# §. Ультразвук

Ультразвуком (УЗ) называют механические колебания и волны с частотой более 20 кГц.

Верхним пределом ультразвуковых частот можно считать $10^{10}$ Гц.

Получают УЗ за счет использования пьезоэффекта. Особенность ультразвука – это направленность распространения, как луч света.

При прохождении через вещество УЗ поглощается. На глубине $h$ интенсивность УЗ:

$I_h = I_0 \cdot 2^{-h/H}$ ; $H$ – глубина полупоглощения. На этой глубине интенсивность УЗ уменьшается вдвое.

3 уровня интенсивности: малая 1,5 Вт/м$^2$, средняя 1,5–3 Вт/м$^2$, большая 3–10 Вт/м$^2$.

Волновое сопротивление биологических тканей в 3000 раз больше волнового сопротивления воздуха, поэтому 99,99 % УЗ отражается. Для исключения влияния воздушного слоя поверхность кожи покрывают смазкой, уменьшающей отражение и создающей акустический контакт.

## *а) Биофизическое действие УЗ.*

– УЗ механические колебания частиц вещества в тканях могут вызывать благоприятные структурные перестройки вследствие микровибраций на клеточном и субклеточном уровне, микромассаж тканевых структур.

– УЗ оказывает действие на клеточные мембраны. Внутри клетки микропотоки могут менять взаимное расположение клеточных органелл, перемешивать цитоплазму, изменять ее вязкость.

УЗ волны могут отрывать от клеточных мембран биологические макромолекулы, изменять поверхностный заряд, проницаемость.

– Облучение УЗ с интенсивностью, превышающей порог кавитации, используют для разрушения имеющихся в жидкости бактерий и вирусов.

– УЗ вызывает расщепление молекул воды на $H^+$ и $OH^-$ с последующим образованием перекиси водорода $H_2O_2$.

– При воздействии УЗ происходит нагрев тканей. Теплота выделяется на границах раздела тканей: мягкие ткани - кость. При этом повышается интенсивность процессов обмена.

***б) УЗ-терапия.*** Это УЗ массаж – при помощи дозированного пучка УЗ (массаж сердца, легких и др.).

***в) Фонофорез*** – введение с помощью УЗ в ткани через поры кожи лекарственных веществ. При этом перемещаются и незаряженные частицы. Фонофорез эффективнее электрофореза.

***г) Аутогемотерапия*** – внутримышечное введение человеку собственной крови, взятой из вены. Эта процедура более эффективна, если кровь перед вливанием облучить УЗ. Предварительное воздействие УЗ усиливает действие γ и СВЧ облучения на опухоли.

УЗ можно использовать для сваривания мягких тканей и костей и, наоборот, для резки тканей. При этом инструмент соединяют с источником УЗ.

Снижаются усилия резания, уменьшается болевое ощущение, есть кровоостанавливающий и стерилизующий эффект.

Очень интенсивный УЗ смертелен. Инфразвук с характеристиками: 160 дБ и 7 Гц также смертелен.

Инфразвуком называют механические волны с частотами, меньше тех, которые воспринимает ухо человека (<20 Гц).

**Пример. Животные покидают опасные районы перед землятресением, т.к. до начала событий в это место доходят инфразвуковые волны.**

# Гемодинамика

Все реальные жидкости обладают вязкостью (внутренним трением). Силы трения между слоями подчиняются уравнению Ньютона:

$$F = -\eta \frac{d\upsilon}{dr} \cdot S,$$

где $\frac{d\upsilon}{dr}$ – градиент скорости, $S$ – площадь слоев, $dr$ – расстояние между слоями, $\eta$ (этта) – коэффициент внутреннего трения или динамическая вязкость. Определяют вязкость вискозиметрами (табл. 5).

Таблица. 5

| Температура $t$, $^oC$ | 20 | 20 | 36 | 36 |
|---|---|---|---|---|
| Вязкость | $1{,}5\cdot10^{-5}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $4\cdot10^{-3}$ | $1{,}5\cdot10^{-3}$ |
| вещество | воздух | вода | кровь | плазма |

Вязкость крови увеличивается при тяжелой физической работе, при некоторых заболеваниях: $23\cdot10^{-3}$ Па·с при сахарном диабете (кровь не проникает в капилляры, сопровождается гангреной нижних конечностей), или уменьшается $10^{-3}$ Па·с при туберкулезе. Вязкость сказывается на таком клиническом параметре, как скорость оседания эритроцитов (СОЭ).

## §. Ньютоновские и неньютоновские жидкости

Ньютоновские жидкости – в этих жидкостях вязкость не зависит от градиента скорости. Они подчиняются уравнению Ньютона (вода, водные растворы, низкомолекулярные органические соединения - этиловый спирт, ацетон).

Неньютоновские жидкости – это жидкости, для которых вязкость зависит от режима течения и градиента скорости. Это высокомолекулярные органические соединения, суспензии, эмульсии.

Эти жидкости состоят из сложных и крупных молекул, которые могут образовывать пространственные структуры. Этот вид вязкости много больше, чем у ньютоновских жидкостей. Цельная кровь является неньютоновской жидкостью. Ее вязкость тем выше, чем медленнее она течет.

**а)** Течение крови в артериях в норме является ламинарным, т.е. упорядоченным. Ламинарное течение в переводе означает слоистое.

Рассмотрим ламинарное течение ньютоновской жидкости в трубе радиусом $R$ и длиной $L$ (рис. 8).

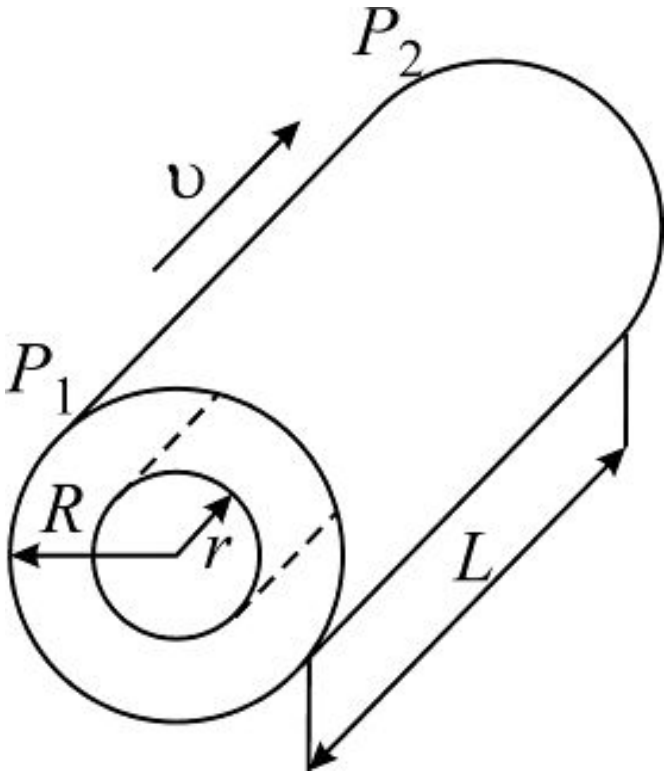



**Рис.** 8.

Для сохранения постоянного режима течения нужен перепад давлений ($P_1$-$P_2$). Выделим цилиндрический слой радиусом $r$. Течение жидкости в нем тормозится под действием силы трения, пропорциональной вязкости η и

площади боковой поверхности $S = 2\pi rL$, а также градиенту скорости $d\upsilon/dr$; $F_{тр} = -\eta(d\upsilon/dx)\cdot 2\pi rL$. Силу трения можно найти через разность давлений: $F_{тр} = (P_1 - P_2)\cdot \pi r^2$.

Приравняем правые части выражений для $F_{тр}$ и разделим переменные:

$$d\upsilon = -\frac{(P_1 - P_2)}{2\eta L} r dr.$$

Проинтегрируем это выражение

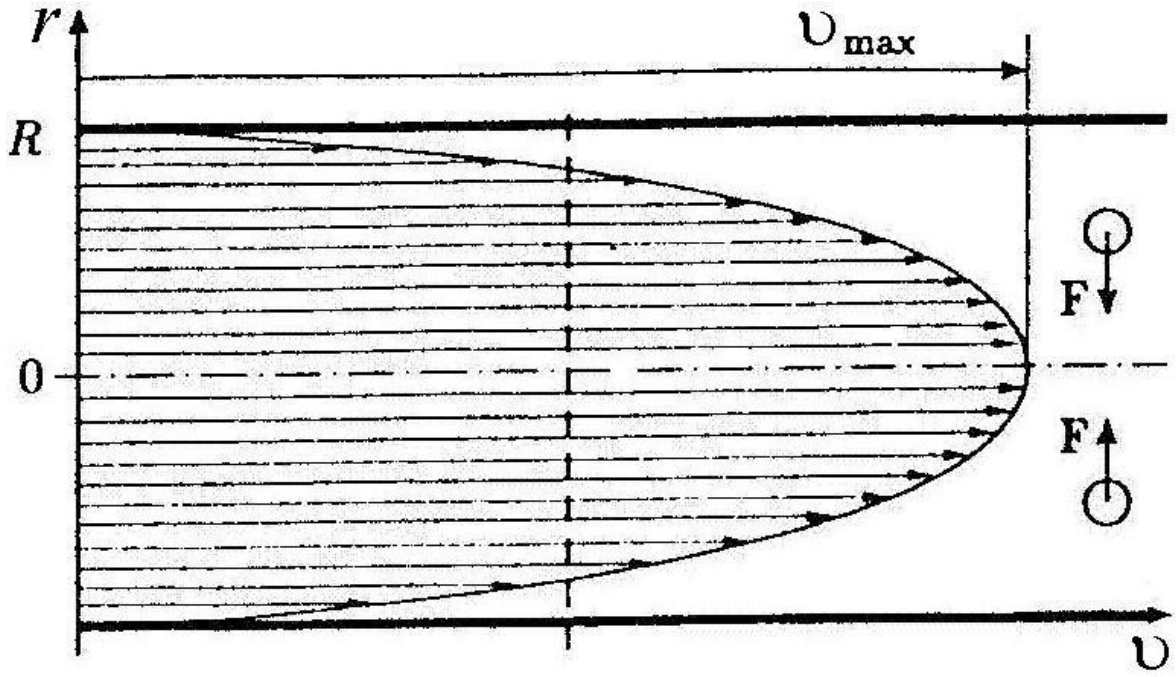
$$\int_0^{\upsilon} d\upsilon = -\frac{(P_1 - P_2)}{2\eta L} \int_r^R r dr.$$

Поменяем местами пределы интегрирования для $\upsilon$.

Получим следующее выражение для скорости:

$$\upsilon = \frac{P_1 - P_2}{4\eta L}(R^2 - r^2).$$

Это выражение показывает, что скорость от осевой линии до стенки трубы меняется по параболическому закону (рис. 9).




Низкая скорость около стенки означает, что давление здесь высокое в соответствие с уравнением Бернулли, в центре трубы минимальное. В связи с этим частицы (например, клетки крови) будут испытывать силу, толкающую их к центру трубы.

По этой же причине клетки крови скапливаются вдоль оси потока, а плазма (малая вязкость) – по его периферии. Толщина плазмы составляет 0,004–0,04 мм. Эритроциты в этот слой практически не попадают. Плазма играет роль смазки, благодаря которой сопротивление движению эритроцитов снижается. Чем тоньше сосуд, тем более выражено снижение сопротивления.

**б) Турбулентное течение** – это хаотическое, крайне нерегулярное, неупорядоченное течение.

Элементы жидкости совершают движение по сложным траекториям, что приводит к перемешиванию. При турбулентном течении эритроциты, которые обычно ориентированы своей длинной осью по направлению потока, переориентируются и располагаются хаотически. При таком движении местное изменение давления вызывает колебательное движение жидкости, которое сопровождается шумом. Турбулентное движение приводит к дополнительной работе сердца. Шум при турбулентности может быть использован для диагностирования заболевания.

Шум прослушивается, например, на плечевой артерии при измерении давления крови.