

Акустические методы контроля качества. И.Н.Ермолов, Л.В. Басацкая, Ф.В.Кузнецов, С.А.Шератов, М.: Моск. энерг. ин-т, 1984, - 38с.

Методические указания к курсовому проекту по курсу "Акустические методы контроля" предназначены для студентов специальности 0653 "Физические методы и приборы контроля качества". Они включают в себя вопросы расчета и конструирования пьезоэлектрических преобразователей и некоторых узлов акустических дефектоскопов и толщиномеров, основанных на применении различных методов акустического контроля.

Перед студентами ставится задача расчета и выбора параметров и конструкции узлов ультразвуковой аппаратуры (частоты ультразвука, размеров пьезоэлементов, формы призмы преобразователя, напряжения генератора, коэффициента усиления прибора и т.д.), обеспечивающих достижение оптимальных для требуемых заданий характеристик контроля: чувствительности, разрешающей способности, помехоустойчивости, точности и диапазона измерения толщины и т.д.

Включенное в проект задание по расчету амплитудно-частотных характеристик преобразователей требует применения ЭВМ. Предусмотрено выполнение не менее двух листов чертежно-графического материала. Расчетные формулы и сведения об акустических свойствах материалов студенты должны почерпнуть из курса лекций и справочной литературы.

Инженеры, выпускаемые МЭИ по специальности 0653 "Физические методы и приборы контроля качества", должны обладать разносторонними и глубокими научно-техническими знаниями и быть подготовлены к самостоятельному творческому решению инженерных задач. Создание новых приборов, установок и различного рода устройств для неразрушающего контроля качества относится к важнейшим научно-инженерным проблемам. Подготовка студентов к решению этих задач является основной целью курсового проектирования. Вместе с тем курсовое проектирование должно способствовать усвоению лекционного курса, обучению методикам расчета и пользованию специальной литературой.

В соответствии с этим, при написании данных методических указаний было учтено, что курсовое проектирование должно выполнять следующие задачи.

1. Закрепить и углубить полученные студентами на лекциях знания путем использования их для решения конкретных задач.
2. Расширить круг знаний студентов путем изучения специальной литературы, а также пользования справочниками и руководящими материалами.
3. Развить творческую инициативу студентов при самостоятельном решении поставленных перед ними задач и стремление к поискам оригинальных решений.
4. Ознакомить студентов с практическими задачами и современным научно-техническим уровнем в области акустических методов неразрушающего контроля качества.
5. Привить студентам навыки применения современных методов решения инженерных задач с использованием математических методов и вычислительных машин.
6. Развить у студентов навыки использования научно-технического языка и литературного изложения материала пояснительной записки, убедительного обоснования принятых им решений, методов расчета и т.д.
7. Развить у студентов чувство ответственности за выполняемую ими работу и принятые решения и умение обоснованно их защищать.

1. Определение параметров импульсного ультразвукового дефектоскопа

Ультразвуковой дефектоскоп излучает электрический сигнал с амплитудой напряжения  $V_0$  и принимает отраженный или прошедший сигнал с амплитудой  $V'$ . Усилителем прибора сигнал  $V'$  усиливается в  $K_3$  раз до амплитуды  $V_C$ , достаточной для его регистрации индикаторными устройствами. Сигнал генератора  $V_0$  излучающим преобразователем превращается в акустический ультразвуковой сигнал с амплитудой  $P_0 = LV_0 / L$  - коэффициент преобразования при излучении/. Проходя через акустические системы, сигнал  $P_0$  ослабляется в  $N$  раз. Поступающий на приемный преобразователь сигнал с амплитудой  $P' = NP_0$  превращается в электрический сигнал с амплитудой  $V' = MP' / M$  - коэффициент преобразования при приеме/. Таким образом, величина сигнала  $V_C$  определяется произведением

$$V_C = V_0 K_3 L M N .$$

В этой формуле первые два множителя определяются электрическими узлами дефектоскопа - генератором и усилителем. Вопросы их расчета относятся к задачам электрического тракта прибора. Два вторые множителя характеризуют отдельные или совмещенный преобразователи /электро-акустический тракт/. Последний множитель характеризует акустический тракт дефектоскопа.

Генератор электрических сигналов характеризуется амплитудой, формой и частотой напряжения. Амплитуда напряжения - это максимальное значение электрического напряжения  $V_0$ . Напряжение генератора может быть непрерывным синусоидальным колебанием или импульсом определенной формы. В последнем случае напряжение характеризуется спектром частот. Частота непрерывных колебаний или основное значение частоты в спектре называется рабочей частотой.

Наиболее часто генерируются радиочастотные ударные и колоколообразные импульсы. Ударный импульс описывается формулой

$$V(t) = 0 \text{ при } t < 0, V(t) = -V_0 e^{-t/\tau} \cos \omega_1 t \text{ при } t \geq 0,$$

а колоколообразный - формулой

$$V(t) = V_0 e^{-(t/\tau)^2} \cos \omega_1 t.$$

Импульс  $V(t)$  можно записать в виде интеграла Фурье

$$V(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega / 2\pi,$$

где  $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} V(t) e^{-j\omega t} dt$  - спектральная плотность импульса.

При вычислении  $S(\omega)$  для колоколообразного импульса рекомендуется пользоваться интегралом

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-p^2 x^2 \pm qx) dx = \exp(q^2/4p^2) \sqrt{\pi}/p \quad (p > 0).$$

Максимальное значение  $V_0$  ограничивается условием предотвращения пробоя и разрушения пьезопластины, для этого напряженность электрического поля в пластине не должна превышать  $3 \cdot 10^6$  В/м. Из соображений техники безопасности обычно  $V_0/R_1 \leq 10^{-3}$  В/м.

Усилитель ультразвукового импульсного прибора состоит из усилителя высокой частоты, детектора /выпрямителя/ с отсечкой шумов и видеоусилителя. Наиболее существенное значение имеет усилитель высокой частоты, где сигнал должен испытывать минимальные искажения. Для этого ширина полосы пропускания усилителя должна превосходить частотный спектр импульса. Коэффициент усиления должен быть таким, чтобы минимальный сигнал, который требуется регистрировать, усиливался до величины  $V_C$  порядка 10 В. В этом случае сигнал, проходящий детектор и видеоусилитель, будет достаточно надежно фиксироваться электронно-лучевой трубкой и другими индикаторами прибора. Рассчитанное значение коэффициента усиления округляется до 100, 500, 1000, 5000, 10000 /в сторону увеличения/.

Большинство ультразвуковых приборов осуществляют последовательное излучение и прием ультразвуковых сигналов в форме импульсов. Однако при расчете электро-акустического тракта рассматривается более простой случай излучения и приема непрерывных колебаний, т.е. считается, что импульсы имеют достаточно большую длительность.

Преобразование электрических колебаний в акустические и обратно обычно выполняются с помощью пьезоэлектрических пластин, колеблющихся по толщине /рис. 1. /. Чувствительности пьезопластины как излучателя и приемника характеризуются, как отмечалось ранее, коэффициентами преобразования при излучении и приеме

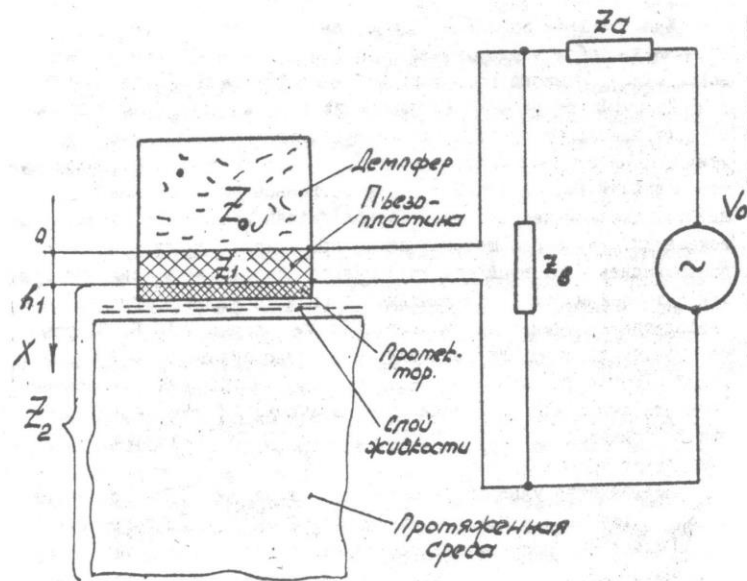


Рис. 1. Схема преобразователя

$$L = \left| \frac{P_0}{V_0} \right|, \quad M = \left| \frac{V'}{P'} \right|.$$

Если излучение и прием ультразвука проводится одним и тем же или идентичным искателями, пользуются коэффициентом двойного преобразования

$$LM = \frac{2e^2 S z}{h_1^2 z_1^2} |z_a B^2 F_1^2 G^2| = \frac{2}{\pi} K^2 \omega_0 C \frac{z}{z_1} |z_a B^2 F_1^2 G^2|.$$

Обозначения, входящие в формулу, приведены в [1], раздел I, гл. 3 и 4. Здесь формула для LM приведена, так как в [1] она дана с ошибкой.

Необходимые справочные данные имеются в [2], гл. I2, табл. 2, 6 и 7.

В проекте рассматриваются две схемы включения преобразователя с электрическим контуром. Параллельная схема включения /рис. 2а / описана в [1], раздел I, гл. 4.

При последовательной схеме включения /рис. 2б /

$$Z_a = R_a - j\omega L_a = R_a(1 - jQ_2 \frac{\omega}{\omega_0}), \quad \frac{1}{Z_b} = j\omega C_b = 0.$$

Поскольку  $C_b$  принимается малой, то

$$\frac{1}{B} = 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} - j \frac{\omega}{Q_2 \omega_0}, \quad 1 + \frac{Z_a}{Z_b} = 1.$$

Здесь

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_a C}}, \quad Q_2 = \frac{1}{\omega_0 R_a C}.$$

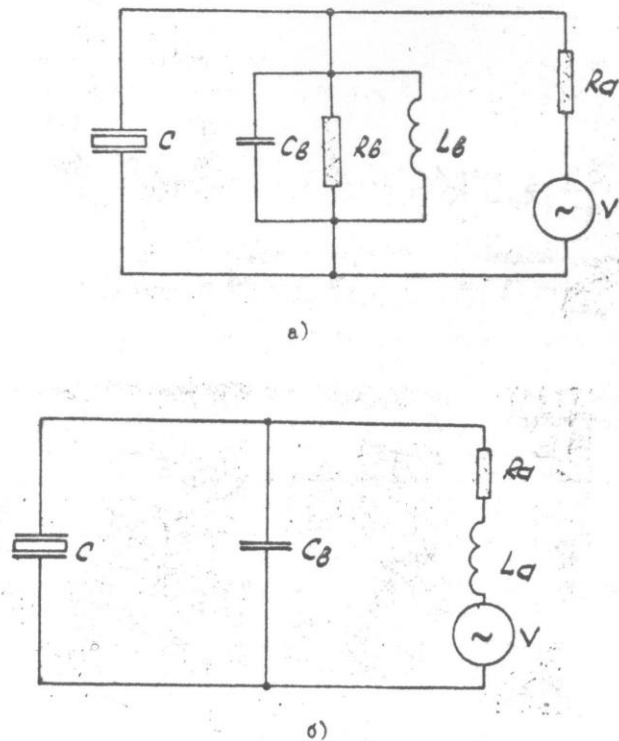


Рис. 2. Схема включения преобразователя и колебательного контура

- а) параллельное включение,
- б) последовательное включение

2. Оценка влияния параметров акустического тракта при эхо- и теневом методах контроля

На пути ультразвуковых волн от излучателя до дефекта и от дефекта к приемнику/ здесь под дефектом понимается естественный или искусственный объект, отражающий или экранирующий ультразвуковые волны/ происходит их дифракционное ослабление. Действие этого фактора /обозначим его через  $\Phi$  / учитывается при вычислении по формулам акустического тракта /см. [2], табл. 13/ или более точным расчетом по номограммам для эхо-метода /см. [2], с. 205-208/ и теневого метода /с. 221-222/. В случае, когда отражение происходит от точечного рефлектора, рассеивающего падающие волны равномерно по всем направлениям, акустический тракт характеризуется полем излучения- приема преобразователя /см. [2], с. 184-187/.

В случае, когда дефект имитируется плоскостным отверстием или тонким диском, наиболее точное определение величины дифракционного ослабления позволяют осуществить АРД-диаграммы /см. [2], рис. 50 и 64/. Для построения по безразмерным АРД-диаграммам размерных следует задаваться удобными для практической работы /округленными/ значениями диаметров дефектов и расстояний, затем находить безразмерные параметры и определять соответствующие точки путем интерполяции по безразмерным АРД-диаграммам.

При расчете необходимого коэффициента усиления прибора принимается минимальное значение  $\Phi$ , т.е. связанное с наибольшим ослаблением сигнала.

При контроле теньвым методом ослабление ультразвука, связанное с расхождением волн на пути от излучателя к приемнику, определяется как сквозной сигнал  $P_c$ . Кроме того, происходит ослабление сигнала вследствие экранирования его дефектом. Величина  $P_c$  рассчитывается по формулам для донного сигнала /см. [2], табл. 13/, но вместо расстояния до отражателя /дна изделия/ вводится величина, равная половине толщины изделия, контролируемого теньвым методом

$$\tau_{\text{ЭХО}} = \tau_{\text{ТЕН}} / 2.$$

Величина ослабления сигнала дефектом задается при расчете теневого дефектоскопа /см. раздел 10/. Точнее задается регистри-

руемое прибором ослабление сквозного сигнала

$$K_g = (1 - P_T/P_C).$$

Отсюда ослабление сигнала дефектом равно  $1 - K_g$ . Для оценки размера дефекта по ослаблению сигнала прибор должен обеспечить регистрацию сигналов в 10 раз меньших. В результате наибольшее дифракционное ослабление сигнала для теневого метода определяется формулой

$$\Phi = 0,1(1 - K_g)P_C/P_0.$$

При наличии акустической задержки /иммерсионной жидкости или призмы преобразователя/ для расчетов акустического тракта вводится мнимая пьезопластина, как рекомендуется в [1] /раздел I, с. 86-87/. Ослабление сигнала при прохождении границы задержки - изделие определяется коэффициентом прохождения по амплитуде  $\tilde{D}$ , а в случае прохождения границы в прямом и обратном направлениях - коэффициентом прохождения по энергии  $\tilde{D}$  /см. [2], рис. 16-19/. При небольших углах падения  $\alpha < 7^\circ$  для пластмасс,  $\alpha < 4^\circ$  для жидкостей/ коэффициенты прохождения можно рассчитывать по формулам для нормального падения

$$\tilde{D} = 4\bar{z}_3\bar{z} / (\bar{z}_3 + \bar{z})^2,$$

где  $\bar{z}_3$  и  $\bar{z}$  - характеристические импедансы в материале задержки и изделия.

В некоторых случаях для введения волн в зону изделия, где могут находиться дефекты, приходится прибегать к отражениям волн от свободных поверхностей изделия. При этом возможна трансформация используемых волн в волны другого типа. Ослабление амплитуды волн при отражении учитывается коэффициентом отражения  $R$  / см. [2], рис. 14 и 15/.

Затухание ультразвука в изделии и акустической задержке учитывается множителем  $\exp(-\alpha z - \alpha_3 z_3)$ , где  $z$  и  $z_3$  - пути в изделии и задержке вдоль центрального луча, а  $\alpha$  и  $\alpha_3$  - коэффициенты затухания в изделии и задержке /см. [2], табл. 3,6 и рис. 9-12/. При прохождении звука в прямом и обратном направлениях величины  $z$  и  $z_3$  умножаются на 2.

Таким образом, суммарное ослабление ультразвука в акустическом тракте определяется произведением

$$\frac{P}{P_0} = \Phi \tilde{D} \text{Re}^{-\alpha z + \alpha_3 z_3}$$

3. Расчет чувствительности и ширины полос пропускания преобразователей импульсных приборов

Основным элементом искателя является пьезопластина из цирконата-титаната свинца ЦТС-19 /если не задан другой материал/. Толщина пластины  $h_1$  выбирается полуволновой /относительно рабочей частоты  $f_0$ , на которой ведется контроль/

$$h_1 = C_1 / 2f_0.$$

Толщина протектора  $h_2$  /если он предусмотрен заданием/ выбирается четвертьволновой

$$h_2 = C_2 / 4f_0.$$

Здесь  $C_2$  - скорость звука в протекторе.

Материал протектора при излучении в жидкость должен быть по характеристическому акустическому импедансу  $Z_2$  возможно ближе к значению

$$Z_2' = \sqrt{Z_1 Z_3},$$

где  $Z_1$  и  $Z_3$  - характеристические импедансы пьезопластины и воды.

Для этого вычисляется значение  $Z_2'$  и подбирается из табл. 2 [2] материал, характеристический импеданс которого  $Z_2$  возможно ближе к  $Z_2'$ . При излучении в изделие материал протектора выбирается с большим затуханием /не менее 100 неп/м/ по табл. 6 из [2]. В некоторых вариантах проектор отсутствует.

Материал демпфера тоже выбирается из табл. 6. Он должен обладать большим характеристическим импедансом  $Z_0 = (3,5 \dots 6) 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$ .

если контролируются изделия малой толщины или если контроль ведется иммерсионным методом. Если контролируются изделия большой толщины или применяется призматический плексигласовый искатель, то демпфер либо отсутствует, либо имеет  $Z_0 < (1...2) \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Толщина демпфера должна обеспечить уменьшение амплитуды ультразвуковых колебаний не менее, чем на 60 дБ вследствие затухания. Если затухание меньше, то верхнюю грань демпфера, противоположную пьезоэлементу, следует сделать ребристой, чтобы на ней происходило рассеяние ультразвука.

Расчет чувствительности и полосы пропускания выполняется на ЭВМ по формуле для  $LM$ , приведенной в §1. Предварительно все входящие в формулу величины приводятся к безразмерным параметрам. Например, аргумент тригонометрических функций, равный произведению волнового числа для пьезопластины  $K_1$  на ее толщину  $h_1$ , записывается так

$$K_1 h_1 = \pi f / f_0 = \pi \omega / \omega_0.$$

Результаты представляются в безразмерных координатах. По оси абсцисс откладывается величина  $\omega/\omega_0 = f/f_0$  в пределах от 0,1 до 1,9. По оси ординат откладывается в децибелах для параллельного включения величина  $LM R_a / R_0$ , а для последовательного включения  $-LM R_a / |Z_a|$ . Так делается потому, что напряжение на усилителе снимается не со всего значения импеданса  $Z_a = R_a - j\omega L$ , а только с его активного сопротивления  $R_a$ . В качестве параметра кривых используется  $Q$  - добротность электрического колебательного контура. Принимается, что резонансная частота колебательного контура совпадает с  $\omega_0$ , т.е.

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} = \omega_0 = \pi C_1 / h.$$

Расчет выполняется либо для заданного значения  $Q$ , либо определяется значение  $Q$ , при котором достигается максимальная или требуемая ширина полосы пропускания /обычно  $Q$  лежит в диапазоне от 1 до 10/. Выбирается величина  $Q$ , при которой кривая для  $LM$  /или других величин/ имеет плато. Значение коэффициента преобразования для резонансной частоты должно быть рассчитано для проверки вручную, так как формулы при этом упрощаются.

#### 4. Расчет и конструирование призмы наклонного преобразователя

При конструировании наклонного преобразователя необходимо выбрать материал призмы, угол ее наклона и геометрические размеры. Материал призмы должен удовлетворять целому ряду требований [1]. В качестве материала призмы наиболее широко используют органическое стекло. Однако при конструировании преобразователя для контроля на частотах выше 5 МГц желательна его замена материалом с меньшим затуханием ультразвука. В низкочастотных преобразователях (меньше 1,5 МГц) желательна замена оргстекла материалом с большим затуханием ультразвука. Затухание ультразвука в пластмассах показано на рис.3. Скорость звука и импеданс приведены в [2], т.2, с.166.

Угол наклона призмы (угол падения)  $\alpha$  рассчитывается по углу ввода луча (углу преломления)  $\gamma$  из закона синусов

$$\sin \alpha / C_{np} = \sin \gamma / C,$$

где  $C_{np}$  и  $C$  - скорости волн в призме и изделии. Формулу связи  $\alpha$  и  $\gamma$  следует рассматривать как приближенную, поскольку под влиянием изменения условий преломления лучей угол максимума излучения иногда не соответствует расчетному (см. [1], раздел I, с.87-88 и [2], рис. 32).

Обычно задача формулируется таким образом, что надлежит выбрать некоторое оптимальное значение угла  $\gamma$ , а затем по нему определить  $\alpha$ . При этом нужно иметь в виду, что существуют области углов  $\alpha$ , наиболее употребительные в практике ультразвуковой дефектоскопии. Так, при контроле стальных изделий преобразователями с призмой из оргстекла со скоростью звука  $C_{np} = 2,64 \cdot 10^3 \text{ м/с}$  (см. [2], рис.18в) для возбуждения продольных волн под углом к поверхности используют призмы с углом не более 10-12°. В этом случае преломленная продольная волна в несколько раз превосходит поперечную, которая по этой причине почти не мешает контролю. Для возбуждения поперечных волн применяются призмы с углами больше первого (27°), но меньше второго критического (56°).

Следует иметь в виду, что, как отмечается в [1] (раздел I, с.86), лучи, выходящие из призмы, в дальнем поле распространя-

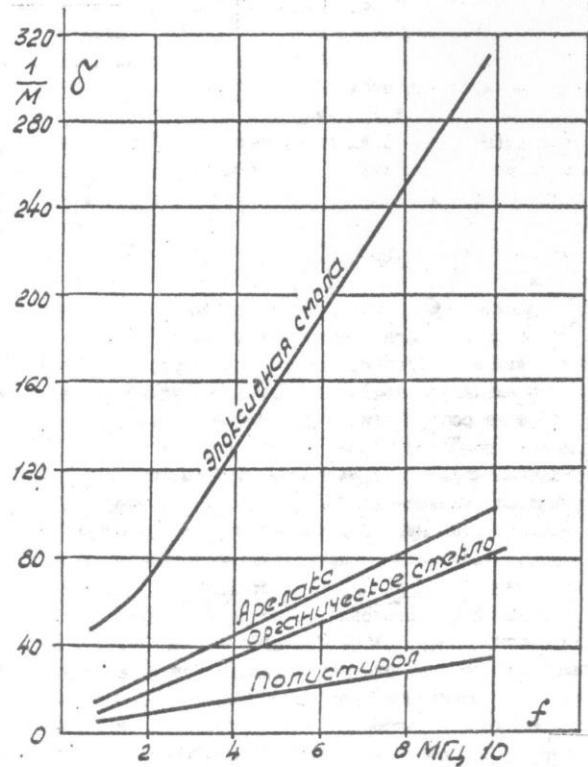


Рис. 3. Затухание ультразвука в пластмассах

ются в виде расходящегося пучка лучей, как будто образовавшегося еще в призме, хотя обычно путь в призме меньше длины ближней зоны искателя, и расхождения энергии в призме еще не происходит. Крайними лучами расходящегося пучка принято считать те, амплитуда которых уменьшается до 20 дБ по сравнению с центральным лучом-акустической осью.

Требование отсутствия мешающих волн с учетом расхождения пучка лучей дает дополнительные ограничения на выбор угла падения  $\alpha$ . Например, условие отсутствия продольной волны

$$\alpha - \alpha_1 > \arcsin(C_{np}/C_L)$$

Условие отсутствия поверхностной волны

$$\alpha + \alpha_1 \leq \arcsin(C_{np}/C_s),$$

где  $C_L$  и  $C_s$  - скорости продольной и поверхностной волн в изделии,  $\alpha_1$  - угол между акустической осью и крайним лучом.

Размеры и форма призмы /рис. 4 / выбираются такими, чтобы они обеспечивали отсутствие ложных импульсов. Для этого необходимо обеспечить, чтобы отраженные от поверхности призма-изделие ультразвуковые волны не попадали на пьезоэлемент. В ближнем поле пьезоэлемента излучаемую волну можно считать слабо расходящейся. Луч  $AA'$ , выходящий из нижней части пьезопластины после отражения от нижней /контактной/ поверхности призмы /с учетом трансформации/, не должен попадать на верхнюю часть пьезопластины. Луч  $BB'$ , выходящий из верхней части пьезопластины, не должен попадать на ребро двугранного угла. Эти условия можно выразить в виде неравенств

$$m = AD > \frac{2a \cos \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta_T)}, \quad C = OC > OB' = \frac{a}{\cos \alpha}$$

Все отраженные волны должны попадать в ловушку - верхнюю часть призмы и, испытывая в ней многократные отражения до возможного попадания на пьезоэлемент, должны ослабнуть вследствие затухания ультразвука не менее, чем на 60 дБ. Ослабление центрального луча в призме на пути от пьезопластины до изделия должно быть не более 10 дБ.

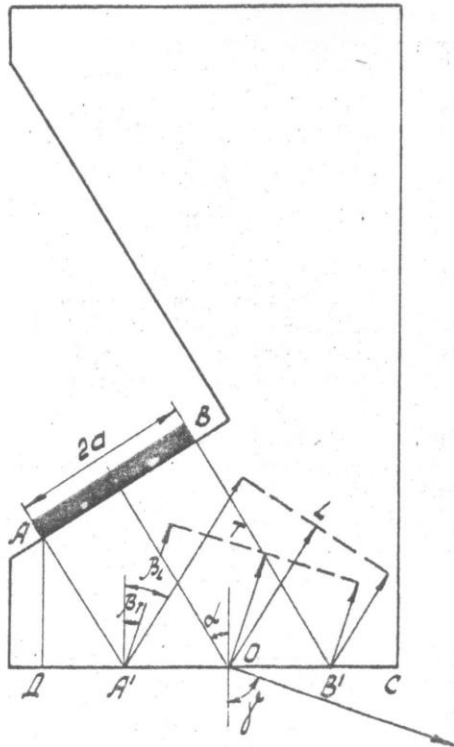


Рис. 4. Конструкция призмы

5. Выбор рабочей частоты

Выбор частоты ультразвуковых колебаний определяется целым рядом факторов. Увеличение частоты способствует повышению разрешающей способности, уменьшению мертвой зоны, снижению величины минимально выявляемых дефектов, повышению точности измерения расстояния. С другой стороны, это приводит к возрастанию затухания ультразвука и уменьшению толщины /а следовательно, прочности/ пьезопластины. Таким образом, чрезмерное увеличение частоты нежелательно, и при выборе частоты ограничиваются ее минимально необходимой величиной.

При проектировании импульсных приборов для достижения требуемой лучевой разрешающей способности или устранения интерференции от двух близко расположенных отражателей, например, границ слоя, необходимо, чтобы два следующие друг за другом импульса не налагались. Обычно в каждом импульсе имеется около четырех периодов колебаний с большой амплитудой, а амплитуда других колебаний существенно меньше. Импульсы фиксируются отдельно, если расстояние между одинаковыми отражателями вдоль луча  $\Delta z \gg 4\lambda/2$ . Однако, если отражатели разные и амплитуда одного импульса существенно больше другого, раздельная их фиксация будет достигаться, когда расстояние между отражателями  $\Delta z > 4\lambda$ .

При выборе частоты с точки зрения обеспечения высокой точности измерения импульсным эхо-методом расстояния  $h = ct/2$ , где  $t$  - время пробега импульса в изделии, пользуются формулой

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta t_{пр}}{t} + \frac{\Delta t_{ж}}{t} + \frac{\alpha T}{t}$$

Здесь  $\Delta t_{пр}/t$  определяет погрешность измерительного прибора

$$\Delta t/t \approx \Delta c/c \approx 1\%, \quad \Delta t_{ж} -$$

- вариация времени пробега в слое контактной жидкости, связанная с изменением его толщины  $\Delta h_{ж} \approx 0,1$  мм. При скорости  $c_{ж}$  звука в жидкости находим  $\Delta t/t = c_{ж} \Delta h_{ж} / ch \approx 4,0,1/h$  /h-в мм/.  $\alpha T/t$  - характеризует погрешность, связанную с длительностью импульса. Коэффициент  $\alpha$  определяет, на сколько периодов колебаний  $T$  /или долей периода/ можно обойтись при изме-



рени. В импульсных толщиномерах  $\alpha \approx 0,125$ . Переходя от  $t$  к  $h$ , находим

$$\alpha T/h = \alpha \lambda / 2h = \alpha C / 2fh.$$

С учетом заданной погрешности измерений и сделанных оценок находят частоту  $f$ , обеспечивающую требуемую точность.

При контроле изделий большой толщины чувствительность определяется как оптимальное значение, исходя из дифракционного расхождения ультразвуковых лучей и затухания ультразвука. Оба этих фактора также зависят от частоты.

При выборе частоты с точки зрения выявляемости минимальных дефектов следует учитывать, что, когда длина волны превосходит размер дефекта, амплитуда отраженного или экранированного сигнала уменьшается с уменьшением размера дефекта гораздо быстрее, чем для более коротких волн. Отсюда формулируется условие  $\lambda = \frac{c}{f} < d$ , где  $d$  - характеристический размер дефекта /в случае искусственного дефекта - это диаметр сферы, цилиндра, диска или ширина паза/.

В дальнейшем даются конкретные указания, какой фактор при выборе частоты наиболее важен для той или иной задачи, однако необходимо проверить выполнение других упомянутых условий, в частности, условия выявляемости минимального дефекта. Значение рабочей частоты в МГц должно равняться одному из чисел ряда, регламентированного ГОСТом: 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 7,5; 10; 15.

#### 6. Выбор зоны, шага сканирования и оценка производительности контроля

Сканирование поверхности объекта контроля должно обеспечить проверку ультразвуковым лучом всего объема металла. При контроле листов, например, зоной сканирования является вся поверхность листа. При контроле сварных швов преобразователь перемещается по основному металлу вблизи шва.

Схема контроля должна обеспечить проверку всего объема наплавленного металла шва ультразвуковыми лучами, распространяю-

щимися по разным направлениям (рис.5), чтобы повысить надежность выявления различно ориентированных дефектов. Для этого сварной шов проверяется с левой и правой сторон лучами, идущими от верхней и нижней поверхностей. Нижняя (корневая) часть шва проверяется прямым (т.е. непосредственно выходящим из призмы) лучом. Контроль верхней части шва (толщиной менее 150 мм) ведется лучом, отраженным от нижней поверхности. Более толстый шов рекомендуется прозвучивать только прямым лучом, для этого при контроле верхней части шва располагать преобразователь на нижней поверхности.

Зоны сканирования прямым и однократно отраженным лучом определяются геометрией распространения ультразвуковых лучей, которые должны охватить весь наплавленный металл шва. С учетом этого следует рассчитать положение линий, между которыми перемещается преобразователь по поверхности основного металла (см. [3], гл. VIII). Зона контроля прямым лучом ограничивается валиком усиления шва и линией на расстоянии  $L_1$  от ближнего к преобразователю края валика усиления, причем

$$L_1 = h \operatorname{tg} \gamma,$$

где  $h$  - толщина шва,  $\gamma$  - угол ввода (преломления) луча преобразователя. Аналогично рассчитываются расстояния  $L_2$  и  $L_4$  при прозвучивании однократно отраженным лучом (рис.5).

Шаг сканирования  $2l_m$  (см. [2], с. 216) определяется как расстояние между ближайшими траекториями перемещения преобразователя по поверхности изделия. Чем больше это расстояние, тем сильнее ослабляется чувствительность к дефектам, расположенным между траекториями перемещения преобразователя. Допустимое ослабление чувствительности задается величиной  $m < 1$ . Тогда шаг сканирования  $2l_m$  определяется как удвоенное расстояние от центра преобразователя по поверхности изделия до точечного дефекта, на котором амплитуда сигнала изменяется в  $m$  раз. Этот расчет выполняется по наиболее узкому участку акустического поля в пределах контролируемого объекта (см. [2], с. 184-187).

Пример! При контроле сварного шва, который располагается в дальней зоне преобразователя с диаметром пьезоэлемента  $2a$ , требуется рассчитать шаг для поперечного сканирования (см. [2], рис. 75). Известны длина волны  $\lambda$  и минимальное расстояние  $z$  между точками наплавленного металла и преобразователя, равное  $z$ .

По диаграмме на рис. 29 в [2] находят значение  $\alpha_k \sin \theta$ , соответствующее заданному  $m$ , далее с учетом того, что

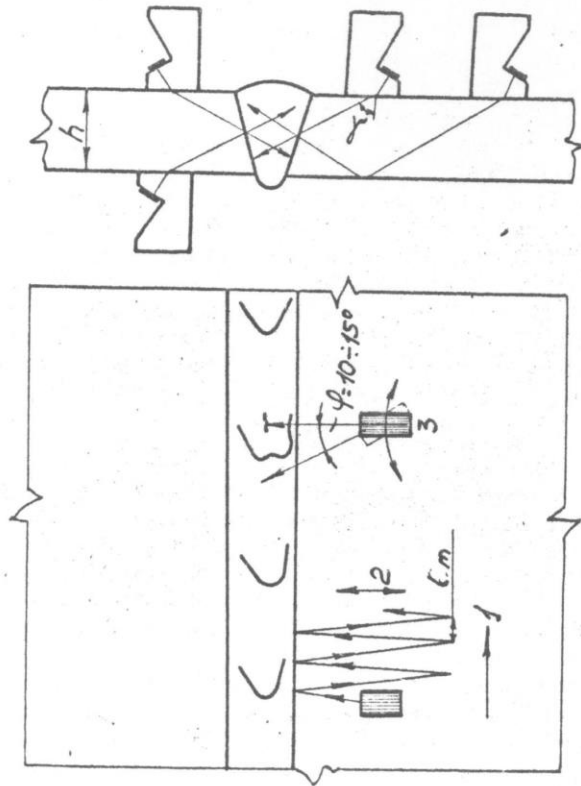


Рис. 5. Схема контроля сварного шва

$$a \sin \theta = \frac{2 \sigma a l_m}{\lambda z}$$

находят  $2 l_m$ .

Пример 2. Задано, что при контроле листа теньевым методом толщина  $h$  изделия составляет 1,5 ближней зоны преобразователя  $z_0$ . Требуется найти шаг сканирования  $2 l_m$  при  $m = 0,5$ .

Считаем дефект залегающим в средней части листа. В этом случае величина ослабления сигнала при контроле теньевым методом определяется по формуле, аналогичной выражению для акустического тракта эхо-метода, но расстояния для эхо-метода принимаются равными  $h/2$ . Воспользуемся рис. 30 [2] для значения  $z/z_0 = 0,8$  /так как оно примерно равно  $h/2 z_0 = 0,75$ /. Считая, что длительность импульса равна среднему значению, строим интерполяционную кривую в заштрихованной зоне графика. На уровне 0,5 от максимума ширина ее равна  $\rho/a = 0,5$ . Отсюда находим  $2 l_m = 2 \rho = a$ , т.е. шаг сканирования равен радиусу пьезопластины преобразователя.

Производительность контроля определяется шагом и скоростью перемещения преобразователя. Последняя определяется в соответствии с рекомендациями [2] /с. 216/. Вся контролируемая поверхность с требуемым шагом должна быть покрыта линией, показывающей перемещение центра преобразователя. Затем длина этой линии делится на скорость перемещения, что определяет время контроля.

Скорость перемещения преобразователя  $U$  при ручном контроле ограничивается физическими возможностями контролера. Ее следует принять 0,1 м/с. При автоматическом контроле она ограничивается частотой посылок импульсов  $N_n$  и инерционностью регистратора дефектов, определяемой числом импульсов  $N_p$ , от которого срабатывает регистратор. Считая, что контролируемая зона вдоль пути перемещения преобразователя  $l_n$  /для круглого преобразователя  $l_n = l_m$  /, находим

$$U = 2 l_n \frac{N_n}{N_p}$$

Если время контроля не удовлетворяет требованиям технического задания, может быть применен широкозахватный преобразователь, например, преобразователь с несколькими пьезоэлементами.

7. Расчет преобразователей для контроля сварных швов малой толщины

При контроле сварных швов толщиной не более 10-12 мм основная трудность состоит в выборе таких параметров преобразователя, которые обеспечивают надежную проверку сварного шва при минимальном уровне помех, связанных с отраженными от неровностей сварного шва. Задаются толщина сварного соединения  $h$  /ширина валика усиления также принимается равной  $h$  / и минимальный размер дефекта  $d$  /плоскостного отверстия/, который требуется выявить. Требуется рассчитать рабочую частоту  $f$ , угол наклона призмы  $\alpha$  и диаметр пьезоэлемента  $2a$ .

Контроль шва проводится прямым и однократно отраженным лучом /рис. 6/. При контроле корневой части шва в качестве ложного сигнала может регистрироваться отражение от провиса. Сигналы от дефектов отличаются от них по времени прихода. Для этого прибор должен обладать лучевой разрешающей способностью не хуже  $h/6$ . Из этого условия определяется нижний предел частоты. Значение частоты определяется также из условия: размеры дефектов, которые требуется выявить, должны быть больше длины волны ультразвука. Выбирается большее из двух найденных значений частоты. Окончательно рабочая частота выбирается, как ближайшее значение из стандартного ряда /см. табл. 5/, превосходящее найденную величину.

Определение угла наклона призмы искателя  $\alpha$  и размера пьезоэлемента  $2a$  выполняется из следующих двух условий: слой толщиной не менее  $h/3$  вблизи корня сварного шва должен контролироваться прямым лучом. Это условие записывается в виде неравенства

$$C + h/2 + \Delta g \leq \frac{2}{3} h \operatorname{tg} \gamma.$$

Добавка  $\Delta g \approx 1$  мм в левой части неравенства введена в качестве резервной. Стрела преобразователя  $C$  выбирается из условий на призму искателя, сформулированных в табл. 4, при этом необходимо предусмотреть резервное расстояние не менее 0,5 мм.

Не должны возбуждаться поперечные волны в изделии. Поскольку  $\alpha$  и  $\gamma$  связаны законом синусов, а величины  $C$  и  $\alpha_1$  зависят от размера пьезоэлемента  $2a$ , для выбора  $\alpha$  и  $2a$

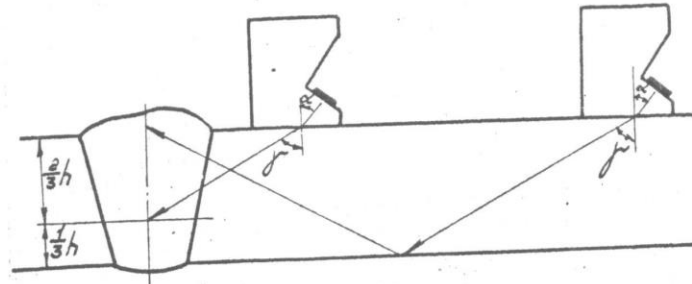


Рис. 6. Схема контроля тонкого сварного шва

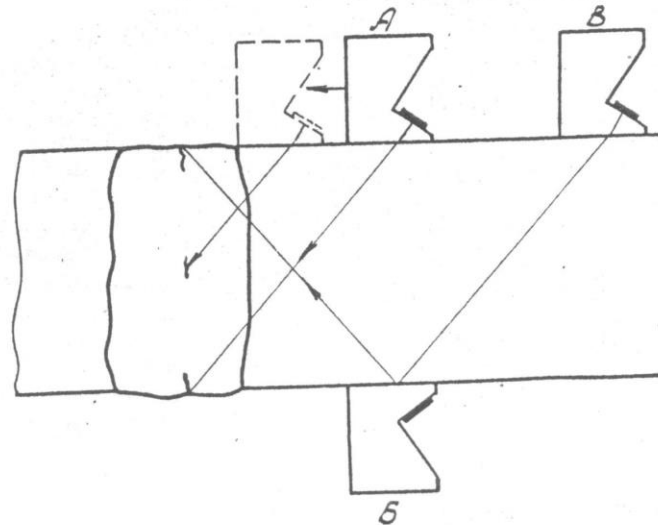


Рис. 7. Схема контроля сварного шва большой толщины

имеются два выражения, которые в процессе решения можно рассматривать как равенства. Решение системы рекомендуется выполнять методом подбора. При этом  $\alpha$  следует определить с точностью до градуса /оно лежит в интервале 50...56°, а  $a$  - с точностью до 0,5 мм /оно обычно лежит в интервале 2...4 мм/. После вычисления следует уточнить угол призмы  $\alpha$  с учетом экспериментальной зависимости  $\gamma$  от  $\alpha$  /см. [2], рис. 32/.

При контроле сварных швов малой толщины в качестве искусственного дефекта часто используется угловой отражатель типа "зарубка". С учетом выбранного угла призмы, руководствуясь справочником [2] /с. 205-208/, необходимо определить размеры зарубки, дающей такую же амплитуду сигнала, как и заданное плоскодонное отверстие диаметром  $a$ . Обратит внимание, что в [2] на рис. 54 по оси абсцисс отложен угол преломления.

8. Расчет параметров аппаратуры для контроля сварного шва большой толщины

При контроле сварных швов толщиной 100 мм и более /рис. 7 / ультразвук проходит большой путь в металле, что вызывает существенное ослабление чувствительности. Задаются средний размер  $\bar{D}$  зерна металла /низкоуглеродистой стали/, толщина  $h$  контролируемого шва, диаметр  $a$  плоскодонного отверстия, которое необходимо выявлять, и /в некоторых вариантах/ минимальная фронтальная разрешающая способность  $\Delta l$ . Необходимо выбрать угол наклона  $\alpha$  преобразователя, рассчитать рабочую частоту  $f$  и диаметр преобразователя  $2a$ .

Угол наклона призмы преобразователя  $\alpha$  выбирается равным 40°, если толщина шва меньше 150-200 мм и 35-30° для более толстых швов. Далее по закону синусов рассчитывается угол преломления /угол ввода/  $\gamma$ .

Расчет рабочей частоты выполняется из условия достижения максимальной амплитуды сигнала  $P'$  от дефекта. Ослабление зондирующего импульса в акустическом тракте прибора определяется формулой

$$\frac{P'}{P_0} = \bar{D} \frac{SS f^2 \cos \delta / \cos \alpha}{(\tau')^2 c^2} e^{-2(\delta z + \delta_{np} z_{np})}$$

где  $\bar{D}$  - коэффициент прохождения через границу плексиглас-сталь,  $z$  - путь ультразвука в изделии /следует брать его максимальное значение с учетом угла наклона искателя и схемы контроля/,  $z_{np}$  - средний путь в призме преобразователя,  $\tau'$  - приведенный путь от мнимой пьезопластины до дефекта /следует также брать его максимальное значение/,  $S'$  - площадь мнимой пьезопластины,  $S$  - площадь плоскодонного отражателя,  $C$  - скорость распространения ультразвука в изделии,  $\delta$  и  $\delta_{np}$  - затухание ультразвука в изделии и призме. Мнимая пьезопластина строится в соответствии с рекомендациями разд.2 Затухание в изделии определяется формулой

$$\delta = \delta_n + \delta_p = 0,1 f + 105 \bar{D}^3 f^4,$$

где первый член характеризует поглощение, а второй - рассеяние звука.  $\bar{D}$  берется в мм,  $f$  - в МГц, а  $\delta$  - в неперх/м.

Затухание ультразвука в призме происходит по линейному закону  $\delta_{np} = \alpha z$ , где коэффициент  $\alpha$  определяется из графиков рис. 3. В качестве материала призмы выбирается органическое стекло или арелакс. Путь ультразвука в призме  $z_{np}$  определяется аналитически или графически, исходя из конструкции призмы с учетом условий, отмеченных в рис.4. Размер пьезопластины выбирается для этого расчета с учетом рекомендаций [2], с. 232, табл. 19; впоследствии размеры пьезопластины уточняются.

Из формулы для  $P'/P_0$  видно, что повышение частоты уменьшает расхождение ультразвуковых лучей, но увеличивает затухание. Отсюда возникает необходимость вычисления оптимальной частоты. Проверяется, что найденное значение частоты обеспечивает условие: длина волны ультразвука меньше размера дефекта, который требуется выявить. Окончательное значение частоты выбирается из ряда значений /см. рис. 5/.

Уточненный диаметр пьезопластины выбирается наибольшим, исходя из двух условий: отношение сигнал - средний уровень структурных шумов больше 2 и достижение минимального /или заданного/ значения фронтальной разрешающей способности как при малых, так и

при больших расстояниях до дефекта.

Отношение сигнал - шум определяется путем деления выражения для  $P'/P_0$  на выражение для среднего уровня структурных шумов /помех/.

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{1}{2z'} \sqrt{\frac{\delta c \tau S'}{2\pi}} e^{-2(\delta z + \delta_{np} z_{np})}$$

где  $\tau \approx 3f^{-1}$  - длительность импульса.

Фронтальная разрешающая способность  $\Delta l$  для ближней зоны определяется формулой

$$\Delta l = (0,5 \dots 1) D,$$

а для дальней зоны

$$\Delta l = z\lambda/2a.$$

Здесь  $D = 2a$  - диаметр пьезопластины. Коэффициент 0,5 принимается для границ ближней зоны, а 1 - вблизи преобразователя. Совместное вычисление по этим двум формулам позволяет определить величину  $D$ , обеспечивающую фронтальную разрешающую способность. Если минимальное значение  $\Delta l$  задано, то следует проверить выполнение этого требования во всех зонах сварного шва и в случае необходимости скорректировать значение диаметра пьезопластины и частоты. Диаметр пластины выбирается, исходя из второго условия, и затем проверяется выполнение первого.

### 9. Расчет ультразвукового импульсного толщиномера

Рассчитываемый толщиномер предназначен для работы с раздельно-совмещенным преобразователем, что позволяет использовать его для контроля изделий как с гладкой, так и грубой внутренней поверхностью. Задача расчета преобразователя толщиномера заключается в выборе параметров, обеспечивающих максимальную равномерность чувствительности по глубине. Задаются минимальная  $h_{min}$  и максимальная  $h_{max}$  толщины контролируемых стальных изделий. Все геометрические размеры излучателя и приемника одинаковы. До-

пустимая неравномерность чувствительности по глубине - 20дБ. Требуется выбрать или рассчитать /рис. 8 / размеры пьезопластины  $2a$ , частоту  $f$ , углы наклона  $\alpha$ , высоту  $h_0$  призм и расстояние  $2g$  между ними.

Рабочая частота определяется из двух условий: отсутствия интерференции импульса в изделии и достижения требуемой точности измерения. В обоих случаях принимается значение  $h$ , соответствующее минимальной толщине, выполняется расчет с помощью формул разд. 5 по двум указанным критериям и частота выбирается из стандартного ряда, как ближайшее число, большее обоих найденных значений.

Далее при расчете воспользуемся способом введения мнимых излучателя  $S_1$  и приемника  $S_2$  согласно разд. 2. Тогда задача упрощается тем, что расчет выполняем для однородной среды. Затем по мнимым излучателю и приемнику построим действительные. Частота ультразвуковых колебаний выбирается такой, чтобы исключить интерференцию импульсов в изделии минимальной толщины. Расстояние  $h'_0$  от поверхности изделия до мнимых излучателя и приемника выбирается, исходя из условия, чтобы максимальное изменение расстояния до отражающей поверхности /при изменении толщины изделия/ вызывало изменение амплитуды сигнала не более, чем на 20 дБ. Амплитуда сигнала определяется формулой, выведенной в [4]

$$\frac{P'}{P_0} = \frac{S' \tilde{D}}{2\lambda z'} \cos \theta' \left[ \frac{\sin(\alpha' k \sin \theta')}{\alpha' k \sin \theta'} \right]^2.$$

Здесь  $S' = 4a'a$  - площадь мнимой пьезопластины /действительный пьезоэлемент выполняется обычно квадратным/,  $z'$  - расстояние от мнимых излучателя или приемника до точки отражения,  $\theta'$  - угол между акустической осью пластин и лучом, отражающимся от поверхности изделия толщиной  $h$ . Считая  $z'$  приближенно пропорциональным  $h$ , находим, что сформулированное условие выполняется, когда

$$\frac{h'_0 + h_{min}}{h'_0 + h_{max}} \geq 0,1.$$

Отсюда выбирается  $h'_0$ .

Далее выбираем углы призм. Расстояние между центрами излучателя и приемника  $2g$  должно быть не менее 8 мм, чтобы на призмах искателей могли разместиться пьезопластины, а между призмами-

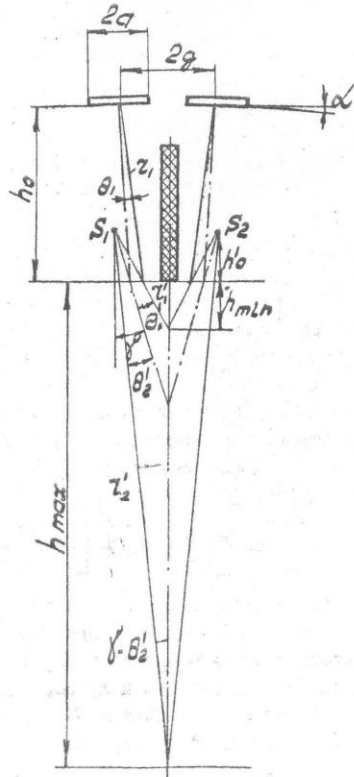


Рис. 8. Схема расчета раздельно-совмещенного преобразователя импульсного толщиномера

электро-акустический экран. Отсюда находим

$$\operatorname{tg}(\gamma + \theta'_1) = g / (h'_0 + h_{\min}),$$

$$\operatorname{tg}(\gamma - \theta'_2) = g / (h'_0 + h_{\max}),$$

где  $2\gamma$  - угол между акустическими осями искателей,  $\theta'_1$  и  $\theta'_2$  - минимальный и максимальный углы между акустической осью излучателя /или приемника/ и лучами, направленными в точку отражения при минимальной и максимальной толщине изделия. Из этих формул находим  $\gamma + \theta'_1$ ,  $\gamma - \theta'_2$ ,  $\theta'_1 + \theta'_2$ . Следует проверить, чтобы величина  $|\gamma + \theta'_1|$  не превосходила  $40^\circ$ , в противном случае в результате преломления на границе призмы с изделием образуется интенсивная поперечная волна. Если это условие не выполняется, нужно увеличить высоту  $h'_0$ .

При выборе угла  $\gamma$  воспользуемся следующим соображением. Как следует из формулы для  $P'/P_0$ , на амплитуду сигнала действуют три фактора /затухание ультразвука пока не учитываем/:

1/ ослабление сигнала при прохождении через границу призма-изделие, учитываемое коэффициентом прохождения  $\tilde{D}$ , который уменьшается с увеличением угла преломления для данного луча -  $\gamma \pm \theta'$  /эта зависимость дается на рис. 18 в [2], причем следует пользоваться шкалой для  $\gamma_L$ /;

2/ ослабление сигнала с расстоянием по закону

$$\frac{1}{r'} \approx \frac{\sin(\gamma \pm \theta')}{g};$$

3/ диаграмма направленности искателя

$$Q^2 = \left[ \frac{\sin(a'k \sin \theta')}{a'k \sin \theta'} \right]^2.$$

Рассмотрим, как меняется действие этих факторов с увеличением толщины изделия  $h$ . Обозначим через  $h''$  толщину изделия, соответствующую точке пересечения акустических осей, а соответствующую амплитуду сигнала через  $P''$ . Для  $h > h''$  второй и третий факторы приводят к уменьшению сигнала, а первый - к слабому увеличению. Для  $h < h''$  влияние третьего и первого факторов увеличивается с возрастанием  $h$ .

Для достижения максимальной равномерности чувствительности рационально оси преобразователя направить так, чтобы при  $h \approx h_{max}$  действие третьего фактора было минимально, т.е. величина

$$Q^2 \approx 0,8$$

для этого должно быть

$$a'k \sin \theta'_2 \leq \beta_1 \approx 0,75. \quad /ж/$$

При  $h < h''$  следует попытаться частично скомпенсировать влияние второго фактора за счет третьего и первого. Для этого следует приближенно рассчитать  $P'/P_0$  для  $h_{max}$  и  $h_{min}$  и приравнять их

$$\frac{P'}{P_0} \Big|_{h_{min}} = \frac{s' \tilde{D}(\gamma + \theta'_1) \sin(\gamma + \theta'_1)}{2 \lambda g} \left[ \frac{\sin(a'k \sin \theta'_1)}{a'k \sin \theta'_1} \right]^2,$$

$$\frac{P'}{P_0} \Big|_{h_{max}} = \frac{s' \tilde{D}(\gamma - \theta'_2) \sin(\gamma - \theta'_2)}{2 \lambda g} \cdot 0,8.$$

При этом предполагается, что  $\cos \theta' \approx 1$ .

Из равенства этих соотношений находим величину  $Q(a'k \sin \theta'_1)$  и затем  $a'k \sin \theta'_1$ . Для этого следует воспользоваться графиком рис. 29 из [2]. В результате находим равенство типа

$$a'k \sin \theta'_1 = \beta_2. \quad /жж/$$

Из формул /ж/, /жж/ и выражения для  $\theta'_1 + \theta'_2$  находим  $\theta'_1, \theta'_2$  и  $\gamma$ . Следующая операция - расчет  $a'$  из выражений /ж/ или /жж/. После этого необходимо вычислить ближнюю зону искателя  $(a')^2/\lambda$  и проверить, что она меньше  $(h_0 + h_{min})/\cos(\theta'_1 + \gamma)$ . В противном случае мы не имеем права пользоваться лучевым приближением при представлении поля преобразователя. Если ближняя зона велика, следует уменьшить размер пьезопластины.

По параметрам мнимого преобразователя  $a', h_0$  и углу  $\gamma$  следует рассчитать действительный преобразователь в соответствии с рекомендациями п. 2. Материал призмы выбирается с учетом рекомендации п. 4.

Далее следует построить графическую зависимость  $P'/P_0$  для значений  $h$  от  $h_{min}$  до  $h_{max}$  и оценить реальное изменение

этой величины при выбранных параметрах преобразователя. При этом нужно учесть затухание ультразвука в призме и изделии, считая, что материал изделия - сталь И5 с величиной зерна  $\bar{D} = 0,025$  мм /см. [2], рис. II/.

Построить структурную схему импульсного толщиномера и оценить погрешность измерения толщины в соответствии с рекомендациями § 5 [2], с. 236-240. При оценке погрешности учесть повышение точности, обеспечиваемое правильным выбором структурной схемы.

### 10. Расчет теневого дефектоскопа для контроля листов

Контроль листов теньевым методом осуществляется в иммерсионном варианте. Задаются минимальная  $h_{min}$  и максимальная  $h_{max}$  толщины контролируемого листа, диаметр  $a_{min}$  дефекта в виде полого диска, который необходимо выявлять в листе при произвольном его положении по толщине, минимальное ослабление сквозного сигнала дефектом  $K_g = (1 - R_r/P_c)$ , которое считается достаточным для его регистрации на фоне случайных изменений сквозного сигнала.

Требуется рассчитать диаметры  $D$  /или площади  $S$ / преобразователей, рабочую частоту  $f$ , толщину  $h_{ж}$  слоя контактной жидкости, расстояние  $H$  между преобразователями. Предварительный выбор частоты выполняется из соображений предотвращения интерференции в наиболее тонком слое. Минимальная толщина слоя контактной жидкости должна быть такой, чтобы в ней также не возникло интерференции ультразвуковых волн /см. раздел 5/.

Расстояние между излучателем и приемником  $H$  должно обеспечивать возможность контроля листов во всем диапазоне толщин. При всех этих расчетах следует предусмотреть изменения толщины листов в пределах допуска /обычно около  $\pm 10\%$ / и случайные смещения листа из среднего положения в процессе перемещения между преобразователями /также около  $10\%$ /. Например,  $H$  определяется из неравенства

$$H \geq (1,2 h_{max} + 2 h_{ж}).$$

Выбор размеров преобразователей и уточненное определение рабочей частоты выполняется, исходя из достижения требуемой чувствительности. Если лист тонкий /рис. 9а/, расстояние между излучателем и приемником заполнено преимущественно иммерсионной жидкостью /водой/. В этом случае достижение требуемой чувствительности оценивается, исходя из выявляемости дефекта в ближней зоне  $z_{\delta}$  искателя

$$P_T/P_C = 1 - (1...4) s/S, \quad /к/$$

где  $s$  - площадь дефекта,  $S$  - площадь искателя. Для надежного выявления дефекта принимаем коэффициент  $1...4$  равным  $1$ . Затем необходимо рассчитать ближнюю зону и проверить, что приведенное расстояние между преобразователями меньше удвоенной ближней зоны.

Уточнение выбора частоты /в сторону повышения/ производится на основе выявляемости дефекта при любой толщине листа и при любом положении дефекта в листе. Для этого следует обеспечить выявляемость дефекта в дальней зоне /рис. 9б/.

$$(1 - 4s/\lambda z_{max}) \leq P_T/P_C. \quad /жк/$$

Здесь  $z_{max}$  - приведенное расстояние между преобразователями, соответствующее максимальной толщине изделия

$$z_{max} = 1,1 h_{max} + \frac{C_{жк}}{C_{из}} (H - 1,1 h_{max}),$$

$C_{жк}$  и  $C_{из}$  - скорости распространения звука в жидкости и изделии,  $\lambda = C_{из}/f$ . Кроме этого, следует проверить, что выбор частоты обеспечивает условие: длина волны ультразвука меньше размера дефекта, который требуется выявлять. Окончательное значение частоты выбирается из размерного ряда /см. мзб. 5/. При расчетах по формулам /к/ и /жк/ следует принимать значения  $P_T/P_C$  на 10-20% меньше указанных в задании, чтобы гарантировать надежное выявление дефекта при разных вариантах его расположения относительно преобразователей.

В заключение по диаграммам /см. [2], рис. 63 и 64/ необходимо проверить, обеспечивается ли выявляемость дефекта при любых его положениях по толщине листа и любых толщинах изделия.

Для проверки этого следует по безразмерной АРД-диаграмме / [2], рис. 69а/ построить кривую размерной АРД-диаграммы, соответствующую заданным размерам дефекта, толщинам изделия /с учетом

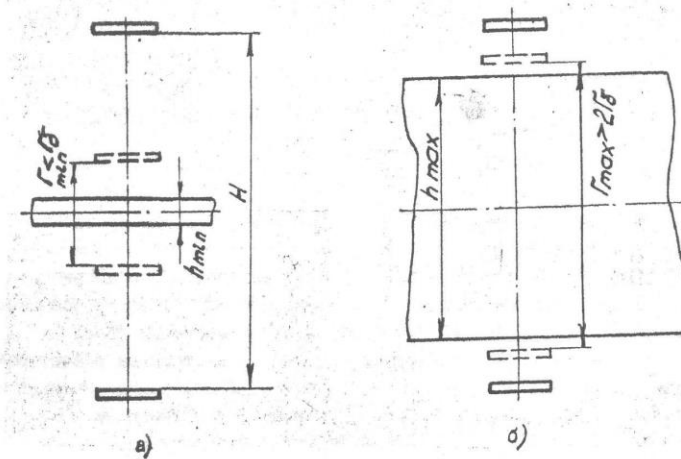


Рис. 9. Схема для расчета теневого дефектоскопа



жидкостной задержки/, а также выбранным размерам преобразователя и частоте. Рядом с кривой изобразить границы изменения ослабления сквозного сигнала в зависимости от возможного изменения положения дефекта по толщине изделия и случайного изменения положения изделия между преобразователями. Для надежного выявления дефекта вся найденная область ослабления сквозного сигнала должна лежать ниже значения  $P_T/P_C$ , указанного в задании. В случае, если это требование не выполняется, необходимо скорректировать выбор частоты и диаметра преобразователя.

## II. Требования к пояснительной записке и графической части проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Текст записки должен быть написан разборчиво, примерно на 20-30 листах бумаги стандартного формата /ГОСТ 2.301-68/ со строгим соблюдением требований к текстовой документации /ГОСТ 2.105-68 и ГОСТ 2.106-68/ и сброшюрован. Все страницы расчетно-пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию, начиная с титульного листа и включая все страницы с иллюстрациями.

Чертежи /не менее 2 листов формата А4/ могут быть выполнены в карандаше, но достаточно ярко. При написании записки и оформлении чертежей должны использоваться общепринятые технические термины и определения, все графические материалы должны соответствовать требованиям ЕСКД, все расчеты должны выполняться в системе СИ.

В расчетно-пояснительной записке ссылки на листы графической части не допускаются. Все пояснительные рисунки должны быть приведены в тексте записки.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать.

1. Титульный лист.
2. Задание на проект, подписанное преподавателем.
3. Основной текст, поясняющий содержание курсового проекта.
4. Заключение по проделанной работе.
5. Список использованной литературы.

Основной текст расчетно-пояснительной записки должен содержать:

- а/ постановку задачи;
- б/ теоретическую проработку исследуемого вопроса;
- в/ описание и обоснование выбранного технического решения, выбор и описание алгоритма или метода решения;
- г/ структурные или функциональные схемы, принципиальные схемы отдельных функциональных частей с необходимыми расчетами;
- д/ разработанную программу для ЭВМ;
- е/ описание проведенных экспериментов /если они выполнялись/;
- ж/ результаты расчетов на ЭВМ;
- з/ анализ полученных результатов;
- и/ необходимые иллюстрации, графики, диаграммы, схемы;
- к/ выводы.

При выполнении расчетной части проекта следует округлять получаемые численные значения до 2-3 знаков.

Графическая часть проекта должна содержать листы, поясняющие и иллюстрирующие существо проделанной работы:

- а/ структурные, функциональные, принципиальные схемы приборов и деталей;
- б/ структурные схемы алгоритмов;
- в/ конструкторскую документацию;
- г/ результаты расчетов и экспериментов.

Законченные проекты сдаются руководителю проекта за 2-3 дня до защиты.

Студенты защищают курсовой проект перед комиссией, состоящей из 2-3 преподавателей, один из которых - руководитель проекта.

Студент должен сделать в течение 8-10 минут доклад по существу проекта и ответить на вопросы членов комиссии. Оценка за курсовой проект присуждается с учетом качества выполнения и оформления проекта, степени самостоятельности при его выполнении и уровня защиты проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов И.Н. Электрофизические методы автоконтроля. Ч. П. Акустические методы. - М.: МЭИ, Раздел I - 1977. - 92с.; раздел П - 1978. - 82с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Ч. П, глава 12/Ред. В.В.Клюев. - М.: Машиностроение, 1976. - 326 с.
3. Гурвич А.Г., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. - Киев: Техника, 1972; - 460 с.
4. Ермолов И.Н., Роговский А.Г. Об акустическом тракте раздельно-совмещенного искателя. - М.: Дефектоскопия, 1971, № 3, с. 55-62.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Определение параметров импульсного ультразвукового дефектоскопа . . . . .	4
2. Оценка влияния параметров акустического тракта при эхо- и теневом методах контроля . . . . .	9
3. Расчет чувствительности и ширины полосы пропускания преобразователей импульсных приборов . . . . .	II
4. Расчет и конструирование призм наклонного преобразователя . . . . .	13
5. Выбор рабочей частоты . . . . .	17
6. Выбор зоны, шага сканирования и оценка производительности контроля . . . . .	18
7. Расчет преобразователей для контроля сварных швов малой толщины . . . . .	22
8. Расчет параметров аппаратуры для контроля сварного шва большой толщины . . . . .	24
9. Расчет ультразвукового импульсного толщиномера. . . . .	26
10. Расчет теневого дефектоскопа для контроля листов. . . . .	31
II. Требования к пояснительной записке и графической части проекта . . . . .	34
Литература . . . . .	36