

**КАВИТАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТЯХ****Содиқов Н.О.***Самарқандский Государственный Медицинский Университет**г.Самарқанд, Республика Узбекистан*

**Аннотация:** По своей физической природе ультразвук представляет собой упругие волны и в этом он не отличается от звука. Частотная граница между звуковыми и ультразвуковыми волнами поэтому условна. Она определяется субъективными свойствами человеческого слуха и соответствует усреднённой верхней границе слышимого звука. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн имеет место ряд особенностей распространения. Совокупность уплотнений и разрежений, сопровождающая распространение ультразвуковой волны, представляет собой своеобразную решётку, дифракцию световых волн на которой можно наблюдать в оптически прозрачных телах. Малая длина ультразвуковых волн является основой для того, чтобы рассматривать их распространение в ряде случаев методами геометрической акустики.

**Ключевые слова:** Ультразвук, кавитация, упругие волны, акустика, релаксация, уплотнения, разрежений, фокусировка звука, скорость, частота, нелинейной акустики, фононы, квазичастицы.

По физической сущности ультразвук (УЗ) не отличается от звука и представляет собой механическую волну. При её распространении образуются чередующиеся участки сгущения и разряжения частиц среды. Скорость распространения УЗ и звука в средах одинаковы (в воздухе -330 м/с при 0<sup>0</sup>С, в воде и мягких тканях -1500 м/с). Однако высокая интенсивность и малая длина УЗ - волн порождают ряд специфических особенностей. При распространении УЗ в веществе происходит необратимый переход энергии звуковой волны в



другие виды энергии, в основном в теплоту. Это явление называется поглощением звука.

Ультразвук - это упругие колебания и волны с частотами приблизительно от 20 кГц и до 1 ГГц ( $10^9$  Гц).

Область частот от  $10^9$  до  $10^{12-13}$  Гц принято называть гиперзвуком.

Область частот ультразвука можно подразделить на три подобласти:

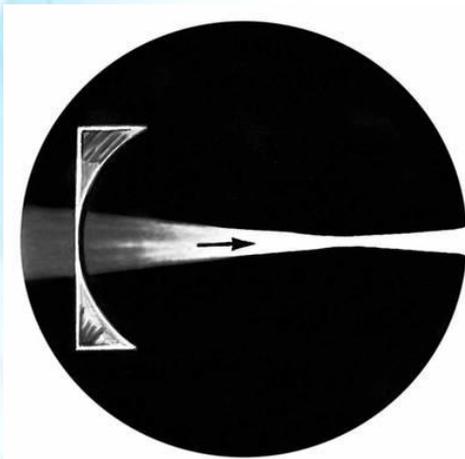
Ультразвук низких частот ( $1,5 \cdot 10^4 - 10^5$ ) Гц — УНЧ,

Ультразвук средних частот ( $10^5 - 10^7$ ) Гц — УСЧ

Ультразвук высоких частот ( $10^7 - 10^9$ ) Гц — УЗВЧ.

Каждая из этих подобластей характеризуется своими специфическими особенностями генерации, приёма, распространения и применения. Частотная граница между звуковыми и ультразвуковыми волнами поэтому условна; она определяется субъективными свойствами человеческого слуха и соответствует усреднённой верхней границе слышимого звука. Так, для УЗВЧ длины волн в воздухе составляют ( $3,4 \cdot 10^{-3} - 3,4 \cdot 10^{-5}$ ) см, в воде ( $1,5 \cdot 10^{-2} - 1,5 \cdot 10^{-4}$ ) см. Ультразвук в газах и, в частности, в воздухе распространяется с большим затуханием. Жидкости и твёрдые тела (в особенности монокристаллы) представляют собой, как правило, хорошие проводники ультразвука, затухание в которых значительно меньше. Так, например, в воде затухание ультразвука при прочих равных условиях приблизительно в 1000 раз меньше, чем в воздухе. Поэтому области использования УСЧ и УЗВЧ относятся почти исключительно к жидкостям и твёрдым телам, а в воздухе и газах применяют только УНЧ. Ввиду малой длины волны ультразвука на характере его распространения сказывается молекулярная структура среды, поэтому, измеряя скорость ультразвука  $\vartheta$  и коэффициент поглощения  $\alpha$ , можно судить о молекулярных свойствах вещества. Этими вопросами занимается молекулярная акустика. Характерная особенность распространения ультразвука в газах и жидкостях - существование отчётливо выраженных областей дисперсии, сопровождающейся резким возрастанием его поглощения. Коэффициент поглощения ультразвука в ряде жидкостей существенно превосходит

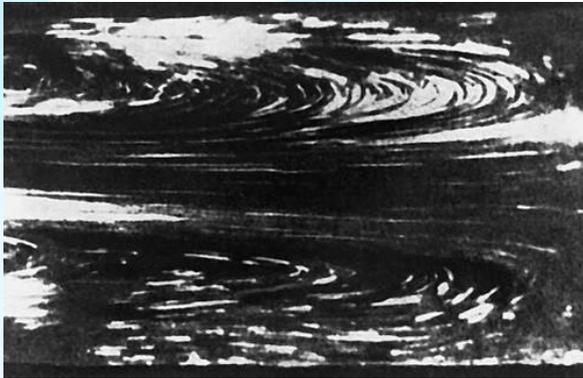
рассчитанный по классической теории и не обнаруживает предсказанного этой теорией увеличения, пропорционального квадрату частоты. Все эти эффекты находят объяснение в релаксационной теории, которая описывает распространение ультразвука в любых средах и является теоретической базой современной молекулярной акустики, а основным экспериментальный метод - измерение зависимости скорости распространения и особенно  $\rho$  (плотность) от частоты и от внешних условий (температуры, давления и др.). Совокупность уплотнений и разрежений, сопровождающая распространение ультразвуковой волны, представляет собой своеобразную решётку, дифракцию световых волн на которой можно наблюдать в оптически прозрачных телах. Малая длина ультразвуковых волн является основой для того, чтобы рассматривать их распространение в ряде случаев методами геометрической акустики. Физически это приводит к лучевой картине распространения. Отсюда вытекают такие свойства ультразвука, как возможность геометрического отражения и преломления, а также фокусировки звука (рис.1).



(рис.1)

Следующая важная особенность ультразвука -это возможность получения большой интенсивности даже при сравнительно небольших амплитудах колебаний, так как при данной амплитуде плотность потока энергии пропорциональна квадрату частоты. Ультразвуковые волны большой интенсивности сопровождаются рядом специфических эффектов, которые

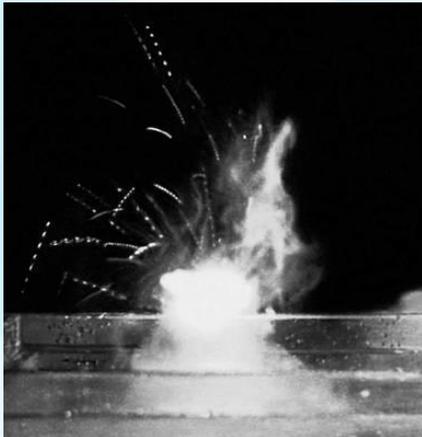
могут быть описаны лишь законами нелинейной акустики. Так, распространению ультразвуковых волн в газах и в жидкостях сопутствует движение среды, которое называют акустическим течением (рис.2). Скорость акустического течения зависит от вязкости среды, интенсивности ультразвука и его частоты. В целом, она мала и составляет доли % от скорости ультразвука.



(рис.2)

К числу важных нелинейных явлений, возникающих при распространении интенсивного ультразвука в жидкостях, относится акустическая кавитация - рост в ультразвуковом поле пузырьков из имеющихся субмикроскопических зародышей газа или пара в жидкостях до размеров в доли мм, которые начинают пульсировать с частотой ультразвука и захлопываются в положительной фазе давления. При захлопывании пузырьков газа возникают большие локальные давления порядка тысяч атмосфер, образуются сферические ударные волны. Возле пульсирующих пузырьков образуются акустические микропотоки. Явления в кавитационном поле приводят к ряду как полезных (получение эмульсий, очистка загрязнённых деталей и др.), так и вредных (эрозия излучателей ультразвука) явлений. Частоты ультразвука, при которых используется ультразвуковая кавитация в технологических целях, лежат в области УНЧ. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от рода жидкости, частоты звука, температуры и других факторов. В воде на частоте 20 кГц она составляет около  $0,3 \text{ Вт/см}^2$ . На частотах диапазона УСЧ в ультразвуковом поле с интенсивностью от нескольких  $\text{Вт/см}^2$  может возникнуть фонтанирование

жидкости (рис.3) и распыление её с образованием весьма мелкодисперсного тумана.



(рис.3)

**Вывод:** При действии ультразвука на биологические объекты в облучаемых органах и тканях на расстояниях, равных половине длины волны, могут возникать разности давлений от единиц до десятков атмосфер. Столь интенсивные воздействия приводят к разнообразным биологическим эффектам, физическая природа которых определяется совместным действием механических, тепловых и физико-химических явлений, сопутствующих распространению ультразвука в среде. Биологическое действие ультразвука, то есть изменения, вызываемые в жизнедеятельности и структурах биологических объектов при воздействии на них ультразвука, определяется главным образом интенсивностью ультразвука и длительностью облучения и может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на жизнедеятельность организмов. Так, возникающие при сравнительно небольших интенсивностях ультразвука (до 1-2)  $Вт/см^2$  механические колебания частиц производят своеобразный микромассаж тканей, способствующий лучшему обмену веществ и лучшему снабжению тканей кровью и лимфой. Повышение интенсивности ультразвук может привести к возникновению в биологических средах акустической кавитации, сопровождающейся механическим разрушением клеток и тканей (кавитационными зародышами служат имеющиеся в биологических средах газовые пузырьки). При поглощении ультразвука в биологических объектах происходит преобразование акустической энергии в



тепловую. Локальный нагрев тканей на доли и единицы градусов, как правило, способствует жизнедеятельности биологических объектов, повышая интенсивность процессов обмена веществ. Однако более интенсивные и длительные воздействия могут привести к перегреву биологических структур и их разрушению (денатурация белков и др.). В основе биологического действия ультразвука могут лежать также вторичные физико-химические эффекты. Так, при образовании акустических потоков может происходить перемешивание внутриклеточных структур. Кавитация приводит к разрыву молекулярных связей в биополимерах и др. жизненно важных соединениях и к развитию окислительно-восстановительных реакций. Ультразвук повышает проницаемость биологических мембран, вследствие чего происходит ускорение процессов обмена веществ из-за диффузии. Все перечисленные факторы в реальных условиях действуют на биологические объекты в том или ином сочетании совместно, и поэтому трудно, а подчас невозможно отдельно исследовать процессы, имеющие различную физическую природу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. Учебник. Москва «ГЭОТАР- Медиа» 2018 г.
2. Федорова В.Н., Фаустов Е.В. Медицинская и биологическая физика. Учебное пособие. Москва «ГЭОТАР- Медиа» 2010 г.
3. Бергман Л., Ультразвук, пер. с нем., М., 1956 г.
4. Красильников В. А., Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах, 3 изд., М., 1960 г.
5. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 1-7, М., 1966 - 74.
6. Физика и техника мощного ультразвука, под ред. Л. Д. Розенберга, т. 1-3, 1967-69.
7. Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964 г.
8. Викторов И. А., Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике, М., 1966 г.



9. Ультразвуковое резание, М., 1962 г.
10. Ультразвуковая технология, под ред. Б. А. Аграната, М., 1974 г.
11. Эльпинер И. Е. Биофизика ультразвука, М., 1973 г.
12. Байер В., Дернер Э., Ультразвук в биологии и медицине, пер. с нем., Л., 1958.
13. Interaction of ultrasound and biological tissues. Proceedings of a workshop..., ed. by J. M. Reid and M. R. Sikov, Wash., 1972 г.
14. Содиков Н.О., Муминова З.А. Применение ультразвука в медицине. (The Use of Ultrasound in Medicine) Journal of Theory, Mathematics and Physics №2022/05/01