

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра Физики и математики

РЕФЕРАТ  
по дисциплине «Математика, физика»  
на тему «Физические основы применения ультразвука в диагностических  
целях»

Выполнила:  
студентка 1 курса  
лечебного факультета  
группа №102  
Похожаева Анастасия Николаевна

г. Ставрополь 2022г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	<b>3</b>
1. Диагностика при помощи ультразвука	4
2. Физические основы ультразвуковой диагностики	6
3. Устройства для генерации и приема ультразвуковых волн	10
4. Способы регистрации отраженных эхосигналов (режимы работы УЗ-аппаратов)	14
<b>Заключение</b>	<b>16</b>

## Введение

Во время первой мировой войны, в военно-морском флоте проводились эксперименты по применению направленного ультразвука для целей подводной локации. Французский физик Поль Ланжевен был первым, кто обратил внимание на повреждающее действие ультразвукового излучения на живые организмы. Сведения о том, что ультразвуковые волны могут проникать сквозь мягкие ткани человеческого организма и результаты наблюдений ученого, породили большой интерес к проблеме применения ультразвука для терапии различных заболеваний. Изучение данного вопроса не останавливалось и с течением времени, ультразвук начали применять в различных областях медицины. Наиболее широко ультразвук начали применять в физиотерапии.

Значительным толчком развитию ультразвуковых диагностических методов явилось создание быстродействующих электронных импульсных систем обработки радиолокационных сигналов. Первые попытки применения ультразвуковых методов в диагностике, по большей части, носило эмпирический характер. Лишь относительно недавно рассматриваемая область прикладной физики получила признание. Однако как практическое средство медицинского обследования, ультразвук завоевал к настоящему времени весьма прочное положение. По статистике, ежегодное ультразвуковое обследование в мире проходят примерно 30 - 50 млн. пациентов и их количество увеличивается с каждым годом примерно на 20%. Из-за ежегодного увеличения пациентов, которым требуется проверка здоровья, данная тема является актуальной для изучения технологий работы диагностических аппаратов на основе физических явлений.

Целью реферата является изучение и закрепление материала по физическим основам применения ультразвука в диагностических целях.

## 1. Диагностика при помощи ультразвука

Прежде чем изучить физические основы, на которых работает современное оборудование, хочется уделить внимание понятию диагностики при помощи ультразвука.

Итак, *ультразвуковой диагностикой* называется метод исследования размеров, структуры, формы, положения, а также движения органов и тканей с помощью ультразвука в режиме реального времени

В основе метода лежит регистрация отраженных от внутренних структур ультразвуковых волн – эхо (по аналогии с обычным отражением волн звукового диапазона).

Ультразвуковое исследование (УЗИ) широко используется в клинической практике. За последние несколько десятилетий метод стал одним из наиболее распространенных и важных, который обеспечивает диагностику многих заболеваний.

Достоинства методики:

- безопасность (не имеет противопоказаний);
- высокая диагностическая эффективность;
- отсутствие лучевой нагрузки (безопасно для беременных и детей);
- неинвазивность и возможность многократного исследования;
- одномоментное исследование многих органов и систем (при сложной клинической картине);
- дешевизна оборудования, в сравнении с оборудованием для РКТ и МРТ;

Вместе с тем ультразвуковому методу присущи некоторые недостатки:

- существенные ограничения в исследовании ряда органов и систем (легкие, внутренняя костная структура, головной мозг у взрослых, кишечник, заполненный газом);

- зависимость качества получаемого изображения от класса аппарата;
- субъективность в интерпретации получаемых изображений, т.е. зависимость точности диагностики от квалификации врача;
- плохая демонстративность застывших изображений, и, соответственно, относительно низкие возможности в документировании изображений.

Однако в настоящее время ультразвуковое исследование является наиболее часто используемым методом в клинической практике. При диагностике заболеваний ряда органов и систем этот метод можно считать предпочтительным или основным методом диагностики. В клинически сложных случаях данные УЗИ позволяют наметить план дальнейшего обследования больных с применением более эффективных методов лучевой терапии.

УЗИ широко применяется для диагностики заболеваний различных органов и систем. Особенно метод обладает высокой диагностической эффективностью при исследовании пищеварительной системы (печени, желчного пузыря, желчевыводящих протоков, поджелудочной железы), сердечно-сосудистой системы, мочеполовой (почек, матки, яичников, простаты), в акушерстве (пренатальной диагностике), исследовании поверхностно расположенных органов (молочных желез, щитовидной железы, лимфатических узлов) и др.

## 2. Физические основы ультразвуковой диагностики

Ультразвуковые волны обладают определенными свойствами, которые позволяют их использовать для диагностики:

- распространяются прямолинейно – поэтому имеется возможность получать изображения исследуемых органов практически без искажений, при сохранении их линейных размеров и формы;
- способны фокусироваться;
- проникают внутрь органов;
- по-разному отражаются от границ различных плотностей как наружных контуров биологических тканей, так их внутренней структуры – способны нести определенную информацию о внутреннем строении и функции органов.

Известно, что звук - механическая продольная волна, в которой колебания частиц находятся в той же плоскости, что и направление распространения энергии.

Частота от 16 Гц до 20 кГц – зона слышимости для человека, частота звуковых волн менее 16 Гц относится к инфразвуку (звуковые колебания при землетрясениях, звуки, издаваемые двигателями корабельных машин, самолетов). Ультразвук – звуковые колебания с частотой более 20 кГц. Частоту в диапазоне 25 – 500 кГц используют живые организмы в природе - летучие мыши, дельфины и некоторые породы китов.

Как и звук зоны слышимости человека ультразвук также распространяется в средах в виде чередующихся зон сжатия и разрежения молекул вещества, которые совершают колебательные движения (Рис.1).

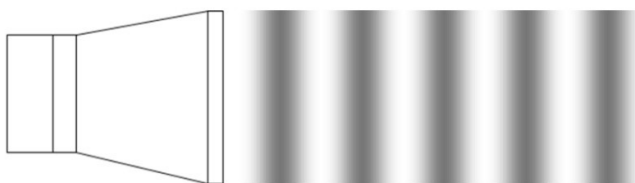


Рис.1. Схема распространения звуковой (ультразвуковой) волны при генерации ее источником.

Основными характеристиками ультразвуковых волн являются:

- период колебания ( $T$ ) – время, за которое молекула или частица вещества совершает одно полное колебание,
- частота ( $\nu$ ) – число колебаний в единицу времени,
- длина ( $\lambda$ ) – расстояние между точками одной фазы
- скорость распространения ( $c$ ), которая зависит, главным образом, от упругости и плотности среды.

Длина волны обратно пропорциональна ее частоте.

Скорость распространения ультразвука ( $c$ ) – скорость, с которой волна перемещается в среде. Ед. измерения - м/с. Скорость распространения ультразвука определяется только свойствами среды (ткани), главным образом, плотностью.

Ткань	$c$ (м/с)
Мозг	1510
Печень	1550
Почки	1565
Мышцы	1580
Жировая ткань	1450
Кости	4080
Кровь	1570
<b>Мягкие ткани (усредненно)</b>	<b>1540</b>
Воздух	330

Усредненная скорость распространения ультразвука в тканях тела человека составляет 1540 м/с – на эту скорость запрограммировано большинство ультразвуковых диагностических приборов.

При распространении ультразвуковой волны происходит передача энергии (интенсивность волны  $I$ ). Интенсивность передаваемого ультразвука постепенно уменьшается с прохождением через ткани тела.

Общая потеря интенсивности (или мощности) называется ослаблением и происходит за счет затухания, поглощения и рассеяния.

Не поглощенная часть ультразвука может быть рассеяна или отражена тканями назад к датчику в виде эха. Легкость прохождения ультразвука через ткани частично зависит от массы частиц (которая определяет плотность ткани) и частично – от сил эластичности, притягивающих частицы друг к другу. Скорость прохождения ультразвука через ткань в значительной мере определяется ее эластичностью. Плотность и эластичность ткани вместе определяют ее так называемое акустическое сопротивление или импеданс ( $Z = \rho c$ , где  $Z$  – акустическое сопротивление,  $\rho$  – плотность,  $c$  – скорость распространения ультразвука в ткани).

Чем больше разница акустических сопротивлений, тем больше отражение ультразвука. Крайне большое различие в акустическом сопротивлении существует на границе мягкая ткань – газ, и почти весь ультразвук от нее отражается. Этим объясняется применение в качестве прослойки между кожей пациента и преобразователем геля для устранения воздуха, который может полностью задержать ультразвуковую волну. Поэтому ультрасонография не может отобразить скрытые кишечным газом области или заполненную воздухом легочную ткань. Существует также и относительно большое различие в акустическом сопротивлении между мягкой тканью и кортикальной костью. Костные структуры создают помехи или полностью исключают возможность проведение ультразвукового исследования (ребра - при исследовании сердца, правой доли печени, селезенки, почек, кости черепа не дают возможность исследовать головной мозг у взрослых и т.д.).

При этом, чем выше частота (соответственно меньше длина волны), тем выше разрешающая способность ультразвукового аппарата, т.е. способность увидеть более мелкие детали на изображении. С другой



стороны – чем выше частота, тем меньше проникающая способность или глубина сканирования. В ультразвуковой диагностике используют диапазон 2 – 15 МГц. Данный диапазон обусловлен физическими особенностями ультразвука (зависимостью глубины сканирования от частоты) и диагностическими задачами УЗД (получением изображения по возможности с бóльшим разрешением).

Соотношения частоты и глубины проникновения ультразвука в мягких тканях организма приблизительно составляют:

1 МГц – до 50 см

3,5 МГц – 30 см

5 МГц – 15 см

7,5 МГц – 7 см

10 МГц – 5 см

### 3. Устройства для генерации и приема ультразвуковых волн

Появление эхолота или сонара (гидролокатора) в годы Первой мировой войны можно считать зарождением ультразвукового метода. Во время Великой Отечественной войны продолжалось развитие теории ультразвука, гидролокатор совершенствовался на практике. Гидролокатор — это устройство, которое посылает звуковые волны через воду к подводным объектам и улавливает отраженное ими эхо. Затем эти концепции были применены и развиты в медицинской диагностике.

Пьезоэлектрический эффект, открытый братьями Кюри в 1881 году, стал основой генерации ультразвуковых волн. Суть пьезоэффекта заключается в том, что существуют химические соединения (кварц, титанат бария, сульфат кадмия и др.), обладающие определенными физическими свойствами. Таким образом, когда внешнее механическое воздействие вызывает деформацию монокристаллов, на их гранях появляются электрические заряды противоположного знака. Это - прямой пьезоэлектрический эффект (Рис. 2). Примером использования прямого пьезоэффекта в быту является пьезозажигалка - при нажатии на нее пьезокристалл деформируется и образуется электрический заряд, искра от которого воспламеняется горючий компонент.

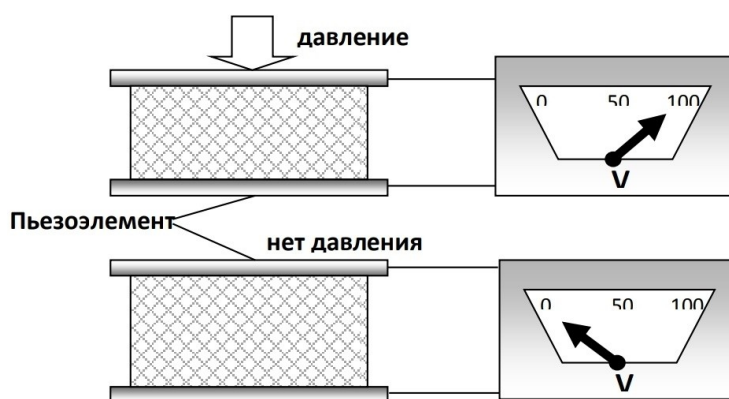


Рис.2. Схема прямого пьезоэлектрического эффекта.

Кроме того, имеется еще одно (обратное) свойство пьезоэлементов - при воздействии на эти монокристаллы переменного электрического заряда возникают их механические колебания, которые при определенных параметрах электрического тока могут генерировать ультразвуковые волны. Это обратный пьезоэлектрический эффект (Рис. 3).

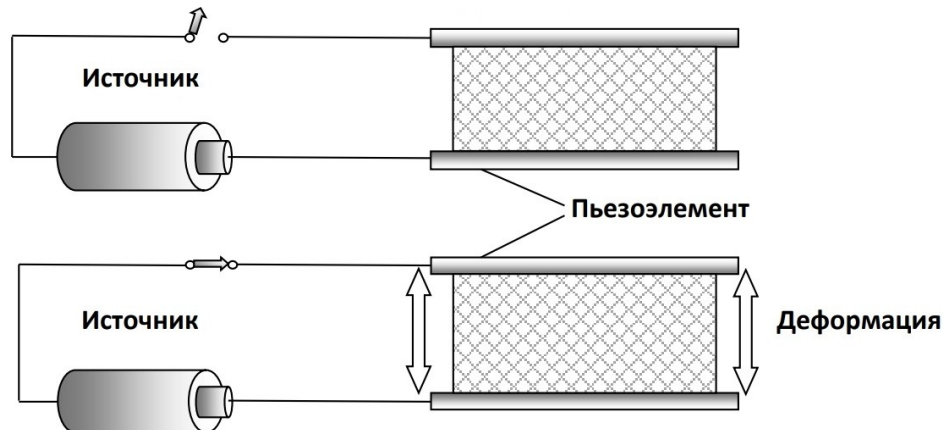


Рис.3. Схема обратного пьезоэлектрического эффекта.

Эти свойства пьезоэлементов нашли применение в ультразвуковых устройствах, так как один и тот же пьезокристалл может заменить и приемник, и ультразвуковые волны. Эта часть ультразвукового аппарата называется акустическим преобразователем или трансдюсером (англ. transducer - преобразователь), наиболее распространенным названием которого является – ультразвуковой датчик. Преобразователь переводит одну форму энергии в другую - электрическую энергию в энергию ультразвуковых колебаний и наоборот.

В современных ультразвуковых аппаратах существует несколько основных типов ультразвуковых датчиков, отличающихся рабочей частотой (соответственно глубиной сканирования и качеством получаемого изображения или разрешением), а также величиной и формой сканирующей поверхности. Основными типами ультразвуковых датчиков являются:

1. Линейный датчик (Рис.4, А) – высокочастотный датчик, который используется, главным образом, для исследования поверхностно

расположенных органов (щитовидной железы, молочной железы, лимфатических узлов, поверхностных сосудов и т.д.).

2. Конвексный датчик (англ. convex – выпуклый) (Рис.4, В) – обладает выпуклой рабочей поверхностью, что обеспечивает лучший контакт с кожей в исследуемой области. Используется для исследования глубоко расположенных органов брюшной полости, забрюшинного пространства, малого таза и др.
3. Секторный датчик (Рис.4, С) – обладает небольшой рабочей поверхностью, генерируемые ультразвуковые волны имеют форму сектора. Применяется в тех случаях, когда необходимо с небольшого участка поверхности тела получить в несколько раз больше обзор на глубине, например, когда через межреберные промежутки проводят исследование сердца при эхокардиографии. Часто секторный датчик еще называют кардиологическим. Кроме того, он применяется при исследовании головного мозга у детей до года – доступ через большой и малый роднички.

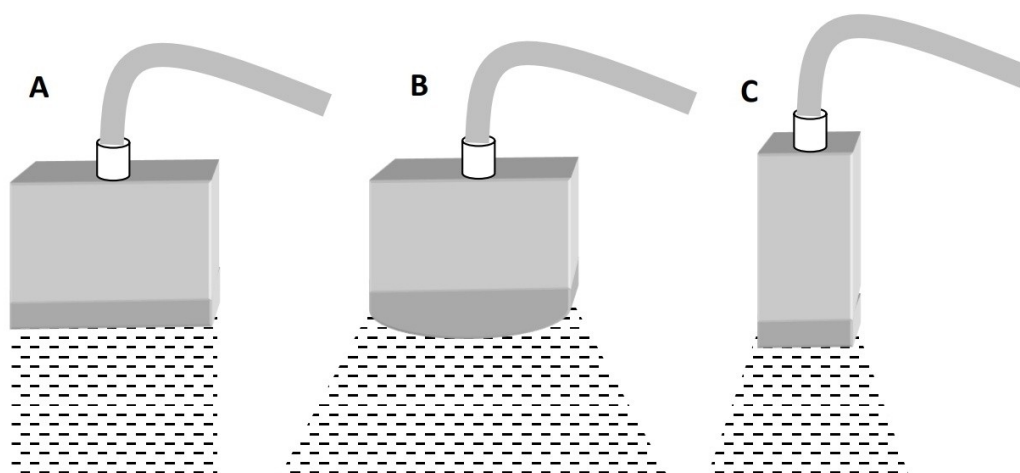


Рис. 4. Основные типы датчиков (А - линейный, В - конвексный, С - секторный) и направления распространения генерируемых ими ультразвуковых волн.

Для получения изображения в ультразвуковой диагностике используется ультразвук, излучаемый в виде коротких импульсов

(импульсный). Он генерируется при приложении к пьезоэлементам коротких электрических импульсов. Продолжительность импульса составляет 1 мкс. Этот же датчик в перерыве между генерацией волн воспринимает отраженные сигналы и трансформирует их обратно в электрические. То есть за время работы датчик только 0,001 часть времени генерирует УЗ-волны (1мкс), а оставшиеся 0,999 (999 мкс) – воспринимает отраженные волны (работает как приемник).

Итак, весь процесс ультразвукового сканирования можно разделить на следующие этапы:

- генерация ультразвуковых волн (обратный пьезоэлектрический эффект);
- проникновение ультразвуковых волн в ткани;
- взаимодействие ультразвука с тканями, отражение от границ раздела сред в виде различной силы «эха»;
- преобразование отраженных сигналов в электрический сигнал (прямой пьезоэлектрический эффект);
- регистрация электрического сигнала с помощью различных видов регистрации отраженных сигналов или различных видов развертки изображения.

#### 4. Способы регистрации отраженных эхосигналов (режимы работы УЗ-аппаратов)

Отраженный эхосигнал может быть представлен на экране в следующих режимах:

- А – режим;
- В – режим;
- М – режим;
- доплеровские режимы (режим D);
- комбинированные режимы (одновременное использование двух и более режимов)
- режимы с построением объемного изображения (3D и 4D)
- эластография

**Режим А** (от англ. Amplitude) - классический режим, присутствующий во всех современных аппаратах. Основан на фиксации амплитуды (т.е., пиков) отраженных сигналов, которая визуализируется на экране в виде осциллограммы.

**Режим М** (от англ. Motion - движение). Этот режим благодаря высокой частоте звуковых импульсов позволяет получить изображение тканей сердца в движении, т.е., непосредственно во время работы органа.

**Режим В** (от англ. Brightness - яркость), или 2D. На основании фиксации амплитуды отраженного сигнала создается и выводится на экран двухмерное изображение сканируемой области с частотой обновления от 20 кадров в минуту. Цветность - до 256 оттенков серого, где каждый оттенок соответствует определенной амплитуде волны. Данный режим наиболее простой, понятный и многоцелевой: он позволяет выполнить сканирование брюшной полости, почек, молочной и щитовидной желез, оценить состояние клапанов сердца, сегментарной и глобальной систолической функции желудочков.

**Режим D (Доплер).** Основан на доплеровском эффекте, когда частота отраженных волн меняется в зависимости от скорости движения сканируемого объекта, причем, при приближении к датчику частота растет, а при удалении - падает. Используется для диагностики кровеносной системы, где объектами, отражающими звуковые волны, являются эритроциты.

В настоящее время в клинической практике используются следующие виды доплеровского исследования: непрерывная и импульсная потоковая спектральная доплерография (ПСД), цветное доплеровское картирование, энергетический доплер, конвергентный цветовой доплер.

И пара слов о новейших разработках в области визуализации. Для того, чтобы пациент без специальных знаний смог невооруженным глазом увидеть и понять результаты сканирования, в современных узи-аппаратах предусмотрен режим 3D. По сути, это не отдельный режим сканирования, а метод визуализации, во время которого компьютер собирает двухмерные изображения в одно трехмерное.

В последнее время происходит бурное развитие ультразвуковой диагностики, постоянное совершенствование ультразвуковых диагностических приборов – что приводит к появлению новых методов ультразвуковых исследований, в частности, совсем недавно появился еще один метод УЗИ – эластография.

Эластография (соноэластография) - метод ультразвуковых исследований, в основе которого лежит дифференциальная диагностика злокачественных новообразований на основании изменения их плотности и жесткости.

## Заключение

Появление и развитие ультразвуковой диагностики претерпело огромный путь от использования в военных целях в периоды войн, до использования ультразвука в медицине по настоящее время. Методы исследования с помощью ультразвуковых аппаратов постоянно совершенствуются с целью улучшения качества диагностики.

В первом параграфе были рассмотрены основные понятия, способы применения, а также преимущества и недостатки диагностики при помощи ультразвука.

Второй параграф был посвящен физическим процессам, благодаря которым работает современная техника для диагностики. Были рассмотрены: механические колебания молекул вещества и волновые процессы в акустике.

В последующем параграфе, изучили устройства для генерации и приема ультразвуковых волн, которые работают на основе пьезоэлектрического эффекта.

Заключающий параграф несет в себе информацию о способах регистрации отраженных эхосигналов, а также режимах работы ультразвуковых аппаратов.

Рассмотренные разделы реферата являются основами для понимания принципов работы сложной системы, вследствие которой специалисты прямо в данную секунду спасают множество жизней.



### **Список использованной литературы**

1. Атьков О.Ю. Основные тенденции развития УЗ методов диагностики. Визуализация в клинике. 2002г.
2. Акопян В.Б. Физические основы УЗ терапии. Мед. Физика, 2001г.
3. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. Под редакцией Митькова В.В., Садриковой В.А., М., Т.5., 1999г.
4. Крылов П., Рокитянский В.И. Ультразвук и его лечебное применение. 1958г.
5. Маков Ю.Н. Возможности ультразвукового воздействия на биоструктуры в различных режимах и их использование в медицине. Акустика неоднородных сред. Ежегодник 2002г.
6. Применение ультразвука в медицине. Под редакцией Хилл К. М. Мир, 1989г.