

Ультразвук и его
применение.
Скорость звука в
различных средах.

Что такое ультразвук?

В последнее время все более широкое распространение в производстве находят технологические процессы, основанные на использовании энергии ультразвука. Ультразвук нашел также применение в медицине. В связи с ростом единичных мощностей и скоростей различных агрегатов и машин растут уровни шума, в том числе и в ультразвуковой области частот.

Ультразвуком называют механические колебания упругой среды с частотой, превышающей верхний предел слышимости -20 кГц. Единицей измерения уровня звукового давления является дБ. Единицей измерения интенсивности ультразвука является ватт на квадратный сантиметр (Вт/см²) Человеческое ухо не воспринимает ультразвук, однако некоторые животные, например, летучие мыши могут и слышать, и издавать ультразвук. Частично воспринимают его грызуны, кошки, собаки, киты, дельфины. Ультразвуковые колебания возникают при работе моторов автомобилей, станков и ракетных двигателей.

В практике для получения ультразвука обычно применяют электромеханические генераторы ультразвука, действие которых основано на способности некоторых материалов изменять свои размеры под действием магнитного (магнитострикционные генераторы) или электрического поля (пьезоэлектрические генераторы), при этом генераторы издают звуки высокой частоты.

Вследствие большой частоты (малой длины волны) ультразвук обладает особыми свойствами. Так, подобно свету, ультразвуковые волны могут образовывать строго направленные пучки. Отражение и преломление этих пучков на границе двух сред подчиняется законам геометрической оптики. Он сильно поглощается газами и слабо - жидкостями. В жидкости под воздействием ультразвука образуются пустоты в виде мельчайших пузырьков с кратковременным возрастанием давления внутри них. Кроме того, ультразвуковые волны ускоряют протекание процессов диффузии (взаимопроникновения двух сред друг в друга). Ультразвуковые волны существенно влияют на растворимость вещества и в целом на ход химических реакций.

Эти свойства ультразвука и особенности его взаимодействия со средой обуславливают его широкое техническое и медицинское использование. Ультразвук применяют в медицине и биологии для эхолокации, для выявления и лечения опухолей и некоторых дефектов в тканях организма, в хирургии и травматологии для рассечения мягких и костных тканей при различных операциях, для сварки сломанных костей, для разрушения клеток (ультразвук большой мощности). В ультразвуковой терапии для лечебных целей используют колебания 800-900 кГц.



Влияние ультразвука на организм человека

Ультразвук обладает главным образом локальным действием на организм, поскольку передается при непосредственном контакте с ультразвуковым инструментом, обрабатываемыми деталями или средами, где возбуждаются ультразвуковые колебания. Ультразвуковые колебания, генерируемые ультразвуком низкочастотным промышленным оборудованием, оказывают неблагоприятное влияние на организм человека. Длительное систематическое воздействие ультразвука, распространяющегося воздушным путем, вызывает изменения нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Наиболее характерным является наличие вегетососудистой дистонии и астенического синдрома. Степень выраженности изменений зависит от интенсивности и длительности воздействия ультразвука и усиливается при наличии в спектре высокочастотного шума, при этом присоединяется выраженное снижение слуха. В случае продолжения контакта с ультразвуком указанные расстройства приобретают более стойкий характер.

При действии локального ультразвука возникают явления вегетативного полиневрита рук (реже ног) разной степени выраженности, вплоть до развития пареза кистей и предплечий, вегетативно-сосудистой дисфункции. Характер изменений, возникающих в организме под воздействием ультразвука, зависит от дозы воздействия. Малые дозы - уровень звука 80-90 дБ - дают стимулирующий эффект - микромассаж, ускорение обменных процессов. Большие дозы - уровень звука 120 и более дБ - дают поражающий эффект.

В поле ультразвуковых колебаний в живых тканях ультразвук оказывает механическое, термическое, физико-химическое воздействие (микромассаж клеток и тканей). При этом активизируются обменные процессы, повышаются иммунные свойства организма. Ультразвук оказывает выраженное обезболивающее, спазмолитическое, противовоспалительное и общетонизирующее действие, стимулирует крово- и лимфообращение, ускоряет регенеративные процессы, улучшает трофику тканей. Время воздействия на болевую зону 3-5 мин, а в сумме - на несколько зон - не более 12-15 мин на всю процедуру и не более 10-12 процедур раз в 3 месяца. Так как ультразвук полностью отражается от тончайших прослоек воздуха, к телу его подводят через безвоздушные контактные среды.

Свисток Гальтона

Первый ультразвуковой свисток сделал в 1883 году англичанин Гальтон. Газ, пропускаемый под высоким давлением через полый цилиндр, ударяется об эту «губу»; возникают колебания, частота которых (она составляет около 170 кГц) определяется размерами сопла и губы. Мощность свистка Гальтона невелика. В основном его применяют для подачи команд при дрессировке собак.



.Рождение ультразвука

В 1880 году французские физики, братья Пьер и Поль Кюри, заметили, что при сжатии и растяжении кристалла кварца с двух сторон на его гранях, перпендикулярных направлению сжатия, появляются электрические заряды. Это явление было названо пьезоэлектричеством (от греческого «пьеzo» - «давлю»), а материалы с такими свойствами - пьезоэлектриками. Позже это явление объяснили анизотропией кристалла кварца - разные физические свойства вдоль разных граней.

Во время первой мировой войны французский исследователь Поль Ланжевен предложил использовать пьезоэлектрический эффект для обнаружения подводных лодок. Если пьезоэлектрик встречается на своем пути ультразвуковую волну от винта лодки, которая распространяется со скоростью 1460 км/с, то она сжимает его грани, и на них появляются электрические заряды. Сжимаясь и разжимаясь, кристалл как бы генерирует переменный электрический ток, который можно измерить чувствительными приборами. Если же к граням кристалла приложить переменное напряжение, он сам начнет колебаться, сжимаясь и разжимаясь с частотой переменного напряжения. Эти колебания кристалла передаются среде, граничащей с кристаллом (воздуху, воде, твердому телу). Так возникает ультразвуковая волна.

Ланжевен попробовал зарядить грани кварцевого кристалла электричеством от генератора переменного тока высокой частоты. При этом он заметил, что кристалл колеблется в такт изменению напряжения.

Применение ультразвука

Приготовление смесей с помощью ультразвука

Широко применяется ультразвук для приготовления однородных смесей (гомогенизации). Еще в 1927 году американские ученые Лимус и Вуд обнаружили, что если две несмешивающиеся жидкости (например, масло и воду) слить в одну мензурку и подвергнуть облучению ультразвуком, то в мензурке образуется эмульсия, то есть мелкая взвесь масла в воде. Подобные эмульсии играют большую роль в промышленности: это лаки, краски, фармацевтические изделия, косметика. Широкое внедрение такого метода приготовления эмульсий в промышленность началось после изобретения жидкостного свистка.

Применение ультразвука в биологии.

Способность ультразвука разрывать оболочки клеток нашла применение в биологических исследованиях, например, при необходимости отделить клетку от ферментов. Ультразвук используется также для разрушения таких внутриклеточных структур, как митохондрии и хлоропласты с целью изучения взаимосвязи между их структурой и функциями (аналитическая цитология). Другое применение ультразвука в биологии связано с его способностью вызывать мутации. Исследования, проведенные в Оксфорде, показали, что ультразвук даже малой интенсивности может повредить молекулу ДНК. Искусственное целенаправленное создание мутаций играет большую роль в селекции растений. Главное преимущество ультразвука перед другими мутагенами (рентгеновские лучи, ультрафиолетовые лучи) заключается в том, что с ним чрезвычайно легко работать.

Применение ультразвука для диагностики.

Ультразвуковые колебания при распространении подчиняются законам геометрической оптики. В однородной среде они распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью. На границе различных сред с неодинаковой акустической плотностью часть лучей отражается, а часть преломляется, продолжая прямолинейное распространение. Чем выше градиент перепада акустической плотности граничных сред, тем большая часть ультразвуковых колебаний отражается. Так как на границе перехода ультразвука из воздуха на кожу происходит отражение 99,99 % колебаний, то при ультразвуковом сканировании больного необходимо смазывание поверхности кожи водным желе, которое выполняет роль переходной среды. Отражение зависит от угла падения луча (наибольшее при перпендикулярном направлении) и частоты ультразвуковых колебаний (при более высокой частоте большая часть отражается).

Для исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства, а также полости малого таза используется частота 2,5 - 3,5 МГц, для исследования щитовидной железы используется частота 7,5 МГц.

Используются три типа ультразвукового сканирования:

- линейное (параллельное),
- конвексное
- и секторное.

Соответственно датчики или трансдюсоры ультразвуковых аппаратов называются линейные, конвексные и секторные. Выбор датчика для каждого исследования проводится с учетом глубины и характера положения органа. Для щитовидной железы используются конвексные трансдюсоры на 7,5 МГц, для исследования почек и печени в равной степени пригодны как линейные, так и конвексные датчики.

Как рождается ультразвуковая картинка?

Пьезоэлектрические кристаллы внутри датчика излучают ультразвук импульсами.



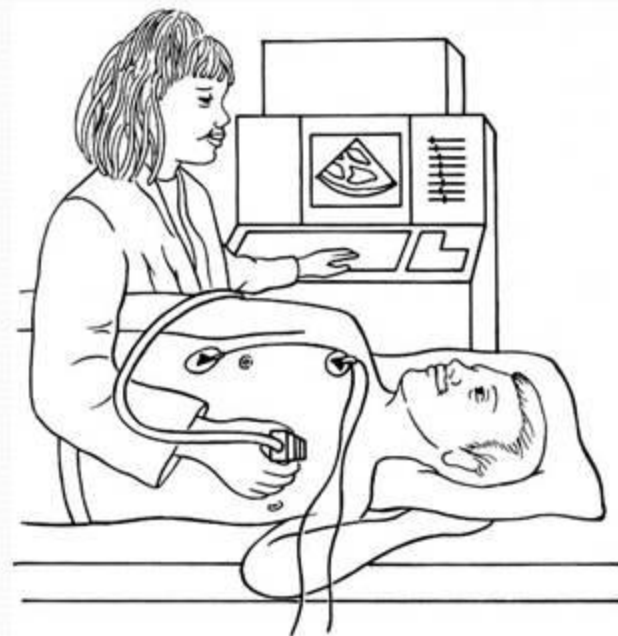
Импульс проходит сквозь тело пациента, отражаясь от поверхности тканей с различной плотностью.



Отраженный ультразвук (эхо) возвращается к датчику, где трансформируется в электрический сигнал.

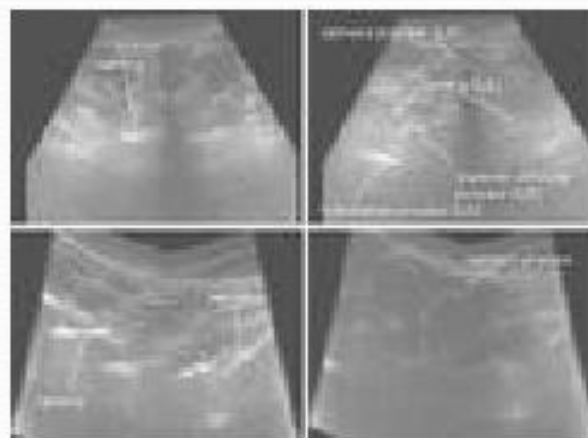
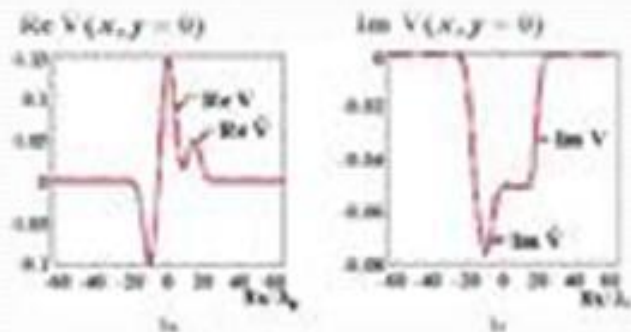


Этот сигнал обрабатывается процессором и на экран выводится готовое изображение.



Ультразвуковое исследование

- В настоящее время ультразвуковая диагностика получила широкое распространение. В основном при распознавании патологических изменений органов и тканей используют ультразвук частотой от 500 кГц до 15 МГц. Звуковые волны такой частоты обладают способностью проходить через ткани организма, отражаясь от всех поверхностей, лежащих на границе тканей разного состава и плотности.
- Принятый сигнал обрабатывается электронным устройством, результат выдается в виде кривой (эхограмма) или двухмерного изображения (т.н. сонограмма - ультразвуковая сканограмма).



Ультразвуковая терапия

Ультразвук широко используют для лечения суставов, сухожильного аппарата, мышечных атрофий и т.п.



Скорость звуковых волн в различных средах.

Мы обычно считаем, что звук распространяется в воздухе, потому что, как правило, именно воздух контактирует с нашими барабанными перепонками, и его колебания заставляют колебаться эти перепонки. Однако звуковые волны могут распространяться и в других веществах. Удары двух камней друг о друга пловец может слышать, находясь под водой, поскольку колебания передаются уху водой. Если приложить ухо к земле, то можно услышать приближение поезда или трактора. В этом случае земля не воздействует непосредственно на ваши барабанные перепонки. Однако продольную волну, распространяющуюся в земле, называют звуковой волной, поскольку её колебания приводят к колебаниям воздуха во внешнем ухе. Действительно, продольные волны, распространяющиеся в любой материальной среде, часто называют звуковыми. Очевидно, звук не может распространяться в отсутствие вещества. Например, нельзя услышать звон колокола, находящегося внутри сосуда, из которого выкачан воздух [опыт Роберта Бойля (1660 год)].

Скорость звука в различных веществах имеет разные значения. В воздухе при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 1 атм звук распространяется со скоростью $331,3\text{ м/с}$. В воздухе и других газообразных и жидких средах скорость зависит от модуля всестороннего сжатия \mathbf{B} и плотности среды (вещества) $\mathbf{\rho}$:

В гелии, плотность которого значительно меньше, чем плотность воздуха, а модуль всестороннего сжатия почти такой же, скорость звука больше почти в три раза. В жидкостях и твёрдых телах, которые значительно менее сжимаемы и, следовательно, имеют значительно большие модули упругости, скорость соответственно больше. Они в наибольшей степени зависят от температуры, однако эта зависимость существенна только для газов и жидкостей. Например, в воздухе при повышении температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость звука возрастает приблизительно на $0,60\text{ м/с}$:

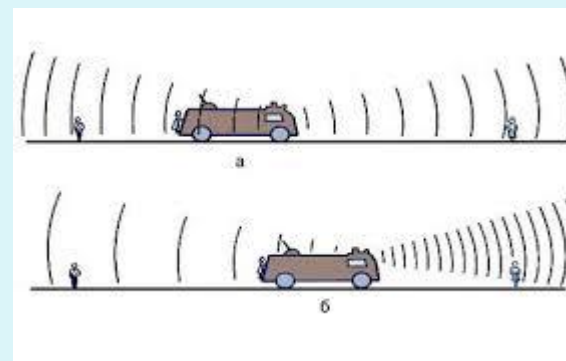
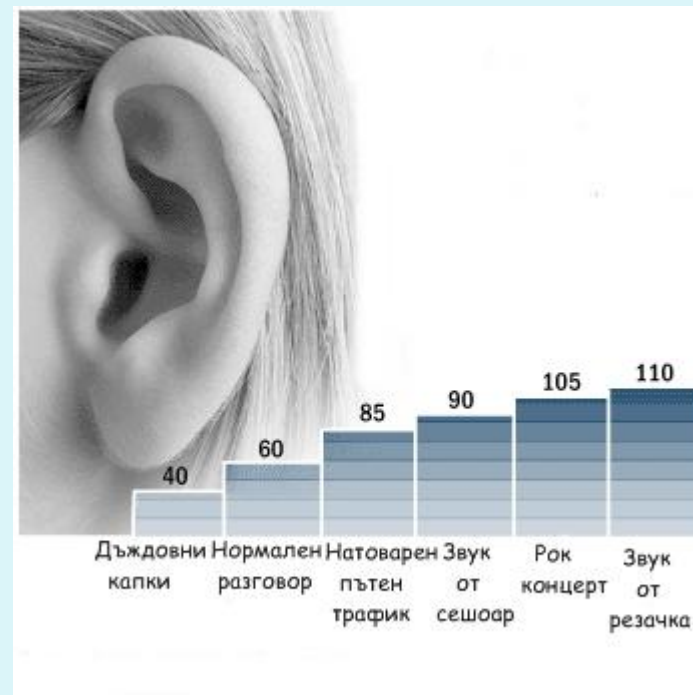
$$u \approx (331 + 0,60T)\text{ м/с},$$

где T -температура в $^{\circ}\text{C}$. Например, при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ мы имеем:

$$u \approx [331 + (0,60) \cdot (20)]\text{ м/с} = 343\text{ м/с}.$$

Эффект Доплера в акустике.

Вы могли заметить, что высота звука сирены пожарной машины, движущейся с большой скоростью, резко падает после того, как эта машина пронесётся мимо вас. Возможно, вы замечали также изменение высоты сигнала автомобиля, проезжающего на большой скорости мимо вас. Высота звука двигателя гоночного автомобиля тоже изменяется, когда он проезжает мимо наблюдателя. Если источник звука приближается к наблюдателю, высота звука возрастает по сравнению с тем, когда источник звука покоился. Если же источник звука удаляется от наблюдателя, то высота звука понижается. Это явление называется эффектом Доплера и имеет место для всех типов волн..



Летучие мыши, использующие при ночном ориентировании эхолокацию, испускают при этом ртом (кожановые — *Vespertilionidae*) или имеющим форму параболического зеркала носовым отверстием (подковоносые — *Rhinolophidae*) сигналы чрезвычайно высокой интенсивности. На расстоянии 1 — 5 см от головы животного давление ультразвука достигает 60 мбар, то есть соответствует в слышимой нами частотной области давлению звука, создаваемого отбойным молотком. Эхо своих сигналов летучие мыши способны воспринимать при давлении всего 0,001 мбар, то есть в 10000 раз меньше, чем у испускаемых сигналов. При этом летучие мыши могут обходить при полете препятствия даже в том случае, когда на эхолокационные сигналы накладываются ультразвуковые помехи с давлением 20 мбар. Механизм этой высокой помехоустойчивости еще неизвестен. При локализации летучими мышами предметов, например, вертикально натянутых нитей с диаметром всего 0,005 — 0,008 мм на расстоянии 20 см (половина размаха крыльев), решающую роль играют сдвиг во времени и разница в интенсивности между испускаемым и отраженным сигналами.

Ультразвук в природе



Подковоносы могут ориентироваться и с помощью только одного уха (моноаурально), что существенно облегчается крупными непрерывно движущимися ушными раковинами. Они способны компенсировать даже частотный сдвиг между испускаемыми и отражёнными сигналами, обусловленный эффектом Доплера (при приближении к предмету эхо является более высокочастотным, чем посылаемый сигнал). Понижая во время полёта эхолокационную частоту таким образом, чтобы частота отражённого ультразвука оставалась в области максимальной чувствительности их «слуховых» центров, они могут определить скорость собственного перемещения.

У ночных бабочек из семейства медведиц развился генератор ультразвуковых помех, «сбивающий со следа» летучих мышей, преследующих этих насекомых.

Эхолокацию используют для навигации и птицы — жирные козодои, или гуахаро. Населяют они горные пещеры Латинской Америки — от Панамы на северо-западе до Перу на юге и Суринама на востоке. Живя в кромешной тьме, жирные козодои, тем не менее, приспособились виртуозно летать по пещерам. Они издают негромкие щёлкающие звуки, воспринимаемые и человеческим ухом (их частота примерно 7 000 Герц). Каждый щелчок длится одну-две миллисекунды. Звук щелчка отражается от стен подземелья, разных выступов и препятствий и воспринимается чутким слухом птицы.

Ультразвуковой эхолокацией в воде пользуются китообразные