

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
РОССИИ**



«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра приборостроения

Допущены
к проведению занятий в 2016-2017 уч. году
Заведующий кафедрой
профессор Потапов А.И.

« » сентября 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
для проведения практических занятий по учебной дисциплине

«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ»

Специальность (направление подготовки) 12.03.01 «Приборостроение»

**Специализация (профиль) *Приборы и методы контроля качества и
диагностики***

Разработал: профессор Носов В.В.

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры
Протокол № 1 от 29 августа 2016 г*

Санкт-Петербург

2016

4.2.8. Методические указания по проведению практических занятий

Основным видом практических занятий является выполнение контрольных заданий по физическим основам акустического контроля.

Контрольное задание № 1

В распространяющейся в воде плоской гармонической акустической волне амплитуда смещения частиц из положения равновесия равна $|u| = 1 \cdot 10^{-11}$ м, частота $f=2,5$ МГц. Определить колебательную скорость $|v|$, акустическое давление $|p|$ и интенсивность волны J .

Решение. Воспользуемся формулами (1.11) и (1.13):

$$|v| = 2\pi f |u| = 2\pi \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-11} = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ м/с};$$

$$|p| = \rho c |v| = 1 \cdot 10^3 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,57 \cdot 10^{-6} = 2,34 \text{ Па};$$

$$J = |p|^2 / 2\rho c = 2,34^2 / (2 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1,49 \cdot 10^3) = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/м}^2.$$

Контрольное задание № 2

Какие моды волн Лэмба будут распространяться в стальной пластине толщиной $h=1$ мм на частоте $f=2,5$ МГц? При каких углах наклона призмы из оргстекла они будут возбуждаться (скорость звука в оргстекле $2,68$ мм/мкс)?

Решение. Воспользуемся рис. 7. Вычислим величину, отложенную на оси абсцисс (в системе мм—мкс): $hf = 1 \cdot 2,5 = 2,5$ мм·МГц. Проведем вертикаль через эту точку. Она пересечет три кривые, соответствующие трем модам волн в пластинах. На оси ординат слева указаны значения фазовой скорости, а справа — углы наклона призмы из оргстекла, вычисленные по формуле

$$\beta = \arcsin c_0 / c_{ph}.$$

$$\text{Для } a_0 \quad c_{ph} = 2,8 \text{ мм/мкс}, \quad \beta = 71^\circ.$$

$$\text{Для } s_0 \quad c_{ph} = 3,5 \text{ мм/мкс}, \quad \beta = 50^\circ.$$

$$\text{Для } a_1 \quad c_{ph} = 6,3 \text{ мм/мкс}, \quad \beta = 25,8^\circ.$$

Контрольное задание № 3

Рассчитать модуль нормальной упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона для материала, где скорости $c_t=6,26 \cdot 10^3$ м/с: $c_l=3,06 \cdot 10^3$ м/с; плотность $\rho=2,7 \cdot 10^3$ кг/м³ (алюминий).

Решение. Отношение $c_l/c_t = 0,49$. Это позволяет [13] найти коэффициент Пуассона по формуле: $\nu = [1 - 0,5(c_l/c_t)^2] / [1 - (c_l/c_t)^2] = 0,34$.

Модуль упругости определяем по формулам (1.2), (1.16) и (1.17)

$$E = \rho c_l^2 (1 + \nu)(1 - 2\nu) / (1 - \nu) = 2,7 \cdot 10^3 \cdot (6,26 \cdot 10^3)^2 \cdot (1 + 0,34) \times \\ \times (1 - 2 \cdot 0,34) / (1 - 0,34) = 6,67 \cdot 10^{10} \text{ Па};$$

$$G = \rho c_t^2 = 2,7 \cdot 10^3 (3,06 \cdot 10^3)^2 = 2,63 \cdot 10^{10} \text{ Па}.$$

Контрольное задание № 4

Затухание ультразвука равно $\delta = 2$ Нп/м. Определить ослабление волны на пути в $x=300$ мм в относительных единицах и децибелах.

Решение. Ослабление составит $e^{-\delta x} = e^{-2 \cdot 0,3} = 0,55 = 5,21$ дБ (имеются в виду отрицательные дБ).

Контрольное задание № 5

Рассчитать для нормального падения коэффициенты отражения по энергии от слоя толщиной A в стали для волны частотой $2,5$ МГц; $h=1 \cdot 10^{-6}$; $1 \cdot 10^{-5}$, $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-3}$ мм и ∞ (граница двух сред). Слой заполнен воздухом и водой.

Решение. Для границы двух сред воспользуемся формулой (1.28), а для тонкого слоя — (1.37). Например, для границы сталь — воздух находим

$$\tilde{R} = \left(\frac{\rho c - \rho' c'}{\rho c + \rho' c'} \right)^2 = \left(\frac{46,6 - 4,3 \cdot 10^{-4}}{46,6 + 4,3 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = 0,99998 = 99,998\%.$$

Для слоя воздуха толщиной 10^{-6} мм

$$\tilde{R} = [1 + (Z_c c_c / \pi f h z)^2]^{-1} = [1 + (4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,331 / 2,5 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 46,6)^2]^{-1} = 0,8667 = 86,67\%.$$

Аналогичны вычисления для других случаев. В результате получим (табл. 1.1).

Таблица 1.1

h , мм	R для воды, %	R для воздуха, %
$1 \cdot 10^{-6}$	$2,67 \cdot 10^{-6}$	86,67
$1 \cdot 10^{-8}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$	99,85
10^{-4}	$2,67 \cdot 10^{-2}$	99,998
$1 \cdot 10^{-3}$	2,60	99,998
∞	0,906	99,998

Таблица показывает, что для данной частоты воздушные слои толщиной до $1 \cdot 10^{-4}$ мм отражают ультразвук практически полностью; лишь для слоя толщиной $1 \cdot 10^{-5}$ мм наблюдают заметное ослабление эхосигнала. Это доказывает возможность обнаружения тончайших дефектов.

Заполнение слоя водой резко уменьшает отражение и улучшает прохождение. От границы стали с водой отражается 90% энергии, а около 10% проходит в сталь, поэтому для передачи ультразвуковых волн зазор заполняют жидкостью.

Контрольное задание № 6

Рассчитать коэффициенты отражения по модулю для продольной и поперечной воли в стали (принимаются соответственно также продольная и поперечная волны) от прямого двугранного угла в зависимости от угла падения β . Позади граней угла — воздух (вакуум).

Решение. Происходит последовательное отражение акустических (ультразвуковых) волн от граней под углами P и $(90^\circ - \beta)$, после чего волна возвращается назад к преобразователю. Известно, что при углах $\beta = 0$ и 90° поперечная волна отражается полностью $|R_t| = 1$. Также полностью отражается поперечная волна, когда углы β и $(90^\circ - \beta)$ больше третьего критического. Это достигается в интервале углов от $33,5$ до $56,5^\circ$. Между этим

интервалом и значениями $\beta = 0$ и $\beta = 90^\circ$ отражение не полное, в связи с трансформацией поперечной волны в продольную. Минимум достигается при 30 и 60° , здесь $|R_1|=0,1$. Продольная волна полностью отражается также при углах 0 и 90° , хотя экспериментально этого не наблюдают, так как, распространяясь вдоль одной из граней угла, продольная волна будет являться головной и сильно ослабляться за счет излучения боковых поперечных волн. Экспериментально полное отражение при углах 0 и 90° можно наблюдать, если двугранный угол образован не плоскими поверхностями, а поверхностями двух соосных цилиндров, пересекающихся под углом 90° .

При угле $\beta = 45^\circ$ будет максимум $|R_1|=0,122$, а при углах $\beta = 23$ и 67° наблюдают минимумы, где $|R_1|= 0,071$.

Контрольное задание № 7

Определить координаты источника АЭ, скорости прохождения и коэффициента затухания упругой волны в материале

Координата источника АЭ определяется по разнице времён прихода (РВП) упругой волны на преобразователи аэ и определяется автоматически измерительной системой (рис. 6.9.). На балке с преобразователями, установленными на расстоянии l друг от друга, методом су-нильсена (облом карандаша) моделируем источник сигнала АЭ на расстоянии $10-20$ см от одного из датчиков со стороны, противоположной расположению второго датчика. По колонке “РВП” табл. 6. 1 определяем разницу времён пр хода (РВП) сигнала на преобразователи

Таблица 6.1

Предоставление информации в численном виде

Время (с)	Номер	Канал	Амплитуда АЦП	Амплитуда (дБ)	Энергия (мВ ² хмс)	РВП (мкс)	Максимум (мкс)	Длительность (мкс)	Число выбросов
5	1	1	635	81	1007	0	122	168	13
5	1	2	138	66	43	20	52	152	47
5	2	2	19	49	0	0	41	60	59
5	3	1	121	67	77	0	0	356	11

Далее определяем скорость упругой волны путём деления расстояния l между датчиками на РВП. Действия повторяем в непосредственной близости от одного из преобразователей АЭ. Коэффициент затухания сигнала определяем, как отношение разницы амплитуд сигнала, зарегистрированного разными каналами, на расстояние l между датчиками.

**Определение координаты X источника АЭ на основе
разницы времён прихода (РВП) сигнала**

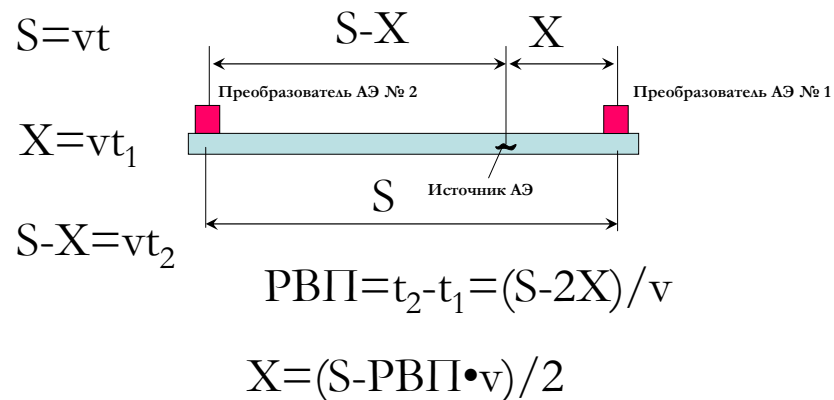


Рис.4. 6.1. Определение координаты источника аэ на основе разницы времён прихода сигнала

Задание:.

описать метод акустической эмиссии и принцип действия измерительной системы АЭ

вывести формулы расчёта координаты источника АЭ через рвп и разницу амплитуд сигнала

На основе полученных данных экспериментов рассчитать коэффициент затухания и скорость распространения сигнала по образцу

128	При нагружении с постоянной скоростью рост активности АЭ может свидетельствовать...	<ol style="list-style-type: none"> о развитии дефекта при $d^2 \ln N(t)/dt^2 > 0$; о присутствии не прогрессирующего концентратора при $d^2 \ln N(t)/dt^2 = 0$; о кинетически неоднородном разрушении и отсутствии существенной концентрации напряжений при $d^2 \ln C(t)/dt^2 < 0$; обо всём из перечисленного
129	Что входит в систему регистрации сигналов АЭ?	<ol style="list-style-type: none"> Преобразователь АЭ, предварительный усилитель; Основной усилитель и блок обработки сигналов; ЭВМ с программой обработки первичной информации; Всё из перечисленного
130	На чём может быть основан расчёт координат источника АЭ?	<ol style="list-style-type: none"> Только на определении разницы времён прихода сигналов АЭ; Только на определении разницы амплитуд сигналов АЭ; На определении разницы времён прихода сигналов АЭ или разницы амплитуд сигналов АЭ; Ничем из перечисленного
131	Какое механическое воздействие производят на сосуды давления во время проведения АЭ контроля?	<ol style="list-style-type: none"> Производят гидро-нагружение; Производят пневмо-нагружение; Производят сжатие корпусов; Любое из перечисленных, которое подобно рабочему нагружению.
132	При каких испытаниях и в связи с чем применение акустико-эмиссионного диагностирования сосудов давления наиболее актуально проведении?	<ol style="list-style-type: none"> При пневмоиспытаниях в связи с необходимостью обеспечения безопасности; При внешнем давлении в связи со слабой контролепригодностью других методов контроля; При гидротестированиях, так как в данном случае это единственный метод, позволяющий контролировать образование и развитие опасного дефекта; Всё перечисленное
133	Какие из перечисленных мероприятий подразумевает проведение акустико-эмиссионного диагностирования сосудов давления?	<ol style="list-style-type: none"> Контроль сплошности сварных соединений и зон основного металла неразрушающими методами дефектоскопии, контроль толщины стенки неразрушающими методами; Измерение твёрдости с помощью переносных приборов, лабораторные исследования (при необходимости) химического состава, свойств и структуры материала основных элементов; Гидравлические или пневматические испытания, прогнозирование условий и сроков дальнейшей эксплуатации (ресурса) сосуда. Все перечисленные
134	Каким образом определяют величину параметра N_B формулы оценки исходного ресурса $N_c = N_B / \exp(W_{AE})$?	<ol style="list-style-type: none"> Как значение, отсекаемое экстраполированной усталостной прямой на ось логарифма количества циклов до разрушения; По формуле $N_B = \exp(\ln N_G + \sigma_R Y_R)$, где N_G — базовое число циклов, (2×10^6); σ_R — предел выносливости при заданном коэффициенте