

# Ультразвуковые преобразователи

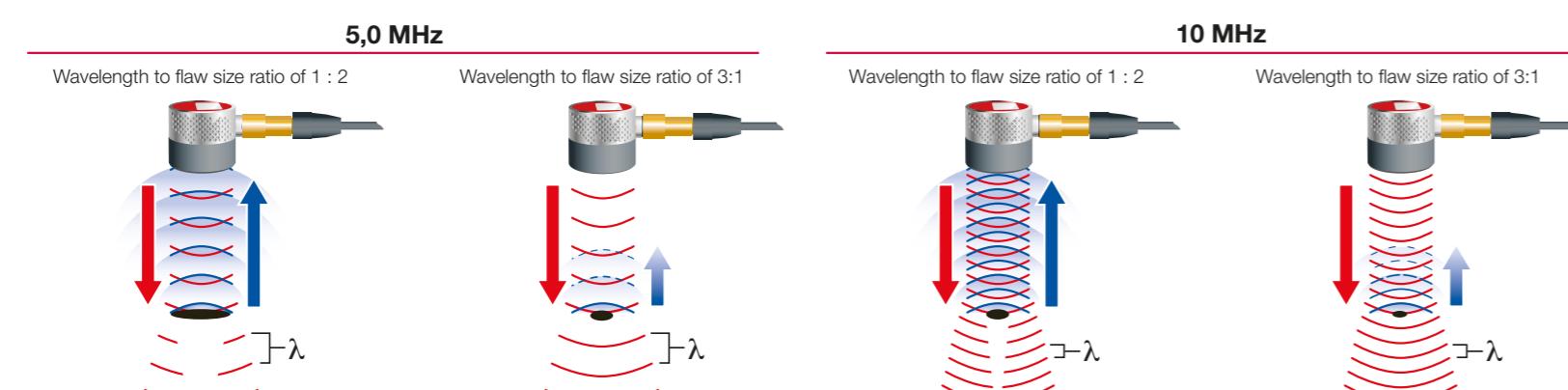
## Как выбрать частоту?

По мере увеличения частоты длина волны уменьшается, что позволяет более точно выявлять мелкие дефекты, а также глубину их залегания. И наоборот, с уменьшением частоты увеличивается длина волны, обеспечивая лучшее проникновение в толстые материалы и/или материалы с высоким коэффициентом затухания звука. При выборе частоты следует также учитывать такие факторы, как: длина ближнего поля, рассеяние луча и диаметр луча.

В эхо-импульсном контактном методе УЗК (например, при контроле мелкозернистой стали) обычно используются частоты от 2,25 до 5,0 МГц. Контроль отливок из среднеглубоких материалов обычно выполняется в диапазоне частот 1,0–5,0 МГц. Для контроля изделий из высокоглубоких и высоколегированных сталей требуется более низкие частоты в диапазоне от 0,5 до 1,0 МГц. Измерение тонких пластиковых материалов и керамики выполняется на частоте 20 МГц и выше. Как правило, длина волны должна быть равна или меньше минимального допустимого размера дефекта.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

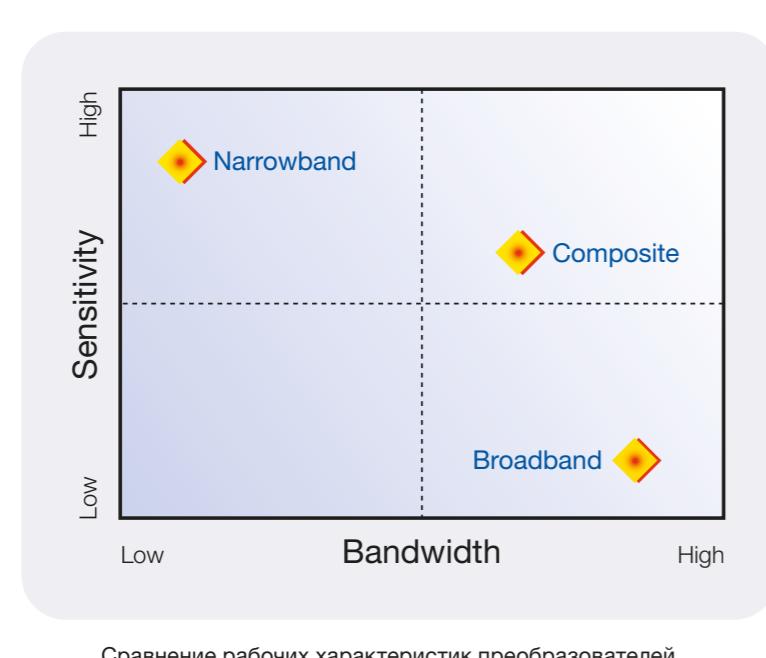
Где:  
 c = длина волны  
 c = скорость звука в материале  
 f = частота



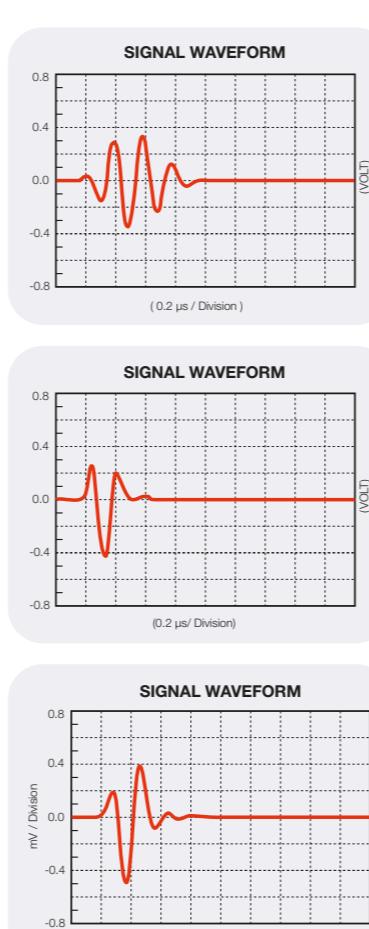
По мере увеличения частоты длина волны уменьшается, повышая чувствительность к мелким дефектам.

## На что влияет полоса пропускания?

Полоса пропускания преобразователя определяет его выходную частоту, которая, в свою очередь, влияет на характеристики преобразователя. Полоса пропускания представляет собой интервал между минимальной и максимальной частотами, возникающий в спектре при амплитуде  $-6\text{ dB}$  от центральной частоты. Узкая полоса пропускания, как правило, повышает чувствительность, тогда как широкая полоса пропускания улучшает приповерхностное разрешение.

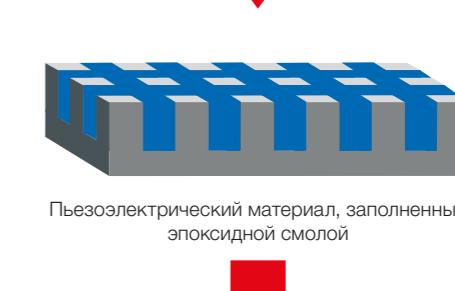
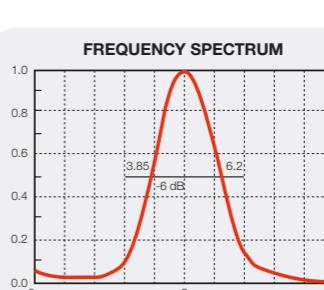


Сравнение рабочих характеристик преобразователей.



### Узкополосные преобразователи

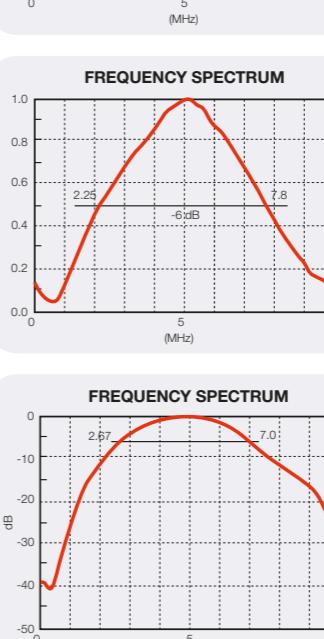
Узкополосные преобразователи имеют более узкий частотный спектр и большую длительность спада импульса ввиду слабодемпфированной конструкции, что делает их чувствительными к мелким несплошностям. Эти преобразователи используются для выявления и измерения размеров дефектов.



Этапы создания пьезокомпозитного элемента.

### Широкополосные преобразователи

Широкополосный преобразователь имеет более широкий частотный спектр и меньшую длительность спада импульса ввиду сильно демпфированной конструкции, что улучшает приповерхностное и сотовое разрешение. Эти преобразователи обычно используются для измерения толщины и скорости звука в материале, а также в случае применения дифракционно-временного метода контроля.



### Композитные преобразователи

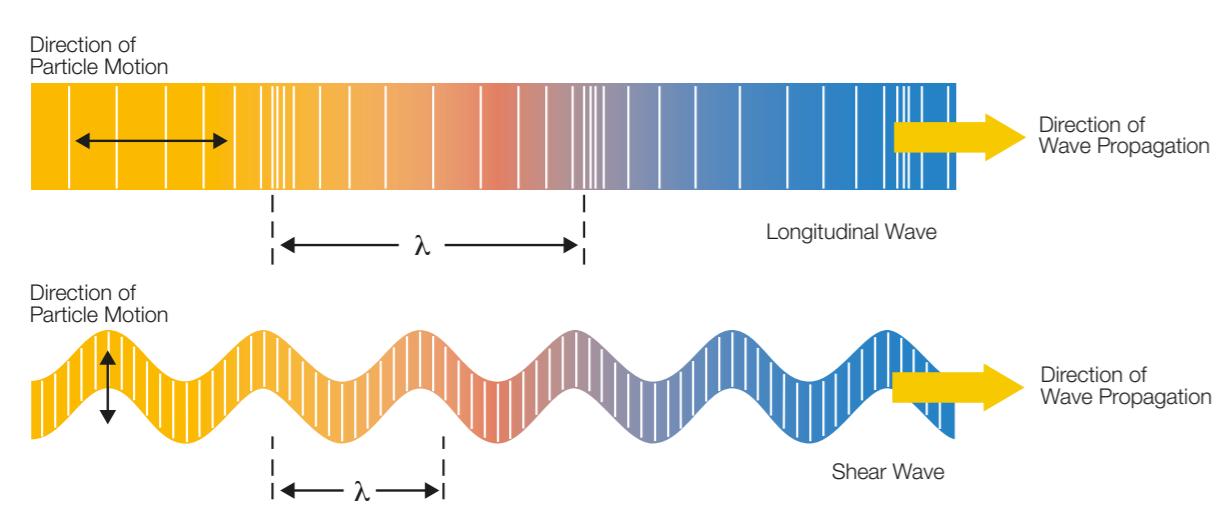
Элементы композитного преобразователя представляют собой стандартные элементы, нарезанные на прямоугольники (кристаллы) и заполненные эпоксидной смолой, что изменяет их механические и электрические свойства. Эти преобразователи отличаются широкой полосой пропускания и высокой чувствительностью. Композитные элементы имеют низкий акустический импеданс, что улучшает передачу энергии в материале с низким импедансом. Композиты лучше всего подходят для выявления дефектов в материалах с высоким коэффициентом затухания, требующих хорошего приповерхностного разрешения, высокой чувствительности и максимального отношения сигнал/шум.

## Почему важен тип волны?

Тип волны определяется движением молекул в образце. Самыми распространеными типами волн, используемыми в УЗК, являются продольная и поперечная волны. Эти два вида волн распространяются в материале с разной скоростью. Длина поперечной волны обычно близка к  $1/2$  длины продольной волны на заданной частоте.

**Продольная волна** – волна, в которой движение частиц происходит в направлении распространения волны. Продольные волны чаще всего используются для измерения толщины и выявления дефектов прямым лучом, а также для контроля крупнозернистых материалов наклонным лучом (например, для контроля изделий из литой нержавеющей стали, где более короткие волны не способны проникнуть вглубь материала).

**Поперечная волна** – волна, в которой частицы среды перемещаются перпендикулярно направлению распространения волны. Длина поперечной волны составляет обычно около  $1/2$  длины продольной волны, что позволяет выявлять мелкие дефекты на заданной частоте. Поперечные волны способствуют лучшему обнаружению небольших отражателей при контроле наклонным лучом, а также используются для оценки свойств материала за счет измерения скорости их распространения.



Движение частиц в продольных и поперечных ультразвуковых волнах.

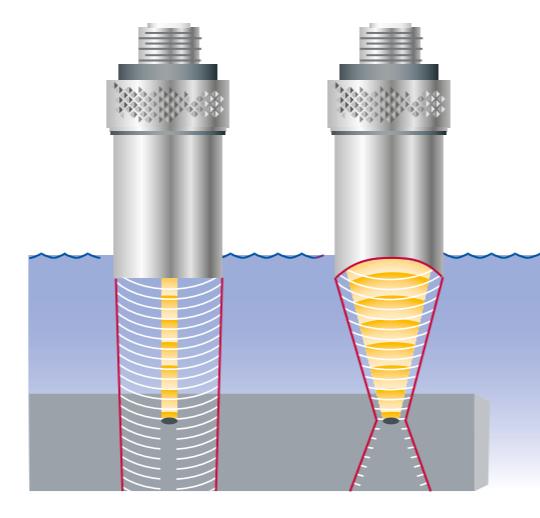
## Какое значение имеет фокусировка?

В случае преобразователей с плоской контактной поверхностью, пределом ближнего поля является естественная фокусировка луча. Это точка, где наблюдается наибольшее количество акустической энергии на единицу площади и максимальный эхо-сигнал от отражателя. Иммерсионные преобразователи могут быть сфокусированы с помощью линзы для наибольшей концентрации акустической энергии в фокальной точке. Если акустическая энергия сфокусирована в луче малого диаметра, большая часть выходной энергии преобразователя будет отражена от малого дефекта. Преобразователи могут быть сфокусированы сферически (в точке) или цилиндрически (в линии).

Диаметр луча зависит от фокусного расстояния, скорости звука в материале, частоты и диаметра элемента, и вычисляется по следующей формуле:

$$BD = \frac{1.02 Fc}{fD}$$

Где:  
 BD = диаметр луча  
 F = фокусное расстояние  
 c = скорость звука в материале  
 f = частота  
 D = диаметр пьезоэлемента



Влияние фокусировки на количество отраженной акустической энергии.

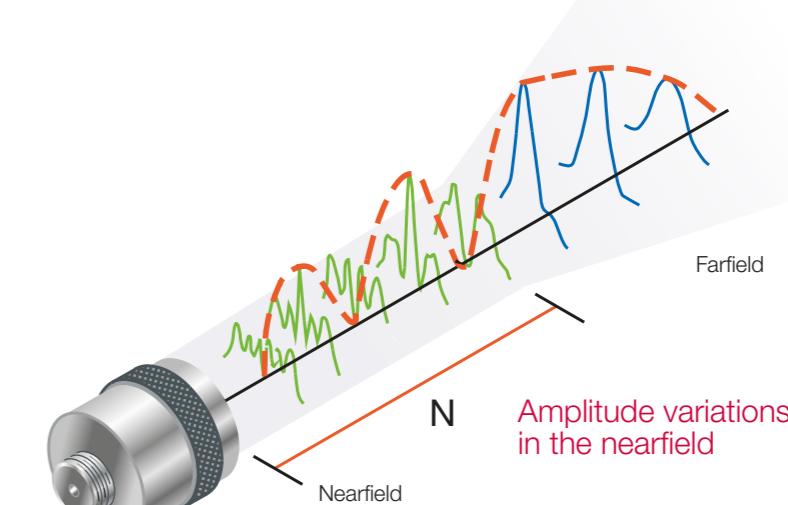
Форма луча цилиндрического фокуса.  
 Форма луча сферического фокуса.

## Какой эффект имеет ближнее поле?

Ближнее поле – зона непосредственно напротив преобразователя, где амплитуда эхо-сигнала сильно колеблется вследствие усиливающей и гасящей интерференции от вибрирующего активного элемента. Конец ближнего поля – это естественный фокус преобразователя, точка максимальной амплитуды, после которой давление акустического поля постепенно падает до нуля. Протяженность ближнего поля зависит от диаметра элемента, частоты и скорости звука в материале, как видно из следующей формулы:

$$N = \frac{D^2 f}{4c}$$

Где:  
 N = ближнее поле  
 D = диаметр элемента  
 f = частота  
 c = скорость звука в материале



Nearfield  
 Farfield  
 Amplitude variations in the nearfield

## Типы преобразователей



### P-C преобразователи

Раздельно-смешенные (P-C) преобразователи используют два пьезоэлемента (излучающий и принимающий) для создания пьезо-фокуса. Данные ПП идеально подходят для контроля изделий с неровной отражающей (дноной) поверхностью. Области применения включают: измерение остаточной толщины стенок, коррозионный мониторинг и контроль при высоких температурах.



### Контактные преобразователи

Используемый в непосредственном контакте с объектом контроля, данные преобразователи имеют твердую износостойкую поверхность. Области применения включают: обнаружение дефектов прямым лучом, измерение толщины и скорости звука в материале.



### Наклонные преобразователи

Сменная или интегрированная прозрачная пластина позволяет вводить в объект контроля ультразвуковую волну под углом. Основные области применения: обнаружение дефектов в сварных швах и определение их размера, контроль дифракционно-временным методом.



### Преобразователи с линией задержки

Дополнительный элемент, называемый линией задержки, между преобразователем и контролируемым материалом, служит для исключения влияния зондирующего импульса на результаты измерений тонкостенных изделий, а также для защиты элемента преобразователя от перегрева. Области применения: измерение толщины и выявление дефектов в тонких материалах, а также контроль при высоких температурах.



### Иммерсионные преобразователи

Иммерсионные преобразователи предназначены для ультразвукового контроля объектов, частично или полностью погруженных в воду. Вода обеспечивает акустический контакт, а также представляет собой подобие жидкой линии задержки. Данный тип преобразователей используется для автоматизированного сканирования, измерения толщины в составе поточных систем ультразвукового контроля, быстрого обнаружения дефектов. Кроме того, эти преобразователи могут быть сфокусированы для увеличения чувствительности к отражателям малого размера.