделеевская линия, д. 5.