

## Исследование возможности измерения коэффициента затухания ультразвука в твёрдых материалах

Малкова Мария Михайловна

8 класс, МБОУ Школа № 32 Нижнего Новгорода, Научное объединение «Школа юного исследователя» АНО ДО «Академ клуб», ИПФ РАН

Научный руководитель: Санин Анатолий Геннадьевич, научный сотрудник ИПФ РАН

*В работе было проведено исследование коэффициента затухания ультразвука в твердых материалах с помощью простой установки, в которой не используются специальные измерительные компоненты и процедуры, для решения вопроса о применимости исследуемого материала в практических задачах. В частности, измерен коэффициент затухания материала, из которого изготавливаются 3-D модели, акустические характеристики которого неизвестны.*

Знание коэффициента затухания ультразвука в том или ином материале актуально при разработке и изготовлении ультразвуковых преобразователей, применяемых в устройствах ультразвуковой локации. Как правило, используются материалы, затухание в которых «известно из справочных данных». Однако проблема для разработчика заключается в том, что акустические характеристики реально выбранного материала неизвестны. Тем более, эта проблема очевидна, когда для изготовления используется новый материал, ставший доступным лишь в недавнее время.

**Проблема:** Отсутствие простых измерительных средств, позволяющих измерять (или хотя бы оценивать) коэффициент затухания звука в материалах.

**Цель исследования:** исследовать возможность измерения коэффициента затухания в твердых материалах с помощью простого устройства, в котором не используются специальные, особые измерительные компоненты и процедуры. **Объект исследования:** Изменение амплитуды ультразвукового длинного импульса, прошедшего через исследуемый материал. **Предмет исследования:** Изменение амплитуды ультразвукового длинного импульса, прошедшего известное расстояние в исследуемом материале, в зависимости от затухания в материале.

**Задача работы** состояла в том, чтобы экспериментально ознакомиться с методикой измерения коэффициента-затухания в различных материалах с помощью простого устройства, в котором не используются специальные измерительные компоненты или процедуры.

Для решения поставленной задачи мы использовали установку, блок-схема которой показана на рисунке 1.

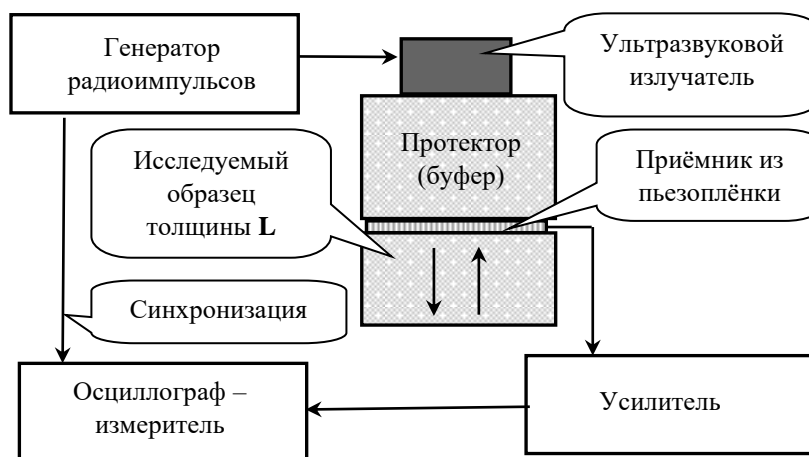


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения коэффициента затухания

Установка работает следующим образом.

Рабочая частота, на которой измеряется коэффициент затухания исследуемого образца, задаётся генератором радиоимпульсов (Tektronix AFG3101). В наших экспериментах частота была 1 МГц.

Генератор радиоимпульсов вырабатывает радиоимпульсы длительностью 8 – 10 периодов рабочей частоты, которые поступают на ультразвуковой излучатель. Ультразвуковой импульс излучается в протектор (буфер), затем проходит в исследуемый образец толщины L, отражается от нижней границы образца и возвращается в протектор. Отражающая (нижняя по рис. 1)

граница образца свободна, поэтому можно полагать, что коэффициент отражения от неё по модулю равен единице [1], соответственно, импульс полностью отражается в образец.

Между протектором и образцом расположен приёмник из пьезоплёнки толщиной 50 мкм, с помощью которого измеряется амплитуда колебательного давления акустического импульса, входящего в образец и возвращающегося после отражения на нижней (по рис.1) границе образца. Выходное напряжение приёмника поступает на усилитель и подаётся на осциллограф TDS 2012C, по экрану которого производится измерение сигнала приёмника.

Схематичный вид экрана осциллографа показан на рисунке 2.

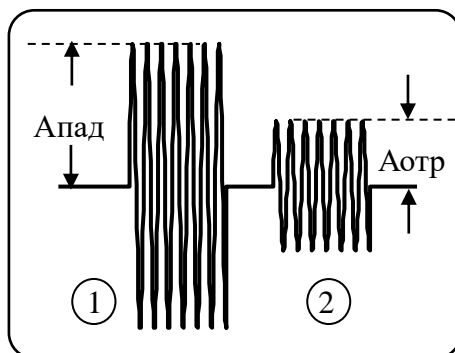


Рис. 2. Схематичный вид экрана осциллографа

Ход эксперимента:

1. Помещаем образец в установку в соответствии с рисунке 1.
2. Для обеспечения надежного акустического контакта помещаем по 2 – 3 капли воды во все соприкасающиеся плоские поверхности: излучатель-буфер, буфер-пьезопленка, пьезопленка-образец.
3. Устанавливаем на генераторе нужную рабочую частоту, а на осциллографе подбираем коэффициент усиления так, чтобы на экране были видны оба импульса: и входящий в образец (Апад, 1), и прошедший его двойную длину (Аотр, 2).
4. Измеряем с помощью цифровой шкалы осциллографа амплитуды падающего и отражённого импульса (рис.2).
5. Вычисляем коэффициент поглощения по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{A_{\text{пад}}}{A_{\text{отр}}}\right)$$

Апад и Аотр – амплитуда падающего и отраженного импульса  
L – толщина образца

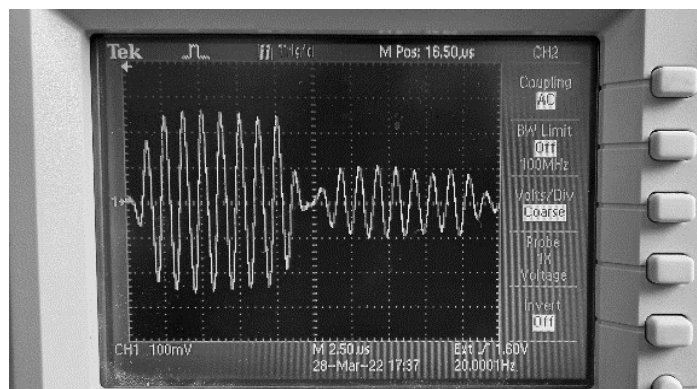


Рис. 3. Вид экрана осциллографа при экспериментах

Расчётная относительная погрешность измерений составила 4%. Разброс результатов повторных измерений 9%, т.е. был больше расчетной погрешности. По-видимому, причина в том, что практические измерения сопровождаются случайными ошибками, которые не учитываются в вычисляемой погрешности (например, неполный акустический контакт между плоскими поверхностями).

Для проверки работы нашей установки мы измерили коэффициенты затухания в трёх образцах: оргстекло, латунь, фторопласт. Все справочные данные в [2,3,4] взяты для частоты 1 МГц.

В ходе проверки мы получили следующие результаты (см. Таблицу).

*Таблица. Результаты проверочных измерений*

Материал	Значение к-та затухания (1/м) по справочникам	Значение к-та затухания (1/м), полученное в наших экспериментах
Оргстекло	21 - 22 ([2]) 25,0 ([3]) 25 ([4])	23
Латунь	7 ([3])	8
Фторопласт	Около 60 (по графику в [4])	64

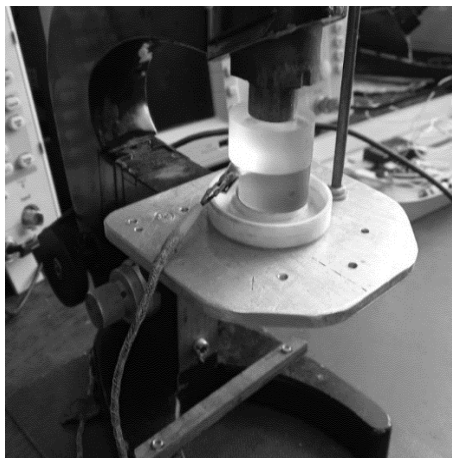
Проверку мы признали удовлетворительной.

#### ***О практическом применении установки***

Известно [5, 6], что, например, «для металлов величина коэффициента затухания меняется в широких пределах в зависимости от самых различных параметров изготовления». То же самое, по-видимому, относится к пластмассам и неметаллам [5, 6]. «Составлять таблицу коэффициентов затухания для различных материалов имеет мало смысла» [6].

На практике установку можно использовать для сравнительных измерений. Примеры такого использования приведены ниже.

Пример 1. В ходе выполнения настоящей работы мы измерили коэффициент затухания материала из 3D-принтера (рис. 4). Акустические характеристики этого материала неизвестны. Толщина образца равна 15 мм.



**Рис. 4.** Вид рабочей установки с материалом из 3D-принтера

Полученное нами значение коэффициента затухания, измеренное на частоте 1 МГц, равно 55 1/м. То есть затухание в этом материале близко к фторопласту.

Пример 2. Были даны два образца материала «Капролон» с неизвестными акустическими характеристиками (условно, «Капролон-1» и «Капролон-2»). Для изготовления корпуса ультразвуковой антенны нужно было выбрать материал, имеющий наибольший коэффициент затухания. Толщина каждого образца была 20 мм. Мы получили значения коэффициента затухания для «Капролона-1» 12 1/м, для «Капролона-2» – 72 1/м.

В ходе выполнения работы:

- Были освоены теоретические основы методики измерения затухания и экспериментальная методика измерения коэффициента затухания в твердых материалах
- Показана возможность измерения затухания ультразвука в твердых материалах с помощью простого устройства, в котором не используются специальные измерительные компоненты или процедуры.
- Были произведены пробные измерения коэффициента затухания в нескольких материалах, а также сравнительные измерения в нескольких материалах с неизвестными акустическими свойствами, в том числе, в новом материале 3D-принтера.
- Оценена погрешность измерений

#### ***Литература***

1. *Левкин Дмитрий*. Ультразвук. Основы теории распространения ультразвуковых волн  
[<https://engineering-solutions.ru/ultrasound/theory/>]
2. *Мэзон У.* Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. – М. 1952. С. 352.  
[<https://mash-xxl.info/page/140237116066018197162013113149159223101152022037/>]/ (Табл. 7.24)  
<https://studfile.net/preview/9808845/page:7/>
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Т. 2. – М. «Машиностроение», 1986.
4. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. – М.: Изд-во Металлургия, 1991.
5. 48471-11.pdf Характеристики осциллографа TDS 2012C