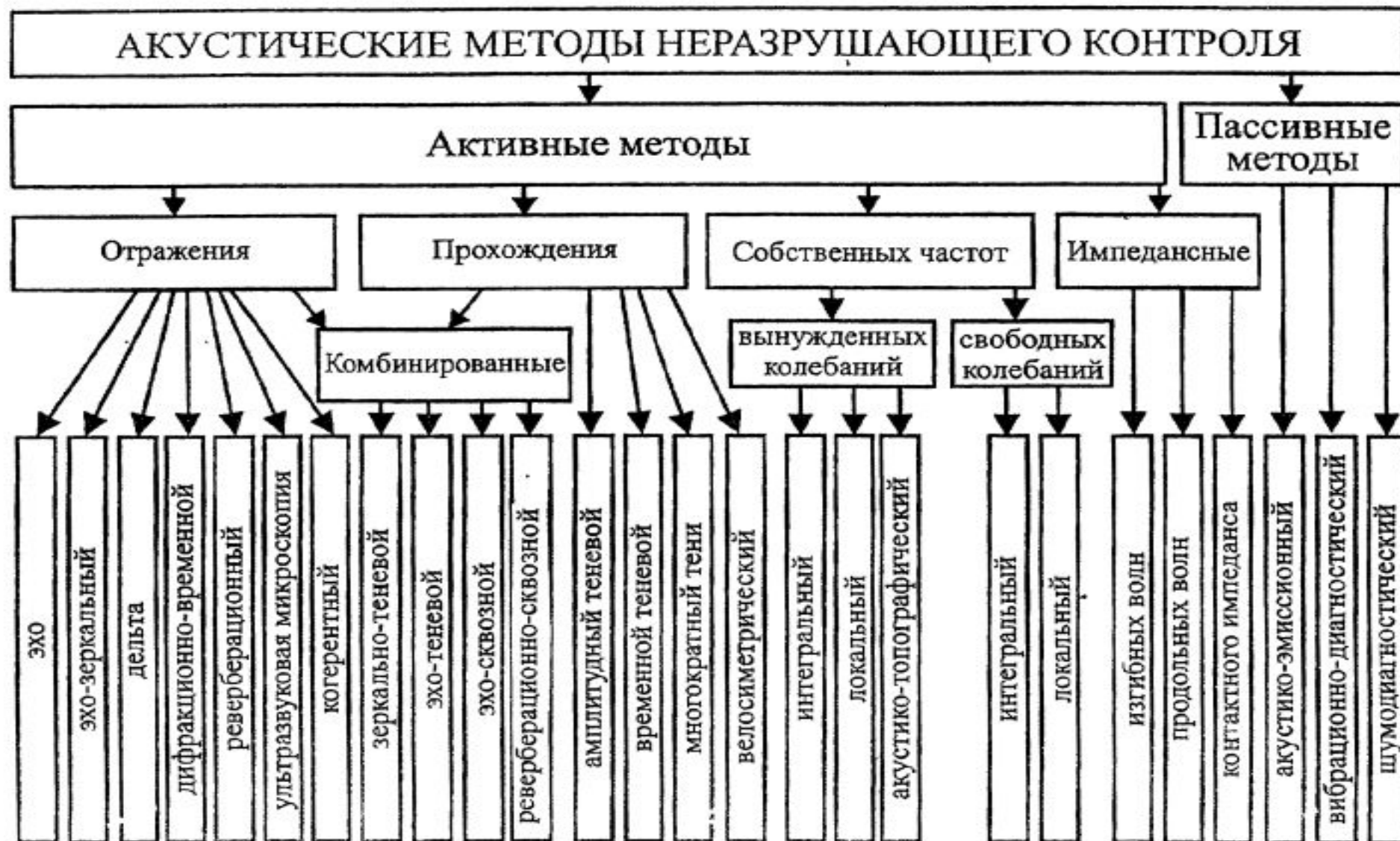


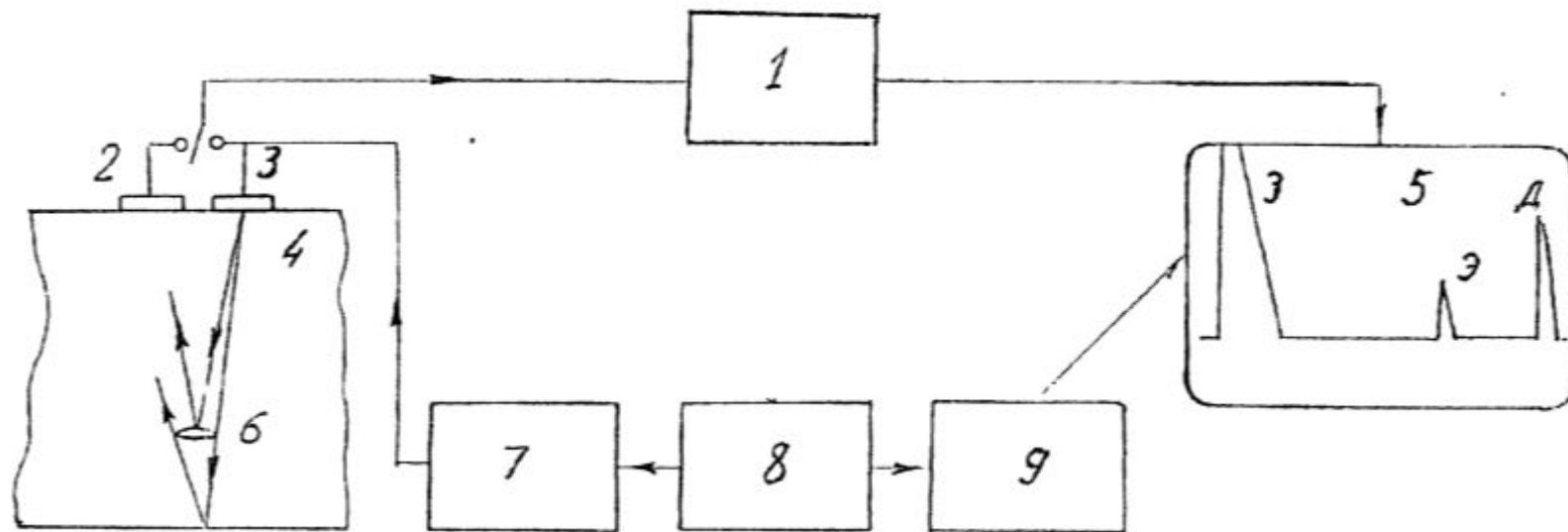
ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ (УЗК)

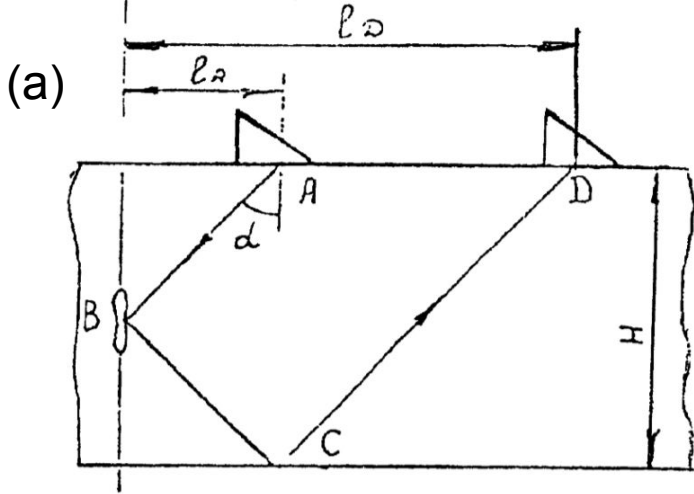
1. Классификация методов УЗК



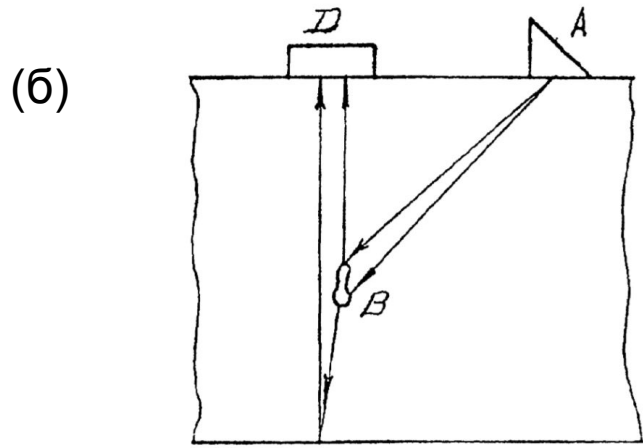
1.1 Методы отражения

Эхо метод – основан на отражении УЗВ от дефекта (рис. 1.2).

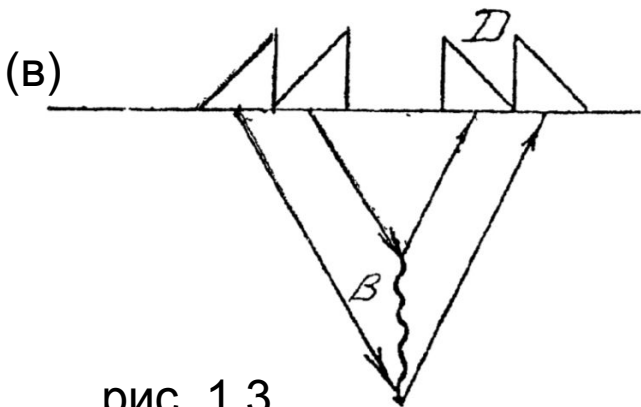




Эхозеркальный метод основан на анализе акустических импульсов, зеркально отраженных от донной поверхности ОК и дефекта B , т. е. прошедшие путь $ABCD$ (рис. 1.3,а). Вариант этого метода, рассчитанный на выявление вертикальных дефектов, называют методом тандем. Для его реализации при перемещении преобразователей A и D поддерживают постоянным значение $l_A + l_D = 2H \operatorname{tg} \alpha$, где H - толщина ОК. Для получения зеркального отражения от неперпендикулярных дефектов значение $l_A + l_D$ варьируют.



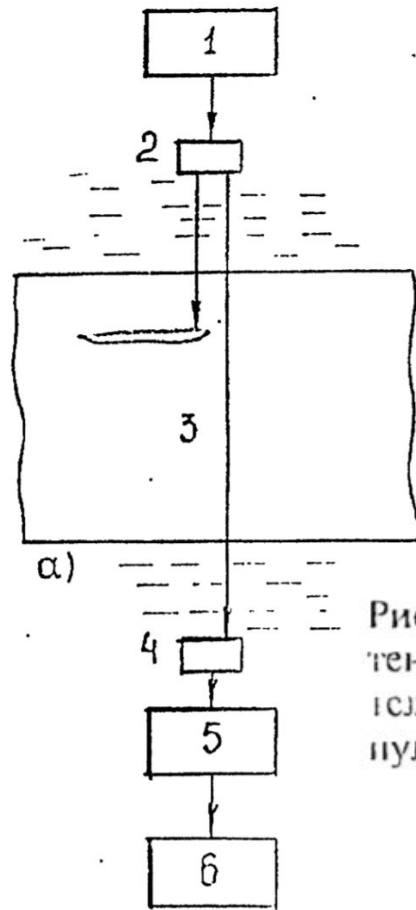
Дельта-метод (рис. 1.3,б) основан на использовании дифракции волн на дефекте. Часть падающей на дефект B поперечной волны от излучателя A рассеивается во все стороны на краях дефекта, причем частично превращается в продольную волну. Часть этих волн принимается приемником продольных волн D , расположенным над дефектом, а часть отражается от донной поверхности и также поступает на приемник. Варианты этого метода предполагают возможность перемещения приемника D по поверхности, изменения типов излучаемых и принимаемых волн.



Дифракционно-временной метод (рис. 1.3,в) основан на приеме волн, возникающих в результате рассеяния на верхнем и нижнем кончиках дефекта, причем обычно излучаются и принимаются продольные волны, так как соответствующие импульсы приходят раньше, чем для поперечных волн. Разделение излучателя и приемника дает возможность со значительно более высокой чувствительностью регистрировать волны, рассеянных на концах дефекта типа трещины или непровара, чем в случае применения совмещенной схемы контроля.

рис. 1.3

1.2 Методы прохождения

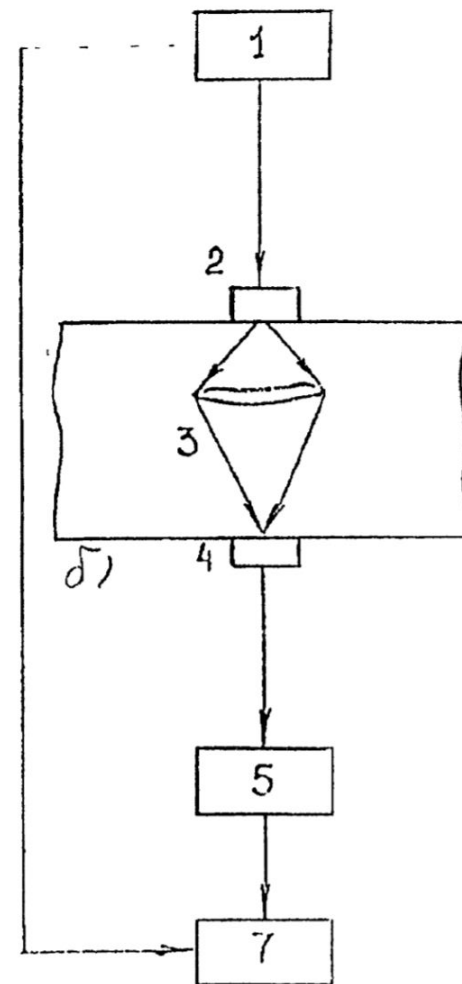


1. Теневой (или амплитудно-теневой) метод основан на регистрации уменьшения амплитуды прошедшей волны (сквозного сигнала) под влиянием дефекта (рис. 1.4,а).

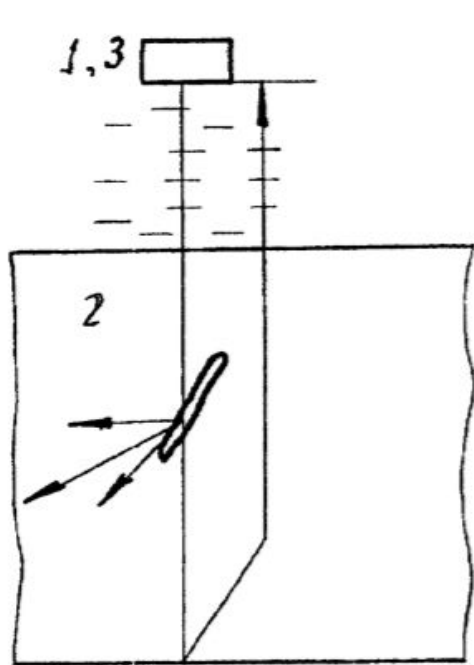
Метод применяют для контроля изделий простой формы (например, листов) и многослойных объектов, в которых многократные отражения между слоями мешают использовать эхо-метод.

Рис. 1.4. Методы прохождения: а - амплитудно-теневой, б - временной теневой; 1 - генератор, 2 - излучатель, 3 - ОК, 4 - приемник, 5 - усилитель, 6 - измеритель амплитуды, 7 - измеритель времени прихода импульса

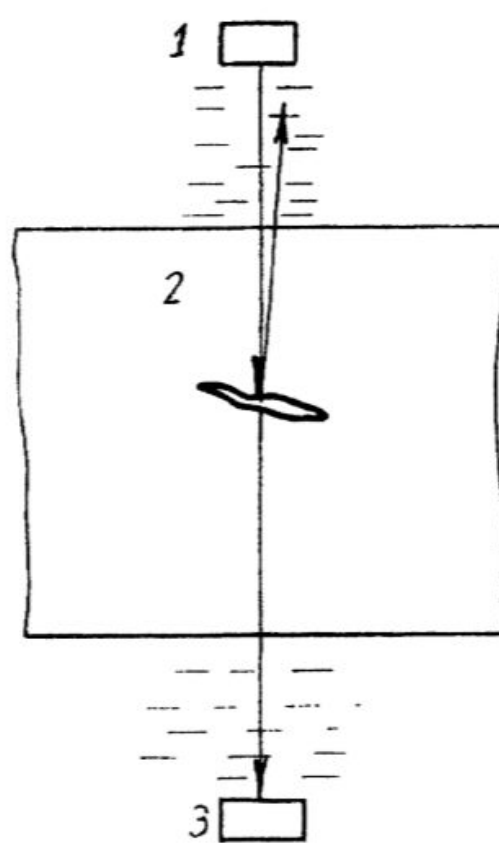
2. К методам прохождения кроме теневого относят временной теневой метод (рис. 1.4,б), основанный на измерении запаздывания импульса, вызванного огибанием дефекта. В этом случае информационным параметром будет время прихода сигнала. Метод эффективен при контроле материалов с большим рассеянием УЗ.



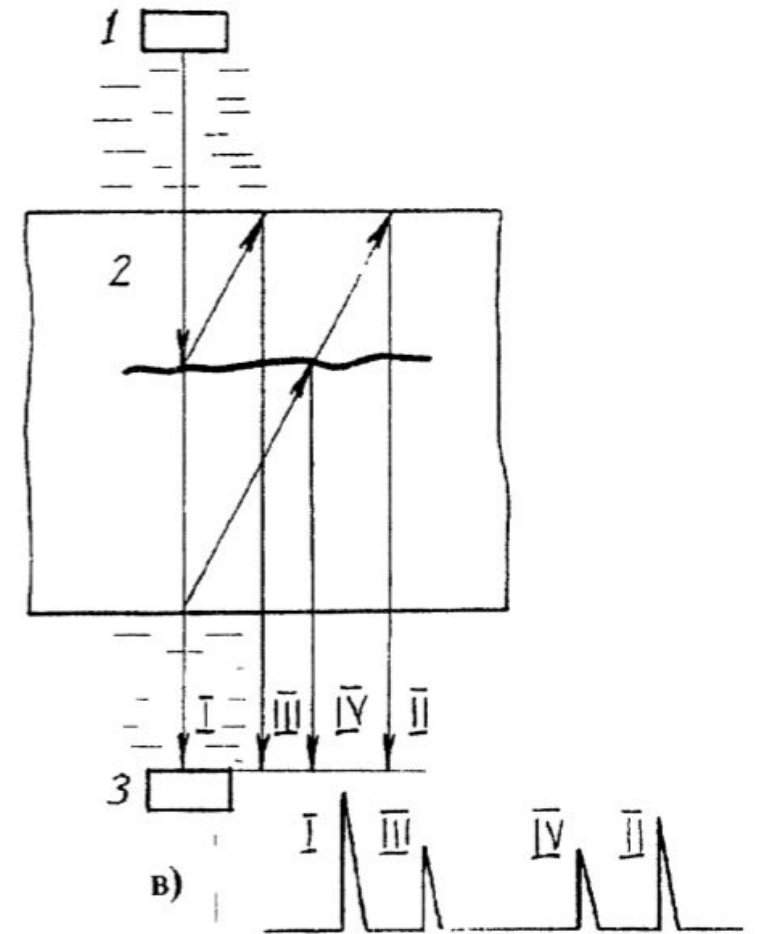
1.3 Комбинированные методы



а)



б)



в)

1.5 Комбинированные метода а) зеркально- теневой, б) эхо – теневой, в) сквозной
1- измеритель 2-объект контроля 3- приемник

ПРИЕМ И ИЗЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН

1. Пьезоэлектрический

Прямой пьезоэлектрический эффект – это преобразование акустических колебаний в электрический сигнал используется для регистрация акустических волн.

Обратный пьезоэлектрический эффект – это преобразование электрического сигнала в акустические колебания используется для излучения акустических волн.

Пьезоэлектрическим эффектом прямым и обратным обладают материалы из класса диэлектриков – пьезоэлектрики.

Механизм пьезоэффекта можно пояснить на примере кристалла кварца (1.1), элементарная ячейка которого содержит три молекулы SiO_2 и схематично показана на рис. 1.2. При сжатии вдоль оси X положительный ион 1 (Si^+) и отрицательный ион 2 (O^-) перемещаются вглубь ячейки, в результате чего на выделенных на рисунке плоскостях появляются заряды. При растяжении на этих плоскостях возникают заряды противоположного знака.

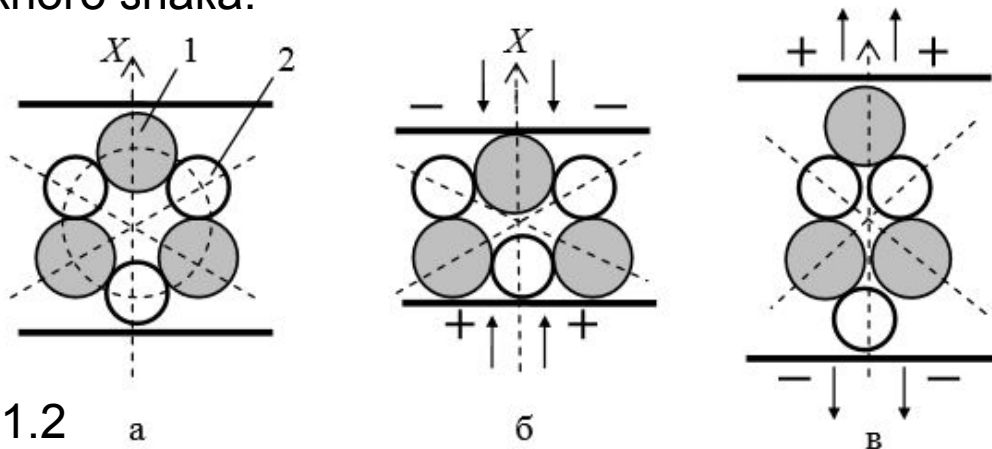


Рис.1.2

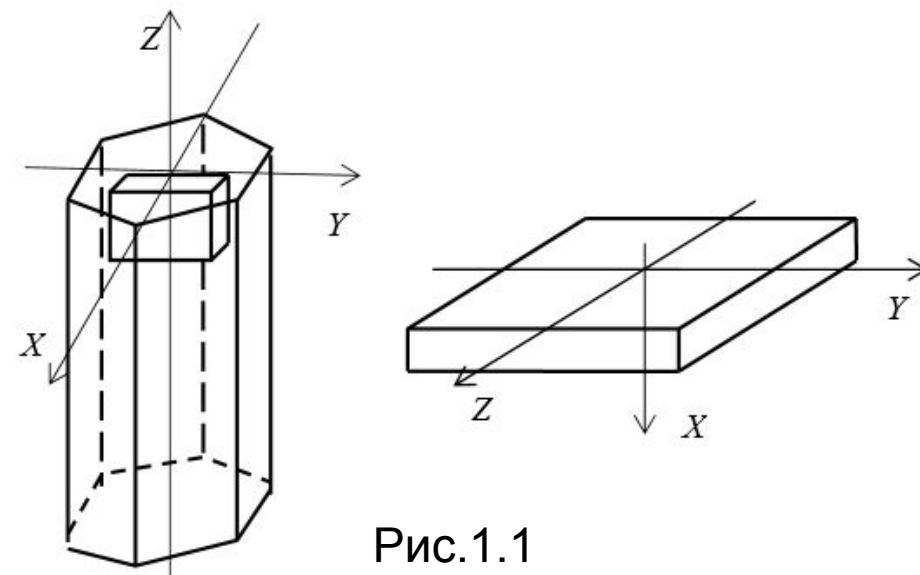


Рис.1.1

а – недеформированное состояние;
б - сжатие вдоль оси X ;
в – растяжение вдоль оси X

2. Пьезоэлектрические преобразователи

Наибольшая амплитуда колебаний пьезопластинки будет при резонансе. Для продольных волн для пластинки толщины l должно укладываться нечетное число длин полуволн $l = n \frac{\lambda}{2}$.

$$f = \frac{n V_l}{2l}.$$

Тогда формула для расчета частоты пьезорезонанс

Пьезоэлектрический преобразователь представляет собой пластинку пьезоэлектрического кристалла толщиной от четверти до половины длины волны с двумя металлизированными поверхностями. Существенным фактором, определяющим эффективность работы пьезоэлектрических излучателей, является согласование их со средой и создание однонаправленного излучения. Первое решается использованием четвертьволновых согласующих слоев. Второе – использованием поглощающего или отражающего слоя с нерабочей стороны устройства (рис.1.3).

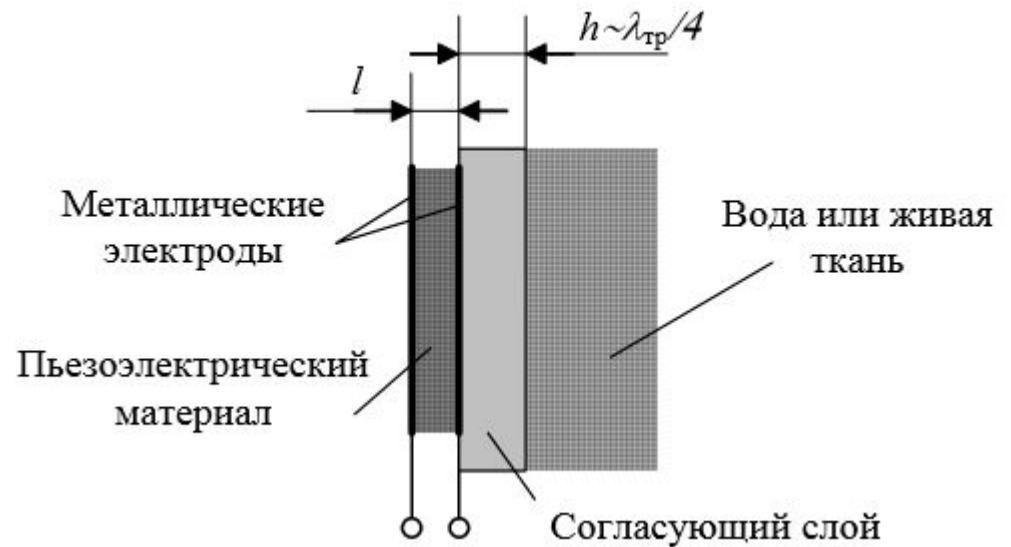
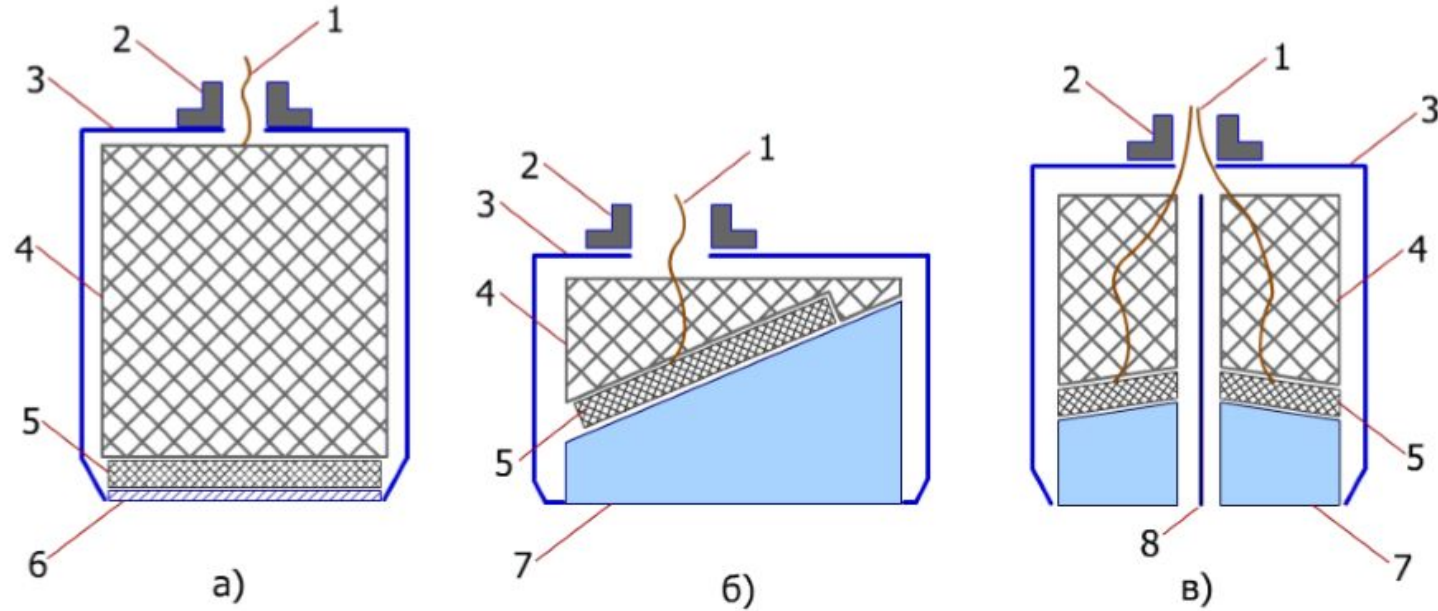


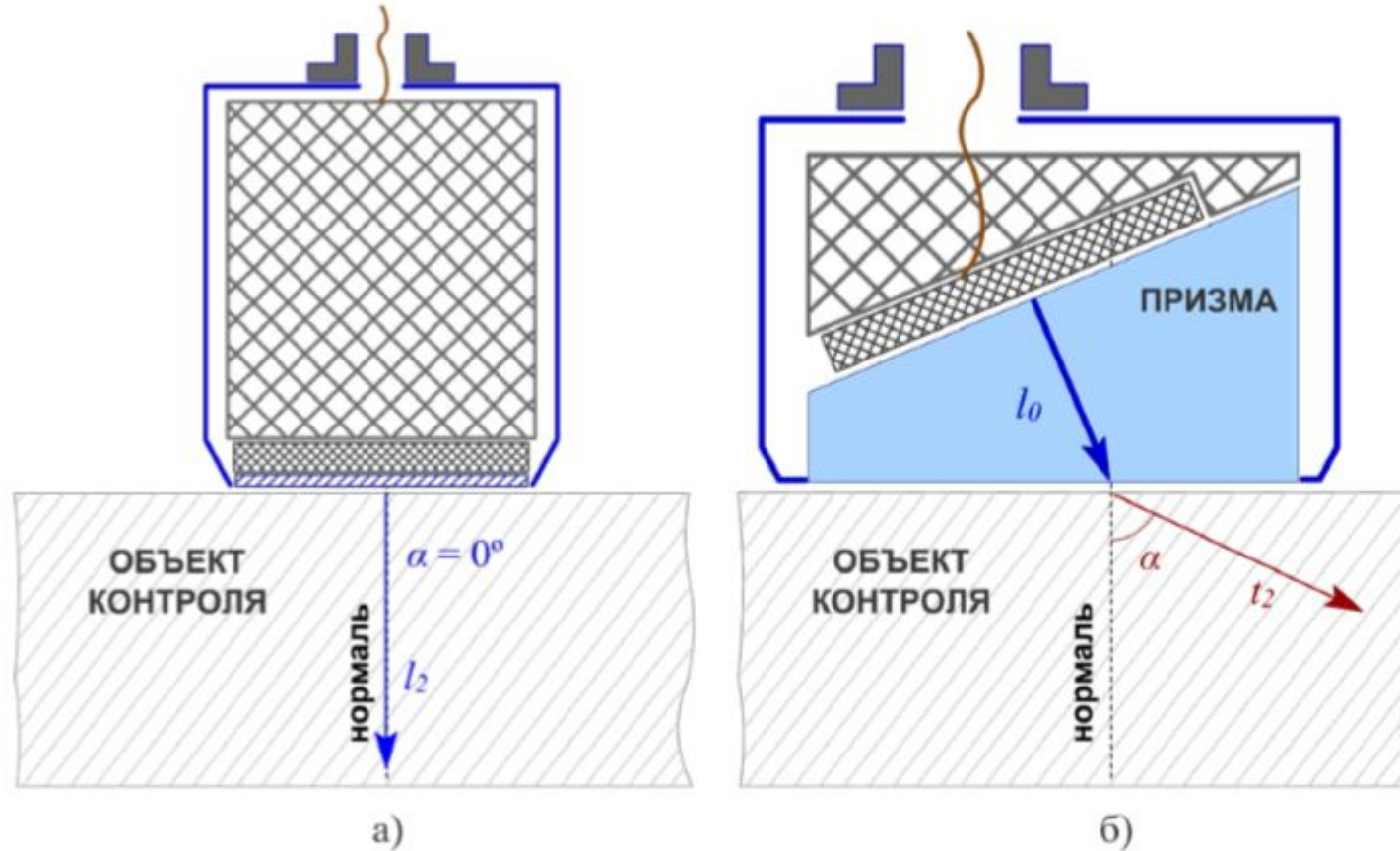
Рис.1.3 Схема ПЭП

2.1 Конструкция пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП)



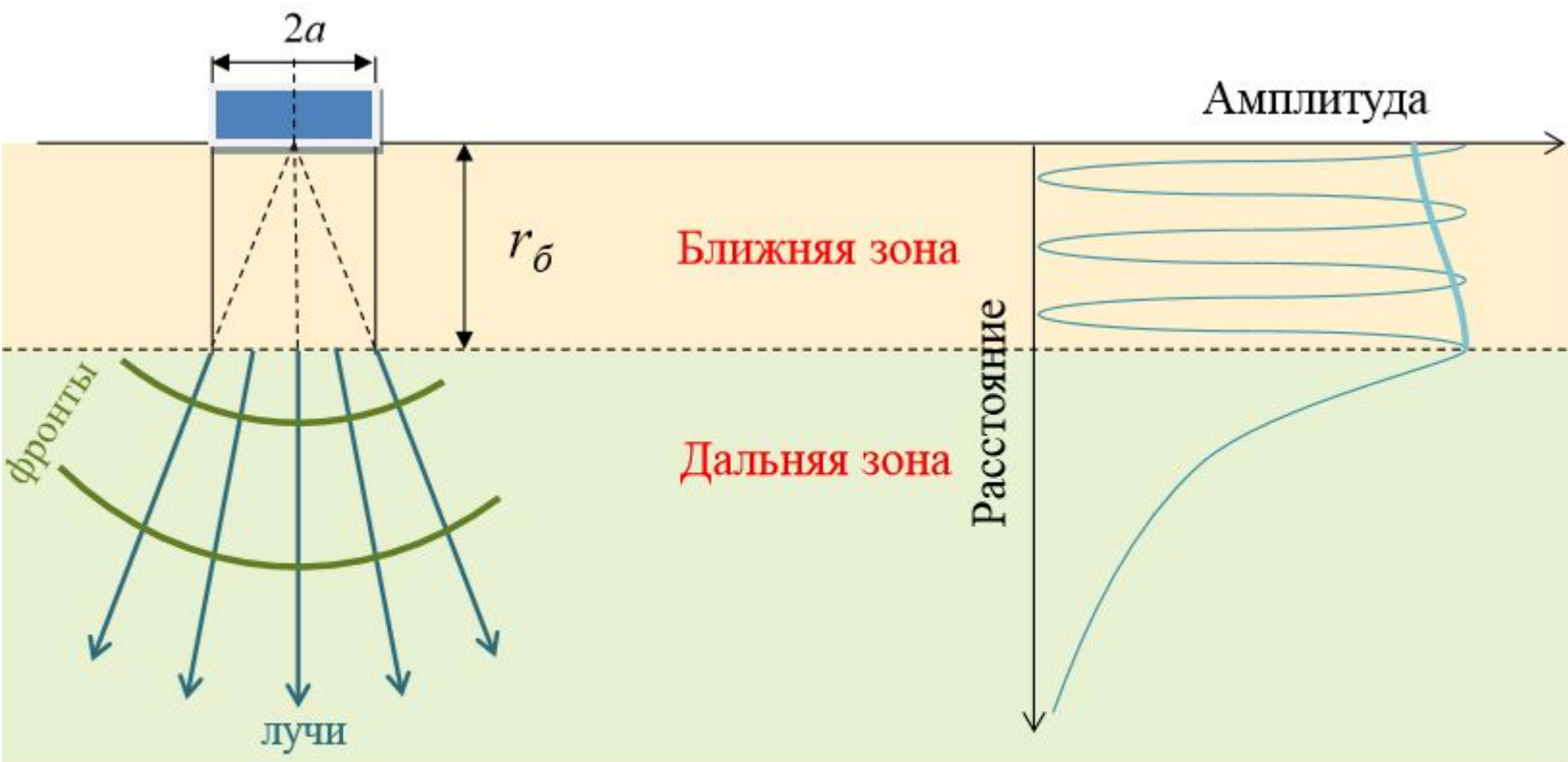
- 1 – электрические выводы соединяют грани пьезопластины с разъемом (2) на корпусе (3);
2 – разъем предназначен для подключения ПЭП к дефектоскопу с помощью коаксиального кабеля;
3 – корпус обеспечивает целостность конструкции и защиту ПЭП;
4 – демпфер, изготовленный из материала поглощающего ультразвуковые колебания, приклеивается к пьезопластине и гасит ее свободные колебания;
5 – пьезопластина преобразует акустические колебания в электрический сигнал и обратно;
6 – протектор прямого ПЭП расположен между объектом контроля и пьезопластиной и предназначен для ее защиты;
7 – призма наклонного преобразователя обеспечивает на границе с объектом контроля трансформацию продольных волн в поперечные и их наклонный ввод;
8 – экран в раздельно-совмещенном преобразователе предотвращает прохождение ультразвука напрямую от источника к приемнику.

Прямой совмещенный ПЭП (рис. 1.5, а) излучает и принимает продольные волны, которые распространяются вдоль нормали к поверхности перпендикулярно поверхности ввода. Наклонный совмещенный ПЭП (рис. 1.5, б) излучает и принимает поперечные волны, которые распространяются под углом α к нормали. Наклонный ввод поперечных волн обеспечивается с помощью призмы



2.2 Акустическое поле ПЭП

Излучаемые ПЭП волны распределены в пространстве неравномерно. Для описания углового распределения энергии волны вводят понятие акустического поля. Акустические поля вблизи ПЭП и на удалении от него существенно отличаются.



Акустическое поле ПЭП в ближней и дальней зонах

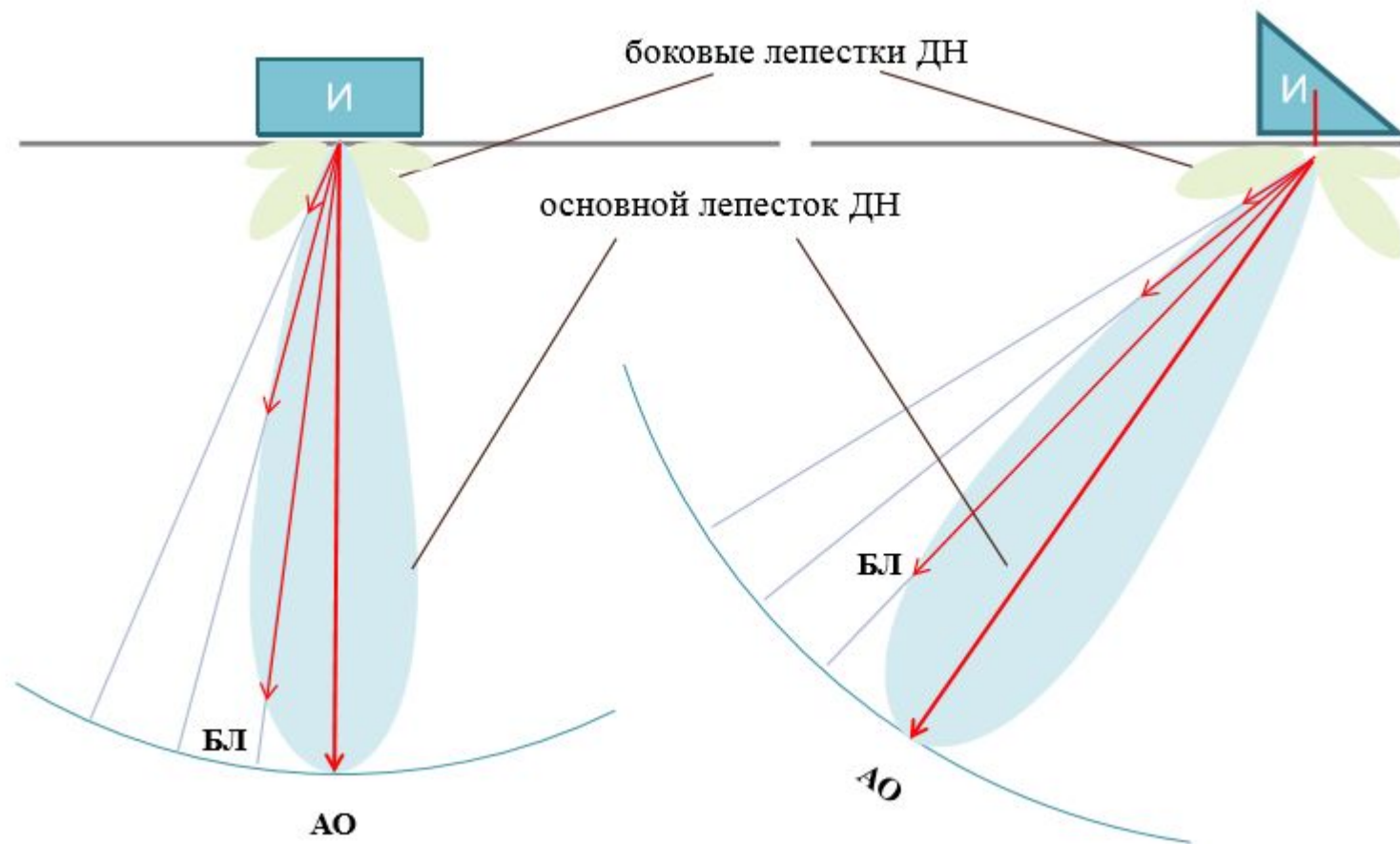
Зависимость амплитуды колебаний от расстояния в ближней и дальней зонах

Ближняя зона – это область объекта контроля вблизи источника волны, в которой наблюдается немонотонное изменение амплитуды колебаний (стоячих волн), связанное с интерференцией волн от разных частей ПЭП.

Дальняя зона – это область ОК вдали от источника волны в которой распространяется бегущая волна с цилиндрическим (сферическим) фронтом. Амплитуда волны монотонно убывает из-за расхождения лучей от источника.

Рис. 1.6 – Ближняя и дальняя зона ПЭП

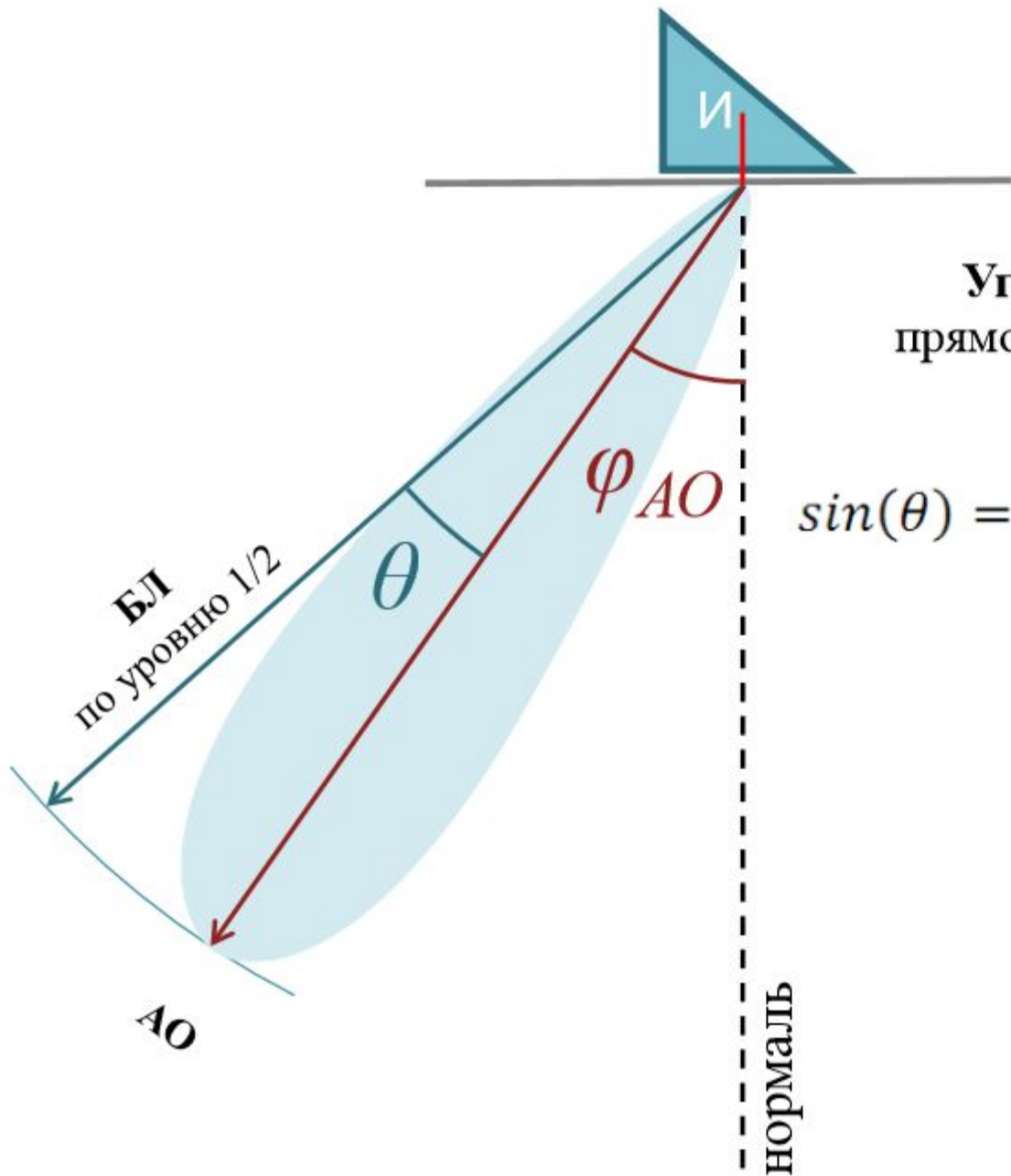
В дальней (волновой) зоне угловое распределение амплитуды волны описывается диаграммой направленности (рис. 1.7). На диаграмме направленности выделяют основной лепесток (85% всей энергии излучения) и боковые лепестки (15% всей энергии излучения). Технологию контроля разрабатывают таким образом, что бы дефекты выявлялись основным лепестком.



1.7 – Диаграмма направленности прямого и наклонного ПЭП

АО – акустическая ось

БЛ – боковые лучи



Угол раскрытия ДН
 прямого ПЭП с круглой ПП
 без протектора:

$$\sin(\theta) = 0,61 \cdot \frac{\lambda}{a} = 0,61 \cdot \frac{c}{f \cdot a}$$

Угол наклона акустической оси $\varphi_{АО}$ (рис. 1.8) определяется углом призмы и отношением скоростей волн в призме и в объекте контроля. Угол раскрытия диаграммы направленности θ зависит от длины волны в объекте контроля, радиуса пьезопластины, угла призмы, скоростей ультразвуковых волн.

Рис. 1.8 – Параметры диаграммы направленности (ДН)

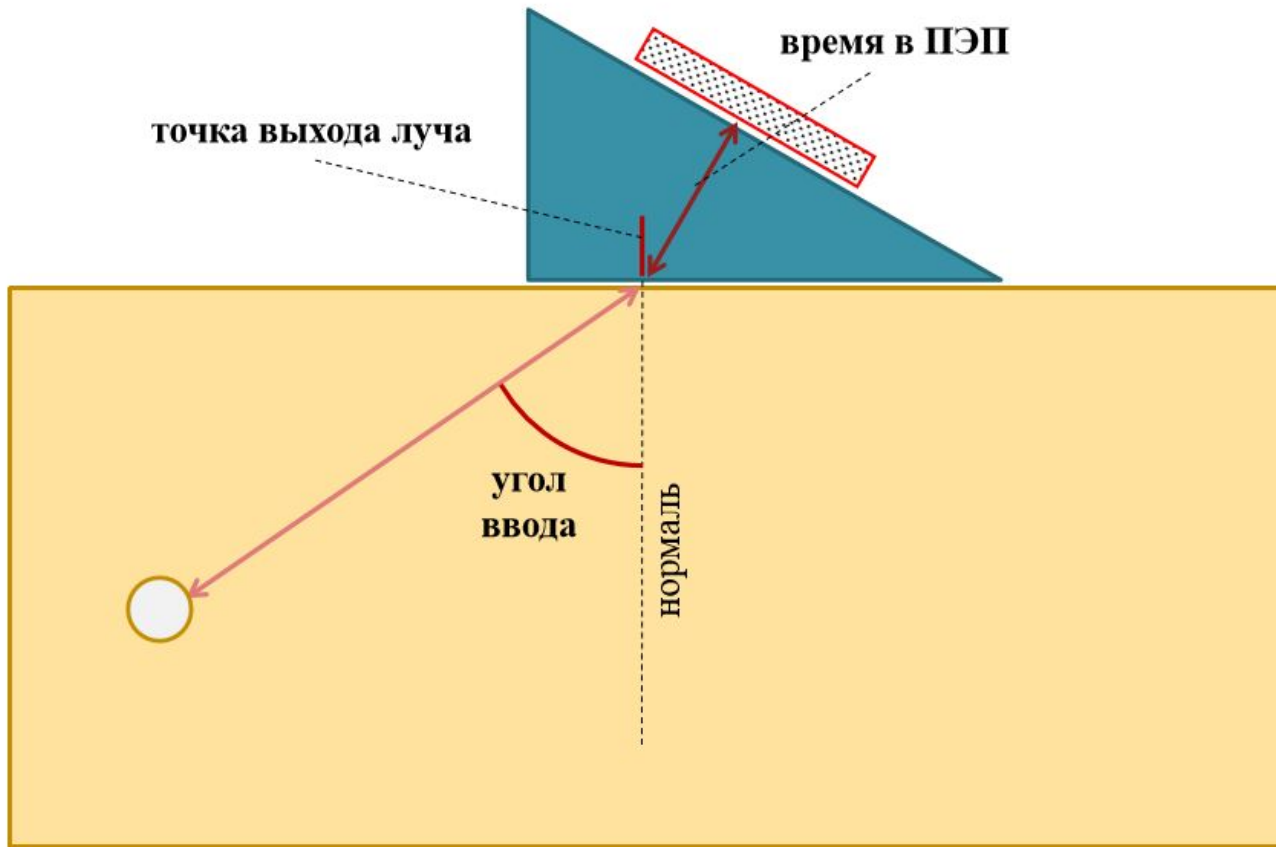


Рис. 1.9 – Параметры ПЭП, используемые для настройки дефектоскопа

Точка выхода луча (рис. 3.9) – это условная точка на поверхности преобразователя, из которой выходит расходящийся пучок лучей. Точка выхода луча наклонных ПЭП обозначается на боковой поверхности риски. Контроль точки выхода луча проводят на стандартном образце СО-3 или СО-3Р по боковой цилиндрической поверхности.

Время ПЭП – это время задержки волны, связанное с распространением волны в призме и протекторе ПЭП.

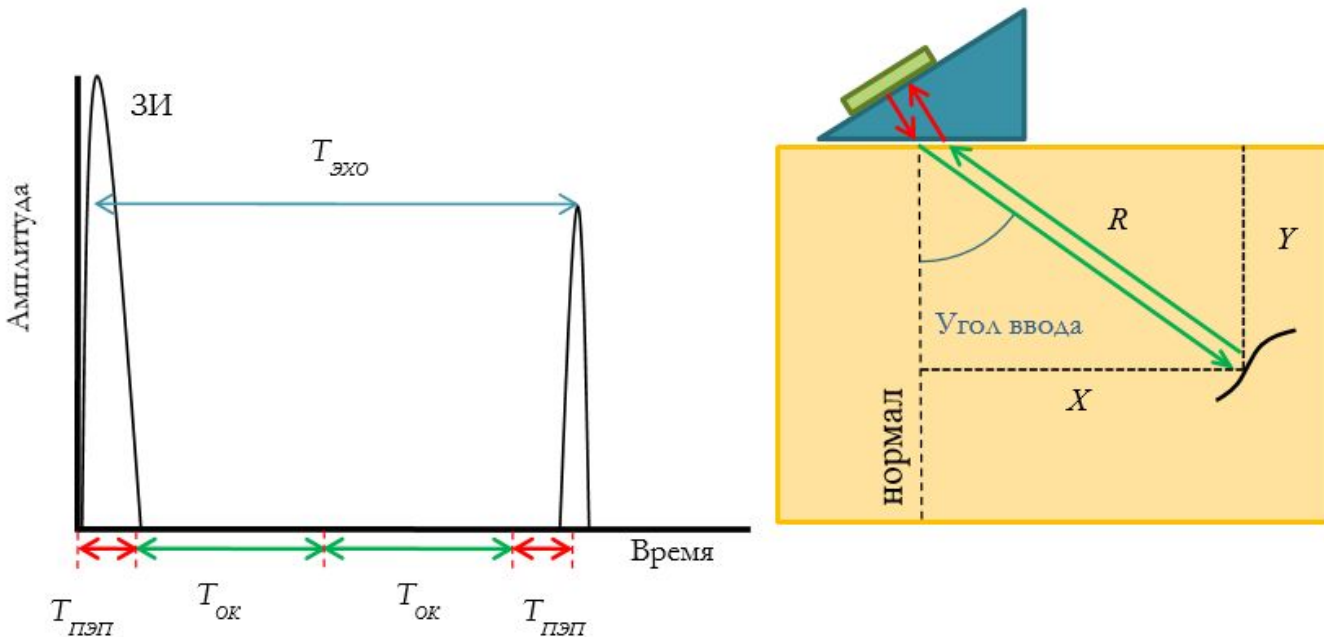
Угол ввода – это угол между нормалью к поверхности и линией, соединяющей центр ненаправленного (округлого отражателя) с точкой выхода луча в положении максимальной амплитуды эхо-сигнала от ненаправленного отражателя. Угол ввода указывается в маркировке преобразователя и проверяется при настройке на стандартном образце СО-2 или СО-3Р по боковому цилиндрическому отверстию диаметром 6 мм на глубине 44 мм. Угол ввода приблизительно равен углу наклона акустической оси, но всегда меньше его.

3 Измеряемые характеристики дефектов

Координаты дефекта	Глубина залегания дефекта , Y , мм Расстояние до дефекта по поверхности ввода, X , мм Расстояние до дефекта по лучу, R , мм
Амплитудные характеристики	Амплитуда, N , дБ Коэффициент выявляемости, K_D , дБ Эквивалентная площадь, $S_{\text{Э}}$, мм ²
Условные размеры	Условная граница дефекта Условная ширина, ΔX , мм Условная протяженность, ΔL , мм Условная высота, ΔY , мм
Форма дефекта	Коэффициент формы дефекта, K_D Компактный и протяженный Округлый и плоскостной

3.1 Координаты дефекта

Для определения координат дефекта, дефектоскоп использует измерение времени между моментом генерации зондирующего импульса и моментом прихода эхо-импульса ($T_{\text{эхо}}$), как следствие отражения от дефекта



Расстояние до дефекта по лучу можно рассчитать по формуле:

$$R = \frac{C \cdot (T_{\text{эхо}} - 2 \cdot T_{\text{пэп}})}{2}$$

Для нахождения глубины залегания и расстояния до дефекта по поверхности ввода необходимо воспользоваться значением угла ввода (α):

$$Y = R \cdot \cos(\alpha) = \frac{C \cdot (T_{\text{эхо}} - 2 \cdot T_{\text{пэп}})}{2} \cdot \cos(\alpha)$$

$$X = R \cdot \sin(\alpha) = \frac{C \cdot (T_{\text{эхо}} - 2 \cdot T_{\text{пэп}})}{2} \cdot \sin(\alpha)$$

Y - глубина залегания дефекта; X - расстояние до дефекта по поверхности ввода; R - расстояние до дефекта по лучу.

При вычислении X и Y , могут возникнуть некоторые погрешности связанные в первую очередь с определением скорости волны в изделии, угла ввода (α) и времени задержки в призме, поскольку значения этих параметров определяются оператором при настройке дефектоскопа. Расчет координат дефекта так же может быть не достоверным, если использовать ошибочное определение точки выхода луча или за максимальный эхосигнал принять сигнал, полученный от дефекта боковым лучом (рис 3.2).

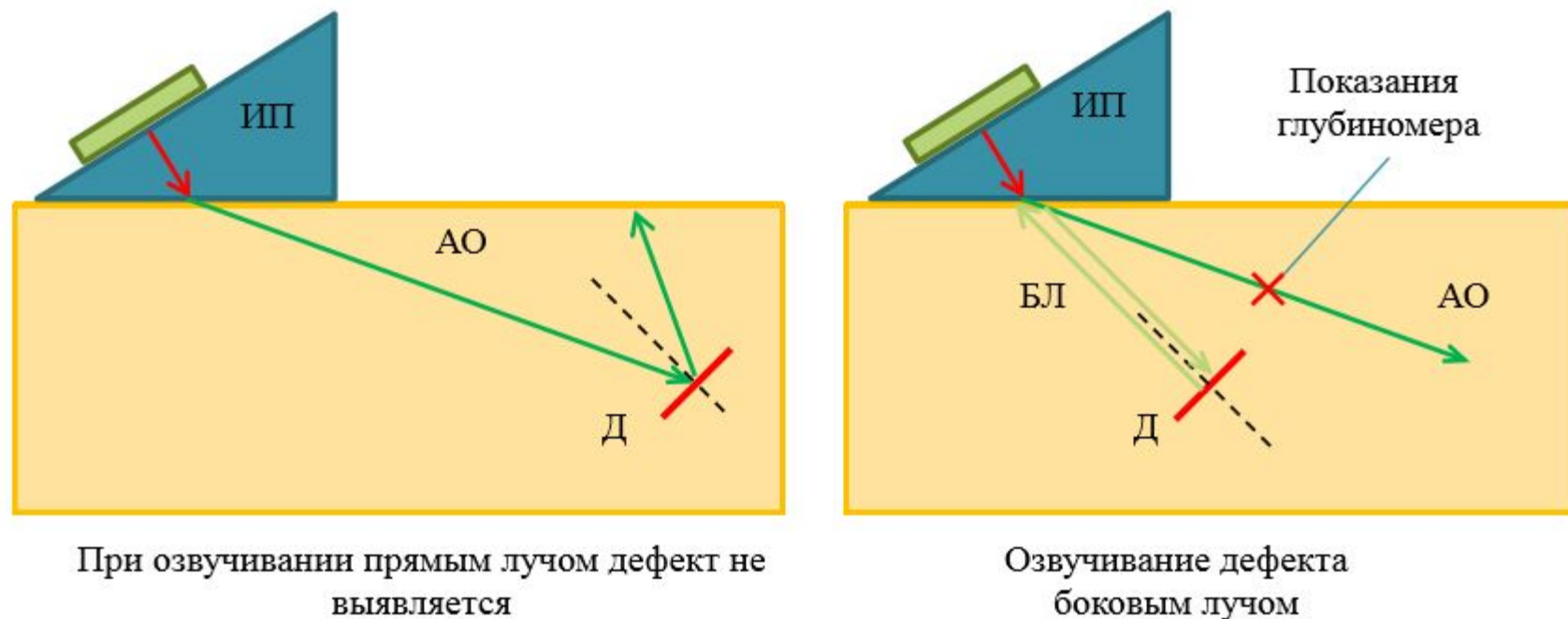


Рис.3.2 – Иллюстрация одной из причин появления погрешности определения координат

Основные характеристики ПЭП

Обозначение типа ПЭП

A 1 2 1 F — 2,5 — 35 — 001

ПЭП:

A – акустический

Способ осуществления
акустического контакта:

1 – контактный;

2 – иммерсионный

Направление ввода акустических волн:

1 – прямой;

2 – наклонный;

3 – комбинированный

Электроакустическое исполнение:

1 – совмещенный;

2 – отдельно-совмещенный

Наличие фокусировки:

F – фокусирующий;

нефокусирующий – буква не ставится

Номинальная частота, МГц

Значение

Угол ввода, градусы:

для наклонных ПЭП;

для прямых ПЭП значения не ставят

Порядковый номер модели

От 001 до 999