

Лекция 1

1.1. Что есть ультразвук

Сверхзвук и фактически неслышимый звук.

Неслышимый звук - непривычное сочетание, аналогично выражениям черный свет или холодный кипяток. Между тем такие звуки действительно существуют в природе и окружают нас. Мы встречаемся с ними на каждом шагу, но не обращаем на них внимание. А почему? Потому что эти звуки мы не слышим.

Но необходимо знать и помнить, что ультразвуки, наряду с обычными излучают тикающие часы, летящий самолет, телефонный звонок, элементы строчной развертки телевизора.

Самое древнее упоминание о применении ультразвука человеком обнаружено в истории древнего Китая. До настоящего времени сохранился медный чан с эбонитовыми ручками, принцип действия которого стал понятен только в наши дни. При интенсивном вращении ручек вода в центре чана вскипала оставаясь холодной. Современными учеными было установлено, что при вращении ручек создавались ультразвуковые колебания, которые концентрировались в центре чана. Интенсивность этих колебаний оказывалась достаточной для создания кавитации – мельчайших взрывающихся пузырьков.

Человек способен излучать только один ультразвук. “Ксс”

По своей физической природе звук и УЗ ничем друг от друга не отличаются. Это упругие колебания в материальных средах. Да и собственно нет резкого перехода.

Граница : звук - УЗ для каждого человека своя . Для некоторых это 10 КГц , для других - 20 КГц , а встречаются уникалы способные воспринимать 50 КГц .

Обычно границей УЗ принято считать 16...20 КГц. Еще более сложная проблема с определением верхней границы УЗ . Возможности человеческого уха здесь не играют роли , и приходится отталкиваться от физической природы упругих колебаний , которые могут распространяться в материальной среде при условии , длина волны молекул больше межатомных расстояний .

Длина их волны $\sim 1/f$. $\lambda = c / f$. На основании исследований установлено существование УЗ колебаний с частотой большей, чем 100

МГц . УЗ более высокой частоты затухает настолько , что колебания поглощаются непосредственно у поверхности излучателя .

На практике используются $УЗК \leq 25$ МГц. Такие высокие частоты только в кристаллах.

Что же такое ультразвук – вернее ультразвуковые колебания и как они могут распространяться .

Распространение ультразвука - это процесс перемещения в пространстве и во времени возмущений, имеющих место в звуковой волне. Распространение ультразвука описывается волновым уравнением.

Звуковая волна распространяется в веществе, находящемся в газообразном, жидком или твердом состоянии, в том же направлении, в котором происходит смещение частиц этого вещества, то есть она вызывает деформацию среды. Деформация заключается в том, что происходит последовательное разряжение и сжатие определенных объемов среды, причем расстояние между двумя соседними областями соответствует длине ультразвуковой волны. Чем больше удельное акустическое сопротивление среды, тем больше степень сжатия и разряжения среды при данной амплитуде колебаний.

Частицы среды, участвующие в передаче энергии волны, колеблются около положения своего равновесия. Скорость, с которой частицы колеблются около среднего положения равновесия называется колебательной скоростью. Колебательная скорость частиц изменяется согласно уравнению:

$$V = U \sin (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + G), \text{ где}$$

V - величина колебательной скорости;

U - амплитуда колебательной скорости;

f - частота ультразвука;

t - время;

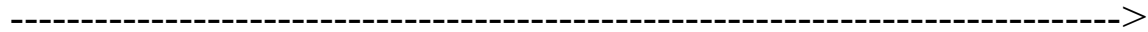
G - разность фаз между колебательной скоростью частиц и переменным акустическим давлением.

Амплитуда колебательной скорости характеризует максимальную скорость, с которой частицы среды движутся в процессе колебаний, и

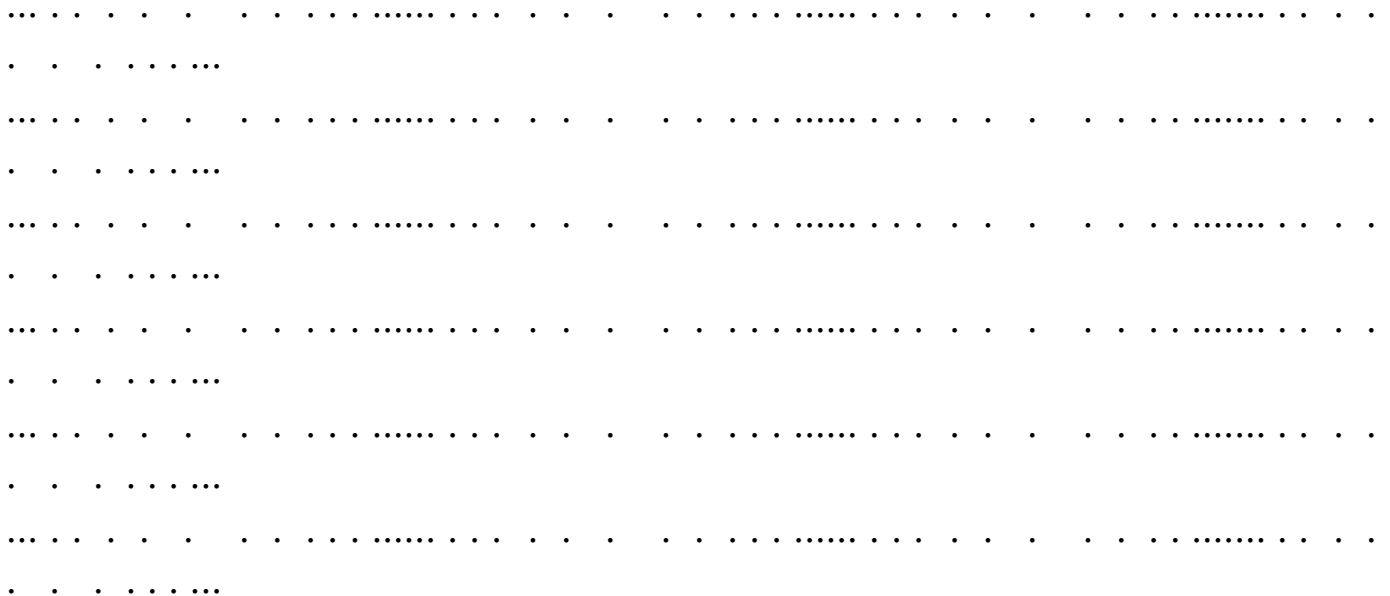
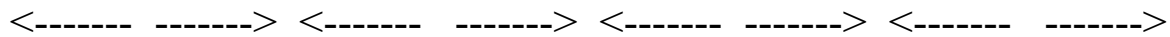
определяется частотой колебаний и амплитудой смещения частиц среды.

$U = 2 \cdot \rho \cdot f \cdot A$, где A - амплитуда смещения частиц среды.

направление распространения волны



направление смещения частиц



длина волны

1.2. Чем отличается УЗ от обычных звуков

1. УЗ имея большую частоту f обладает значительно более короткими длинами волн, которые легко фокусируются (Пример для воды – длина волны ультразвуковых колебаний с частотой 150 кГц, распространяющихся в воде, где скорость распространения 1500 м/с составит $\lambda = c / f = 1$ см). Это позволяет формировать более узкое и направленное излучение, (то есть направить энергию в нужном направлении и сосредоточить ее в нужном объеме). Поэтому многие

правлении и сосредоточить ее в нужном объеме). Поэтому многие свойства аналогичны световым лучам .

2. УЗ может распространяться и в непрозрачных средах, что позволяет использовать их для исследования полимеров, металлов и т.п.

3. Мощность УЗ пропорциональна квадрату частоты, и поэтому, в отличие от звуковой мощности - очень велика . Мощность ультразвуковых колебаний может достигать сотен киловатт , а интенсивность (энергия через единицу площади в единицу времени) - $1...100 \text{ Вт/см}^2$. Следовательно внутрь тела может распространяться очень большая энергия механических колебаний. Возникает так называемое звуковое давление .

Как сравнить, чтобы было наглядно и понятно. Звук средней громкости создает давление P , которое можно рассматривать как давление мошки на листочек, плывущий по воде. Интенсивность звуковых колебаний, возникающих в момент пушечного выстрела равна $0,01 \text{ Вт/см}^2$. Мы с Вами легко создаем, даже в лабораторных условиях) ультразвуковые колебания с интенсивностью более $J=3...5 \text{ Вт/см}^2$.

4. При $J=3...5 \text{ Вт/см}^2$ давление в воде оказывается равным $5...6$ атмосфер (т.е. в миллион раз превышает давление звука).

Кроме того, не следует забывать, что это давление меняет свой знак, переходя в разряжение с частотой большей 20 тысяч раз в секунду.

Возможность ввода огромных энергий позволяет повысить эффективность множества технологических процессов, создавать новые материалы, получать новые вещества, решать многие вопросы технологического контроля и измерений. Эти свойства положены в основу применения УЗ .

1.3. Промышленное применение УЗ

Промышленное применение УЗ развивается в двух направлениях:

1. Применение волн малой интенсивности (низкоэнергетические колебания, не приводящие к необратимым изменениям в материалах и телах, через которые распространяются) для контроля, измерений, исследований внутренней структуры.

По применению волн малой интенсивности нами будут рассмотрены вопросы измерения технологических параметров с помощью УЗ (уровнеметры, расходомеры, анализаторы состава газов, жидкости и твердых веществ).

Основные задачи - измерения технологических параметров

- расходомеры

- анализаторы свойств вещества

2. Применение высокоэнергичных колебаний - волн высокой интенсивности для активного воздействия на вещества и изменения их структуры и свойств.

Остановимся последовательно на применении волн высокой интенсивности. Эта область развивается примерно 40 лет. В курсе лекций планируется просто осветить современное состояние вопроса теории и практики применения УЗ.

Я не рассчитываю на то, что вы станете специалистами по УЗ технологиям, но считаю что полученные знания должны позволять Вам решать многие производственные задачи в Вашей будущей деятельности.

По этой причине я хотел бы начать свой курс не с основ физики УЗ, а с вопросов существования и использования УЗ в природе, а также рассмотреть перспективы развития УЗ технологий в промышленности.

1.4. Использование ультразвуковых колебаний

В настоящее время активно развивается новая область знаний - биоакустика, изучающая формы, способы и системы звукового общения. Оказывается, многие живые существа в процессе эволюции научились использовать свой язык для ориентации в пространстве.

Ученые выявили и обнаружили множество различных ультразвуков, используемых животными. Чаще всего это сигналы предупреждения об опасности, выражение угрозы, удовлетворения, победы и т.д.

Развитие биоакустики подогревается не праздным любопытством, а требованиями практики. Знания, добываемые биоакустикой, используются при проектировании новых приборов.

Примеры: охрана от птиц аэродромов, защита полей от вредителей, управление поведением стадных животных.

Наибольшее широко ультразвук используется у обитателей морей. Установлено, что в воде УЗ распространяется со скоростью 5300 км/ч.

Ничто не может двигаться в воде быстрее, чем УЗ колебания. Если в воздухе источник в 100 кВт слышен на расстоянии 15 км, то в воде 1 кВт до 100 км. Вода прозрачна для ультразвука, как воздух для света.

Колебания, излучаемые рыбами, креветками и другими морскими животными позволяют обнаруживать их рыбакам. Эти же излучения позволяют определять местонахождение косяка рыб и его размеры. Многие представители животного мира имеют возможность принимать и воспроизводить УЗ. Так например морская свинка, сова, серая мышь, барсук, водяные жуки, некоторые ночные бабочки воспринимают звуки с частотой до 100 кГц. Собаки слышат УЗ. Летучие мыши, дельфины, киты не могут существовать без использования ультразвуков - им УЗ заменяет зрение.

Ориентация летучих мышей и дельфинов - эхолоция. Обнаружение проволоки диаметром 0,08 мм (в 24 раза лучше, чем свидетельствуют теоретические расчеты). Дельфины в воде видят до 30 метров.

Дельфин на расстоянии 15...20 метров безошибочно подплывает к брошенной в воду дробинке.

Механизм, созданный природой очень сложен и до конца не исследован.

Сегодняшний уровень техники позволяет смоделировать эхолокатор дельфин. Но если у дельфина он весит 200 г., то созданный человеком аппарат весит более 100 кг.

1.5. Получение и применение УЗ человеком

Человек начал использовать ультразвук после открытия в 1880 году братьями Жаком и Пьером Кюри пьезоэлектрического эффекта.

Сущность его заключается в следующем: если деформировать пластину кварца, то на ее гранях появляются противоположные по знаку электрические заряды.

“Пьезо” - по гречески “дарить”.

Впервые этот эффект обнаружен у горного хрусталя (разновидности кварца).

Получение электрического сигнала при сжатии - прямой пьезоэффект.

Но оказалось, что существует и обратный пьезоэффект. Если прикладывать к пластине переменное напряжение, то кристалл начинает сжиматься и расширяться с частотой прикладываемого напряжения U .

Прямой пьезоэффект позволил создать приемники, а обратный пьезоэффект излучатели УЗ колебаний. Кварц был дорог и малоэффективен.

Многочисленные попытки привели к созданию искусственных пьезоматериалов на основе титаната бария и цирконата титаната свинца. У этих материалов пьезоэффект в 100 раз больше, чем у кварца.

Аналогичные материалы были обнаружены среди магнитных материалов и получили название магнестрикторов.

Оказалось, что помещение ферромагнитного материала в направленное вдоль него магнитное поле приводит к изменению геометрических размеров стержня.

Не останавливаясь подробно на использовании магнестрикторов, я хотел бы отметить, что до последнего времени в УЗ технологических установках использовались именно они, поскольку пьезоматериалы уступали им по ряду свойств.

Но в последние 10 лет развитие пьезоматериалов шло настолько бурно, что были созданы сотни типов пьезоматериалов отличающихся по характеристикам и назначению. Они оказались способны заменить магнестрикторы во всех имеющихся разработках и позволяющие создать новые уникальные аппараты и технологии.

На основе магнестрикторов и пьезокерамических материалов и элементов разрабатываются преобразователи. Преобразователь обеспечивает преобразование энергии электрических колебаний в энергию механических колебаний и вводит ее в обрабатываемые среды.

Для чего же можно использовать УЗ колебания.

Одно из основных направлений технического прогресса связано с дальнейшим развитием и совершенствованием промышленных технологий.

Однако современные требования охраны окружающей среды и рационального природопользования исключают безоглядную технизацию и интенсификацию производства «любой ценой». На первый план выдвигаются требования совершенствования существующих и создания новых технологий, обеспечивающих максимальное снижение материальных затрат и энергетических загрязнений.

Наиболее эффективно эти проблемы решаются за счет использования новых источников (или видов) энергии, более полного использования исходного сырья и минимизации вредных отходов.

В связи с этим очень перспективным направлением интенсификации технологических процессов является использование энергии механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности.

Эффективность УЗ воздействий на различные технологические процессы подтверждена многочисленными исследованиями и опытом более чем тридцатилетнего применения УЗ технологий на ряде предприятий различных отраслей промышленности, позволившими установить следующее:

1. Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности обеспечивает 10...1000 кратное ускорение процессов, протекающие между двумя или несколькими неоднородными средами (растворение, очистку, обезжиривание, дегазацию, крашение, измельчение, пропитку, эмульгирование, экстрагирование, кристаллизацию, полимеризацию, предотвращение образования накипи, гомогенизацию, эрозию, химические и электрохимические реакции и многое другое). При этом увеличивается выход полезных продуктов (например, экстрактов) и им придавались дополнительные свойства (например, биологическая активность и стерильность), а также удается получить вещества с новыми свойствами (например, тонкодисперсные эмульсии и суспензии).

2. Использование ультразвуковых колебаний позволяет осуществлять технологические процессы, не реализуемые, или сложно реализуемые, традиционными методами - обеспечивать размерную обработку (сверление, снятие фасок, выполнение пазов) хрупких и твердых материалов, таких как керамики, полупроводниковые материалы, стекло, самоцветы, ферриты, сверхтвердые сплавы и стали.

3. Ультразвуковые колебания позволяют интенсифицировать многие процессы, происходящие на границе контакта материалов (сварку полимерных материалов, склеивание), ускоряя технологические процессы и повышая качество получаемых изделий.

Несомненные и уникальные достоинства УЗ технологий должны были обеспечить их широчайшее использование при решении сложных проблем современных производств, ориентированных на выпуск конкурентоспособной продукции.

Отмеченные выше достижения ультразвуковых технологий, до настоящего времени почти не известны и не используются в практической производственной и бытовой деятельности жителей страны. Причин тому несколько.

1. До недавнего времени ультразвуковые аппараты изготавливались из электронных компонентов низкой степени интеграции, а излучающие элементы и волноводы представляли собой сложные конструкции на основе магнитострикционных материалов, требующих принудительного охлаждения. В силу необходимости стабилизировать множество параметров генераторов электрических колебаний ультразвуковой частоты, последние представляли собой ненадежные устройства, настройка и эксплуатация которых требовала усилий специалистов высокой квалификации. Используемые в производственной практике мощные генераторы ультразвуковых колебаний обладали очень низким КПД (3 - 5%) и во время работы создавали вокруг себя паразитные излучения (акустические и электромагнитные), несоизмеримые с полезными воздействиями.

В силу сложности, низкой эффективности и высокой стоимости ультразвуковых аппаратов, они развивались только применительно к решению проблем крупных серийных производств, а мелкосерийное и бытовое применение ультразвуковых технологий до 90 годов практически не рассматривалось.

Изменению ситуации способствовало решение ряда научно-технических проблем по созданию новых конструкций колебательных систем и электронных устройств. Возможность локализации ультразвуковых воздействий в малых, легко экранируемых объемах, формирование колебаний ультразвуковыми системами, не имеющих связи с окружающей средой через потоки охлаждающей жидкости и исключение потерь высокочастотной энергии в преобразовательных трактах электронных генераторов позволили надеяться на полное или частичное исключение вредные паразитные излучения.

2. Малое распространение ультразвуковых технологий было обусловлено тем, что отсутствовал рынок потребителей малогабаритных ультразвуковых аппаратов, и только рыночное развитие эконо-

мики стимулировало появления множества малых предприятий по переработке растительного сырья и обработке материалов, успешная деятельность которых в значительной степени зависит от эффективности используемых технологий.

3. Широкое внедрение ультразвуковых технологий в жизнь и быт человека сдерживалось отсутствием методического обеспечения, регламентирующего применение ультразвуковых технологий и аппаратуры в промышленности и бытовых условиях. Особенно остро ощущалось отсутствие исследований и рекомендаций по нетрадиционному применению УЗ-технологий (например, при приготовлении соков, эмульсий, смесей, засолке мяса, рыбы, экстракции, сваривании линолеума, обезжиривании, сверлении отверстий в хрупких материалах и пр.), а также рекомендаций, учитывающих особенности применения УЗ технологий в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве.

4. Реализация ультразвуковых технологий и применение ультразвуковых аппаратов ограничивалось отсутствием комплексного подхода к измерениям параметров аппаратуры, технологических процессов и готовой продукции, способного обеспечить оптимальную настройку аппаратов и максимальную эффективность УЗ воздействий на обрабатываемые среды.

5. Широкое использование ультразвуковых технологий сдерживалось отсутствием экспериментальных и литературных данных, показывающих экологическую безопасность малогабаритных многофункциональных и специализированных УЗ аппаратов, а также обосновывающих максимальную эффективность использования ресурсов при интенсификации получения целевых продуктов УЗ методами.

Из выше изложенного очевидно, что экологически безопасный и ресурсосберегающий путь интенсификации различных технологических процессов с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности должен получить дальнейшее развитие. Практически он должен быть реализован в малоэнергоёмких, высокоэффективных аппаратах, распространён на современные малые предприятия и доведен до индивидуального потребителя

Я, как специалист, занимающийся УЗ технологиями вижу: очень интенсивно растёт на них спрос. Связано это с возможностью интенсифицировать (ускорять) практически все существующие процессы растворения, перемешивания, диспергирования, эмульгирования, экстрагирования и других, в том числе ускорить многие химические

и биологические процессы в сотни тысяч раз . Кроме того УЗ технологии позволяют получать совершенно новые вещества (не получаемые обычным способом) .

1.6. Практические применения УЗ технологий

1. Размерная обработка .

Не каждый металл возьмешь металлом. Поэтому на помощь приходит лазер, электрическая искра, ультразвук. Но, если материал, не проводящий, сверхтвердый или хрупкий, то все известные способы не применимы. А если еще необходимо выполнить отверстие сложной формы. Здесь проблему решает только ультразвук .

Сегодня таким образом обрабатывается алмаз. Механизм этого процесса и аппаратуру мы с вами изучим в дальнейшем и ознакомимся с такой обработкой на лаб. работах . Нами разработаны станки для обрабатывания отверстий от 1 до 120 мм.

2. Те из вас, кто знаком с проблемами металлообработки знают , как трудно поддаются обработке многие современные материалы , в особенности вязкие и непрочные сплавы . Но если в систему “станок-инструмент деталь” ввести УЗ колебания (т.е. добавить излучатель УЗ) , то процесс обработки облегчается в десятки раз . Таким образом осуществляется сверление , зенкование, нарезание резьб , волочение проволоки , труб, полировка, шлифовка .

Все это происходит потому, что наряду с обычным движением на инструмент накладываются ВЧ колебания

3. УЗ очистка .

Сегодня существует множество способов очистки поверхностей от различных загрязнений. УЗ очистка более быстрая, обеспечивает высокое качество и отмывает труднодоступные участки. При этом обеспечивается замена высокотоксичных, огнеопасных и дорогих растворителей обычной водой .

Тот кто автолюбитель должен знать, что значит отмыть карбюратор. УЗ делает это за несколько минут .

Причина ускорения очистки в кавитации. Особым явлением при котором в жидкости образуются мельчайшие газовые пузырьки. Эти пузырьки лопаются (взрываются) и создают мощные гидротоки,

которые вымывают всю грязь . На этом принципе существуют сегодня стиральные машины и малые установки мойки.

Нами разработаны и изготовлены малогабаритные моечные установки для ювелирных изделий .

УЗ очищает металлы от полировочных мест, прокат от окалин, драгоценные камни от полировочных мест. Очистка печатных форм, стирка тканей, мойка ампул. Очистка трубопроводов сложной формы. Кроме очистки УЗ способен производить удаление мелких заусенец, полировку .

Мойка в УЗ уничтожает микроорганизмы, поэтому широко используется в медицине и микробиологии .

Возможна и другая реализация УЗ очистки .

- очистка дыма от твердых частиц в воздухе . Для этого изобретено оригинальное УЗ приспособление, воздействующее на дым. Частицы в УЗ тоже начинают активно двигаться, соударяются и слипаются, осаждаются на стенки . Таким образом выделяются редкие металлы .

- это же явление называется коагуляцией. Используется для борьбы с туманом на аэродромах , на кораблях .

4. УЗ сварка

Как сварить два тончайших лепестка фольги или приварит волосок проволоки к металлической детали. От дуговой сварки лепестки закрутятся или сгорят. Это решается УЗ сваркой . Причем УЗ сварка - является холодной сваркой и шов получается при $T << T_{\text{плавки}}$. Таким образом варятся алюминий , тантал , цирконий , ниобий , молибден и т.п.

Окончательного представления о механизме сварки пока нет, и соответственно, имеет широкое поле для исследований.

Сегодня УЗ сварка широко используется в радиоэлектронике.

Полимеры : значительное место УЗ занимает в сварке пластмассы полимерных материалов. Сварка полиэтиленовых тубиков, коробок, банок дает отличную герметичность. При этом жидкость стерилизуется .

В отличие от других способов можно варить загрязненные пластмассы , с жидкостью и т.д.

Швейные безниточные машины.

5. Пайка и лужение .

Трудности пайки алюминия . УЗ алюминий паяется. С помощью УЗ можно лудить, а затем паять керамику, стекло, что ранее

было невозможно. Ферриты, припайка полупроводниковых кристаллов к позолоченным корпусам .

6. Ультразвук в современной химии

Мы уже говорили о том, что вода под действием УЗ как бы вскипает, молекулы начинают двигаться значительно быстрее .

Еще повторю приведенное выше сравнение. Сила пушечного выстрела $0,01 \text{ Вт/см}^2$. В малогабаритных УЗ установках , весом примерно 2...3 кг (вы их увидите в лаборатории) интенсивность составляет $2...3 \text{ Вт/см}^2$.

В настоящее время, как следует из литературных данных формулируется новое направление в химии - УЗ химия. Изучая химические превращения , происходящие под действием УЗ , ученые установили , что УЗ не только ускоряет окисление, но в некоторых случаях обеспечивают восстанавливающее действие. Таким образом восстанавливается железо из окислов и солей .

Получены хорошие положительные результаты по интенсификации УЗ следующих химико-технологических процессов:

- электроосаждение, полимеризация, деполимеризация, окисление, восстановление, диспергирование, эмульгирование, коагуляция аэрозолей, гомогенизация, пропитка, растворение, распыление, сушка, горение, дубление и др.

Электроосаждение - осаждающийся металл приобретает мелкокристаллическую структуру, уменьшается пористость. Таким образом осуществляемо меднение, лужение, серебрение. Процесс идет быстрее и качество покрытия выше, чем в обычных технологиях .

Получение эмульсий: вода и жир, вода и эфирные масла, вода и ртуть . Барьер несмешиваемости преодолевается благодаря УЗ .

Полимеризация (соединение молекул в одну) - степень полимеризации регулируется частотой УЗ .

Деполимеризация - полистирол, каучук , белки , нитроцеллюлоза .

Диспергирование - получение сверхтонких пигментов для получения красителей.

Сушка - без нагревания биологически активные вещества. В пищевой, фармакологической промышленности .

Распыление жидкостей и расплавов. Интенсификация процессов в распылительных сушках . Получение металлического порошка

из расплавов .Эти распылительные устройства исключают вращающиеся и трущиеся детали .

УЗ усиливает эффективность горения в 20 раз жидких и твердых топлив.

Обработка бетона позволяет сэкономить до 15% цемента .

Пропитка. В сотни раз быстрее проходят через капилляры . Это позволяет осуществлять введение лекарственных препаратов через кожу . Рубероид, шпалы, цементные плиты, текстолит, гетинакс . Пропитка древесины модифицированными смолами

Склеивание материалов .

7. УЗ в металлургии.

- Известно, что металлы при плавлении поглощают газы алюминия и его сплавы . 80% всех газов на долю H₂ . Ухудшение качества металл . Газы удаляются УЗ . В нашей стране создан технологический цикл и широко используется при производстве металлов .

- УЗ способствует закалке металлов

- В порошковой металлургии УЗ способствует слипанию частичек изготавливаемого материала. При этом отпадает необходимость в уплотнении большим давлением .

8. УЗ в горном деле .

- Определение месторождений и границ угольных пластов

- Удаление парафина со стенок нефтяных скважин

- УЗ помогает исключить взрывы метана в шахтах за счет его распыления

- УЗ обогащение руд (флотационный метод с применением УЗ)

- обнаружение пустот в земле .

9. УЗ в радиоэлектронике .

- линии задержки (вода, магниевый сплав - 1,7 мкс/см, ртуть-6,7мкс/см)

- усилители радиосигналов, основанные на взаимодействии электрических колебаний с УЗ.

10. УЗ в сельском хозяйстве .

Помидоры - семена перед посевом обрабатывают УЗ. Кусты разрастаются сильнее, плодов больше, созревают раньше и витаминов оказывается больше .

- Обработка УЗ семян дыни и кукурузы приводит к повышению урожайности на 40 %

- При обработке УЗ семян можно обеспечить дезинфекцию и ввести необходимые микроэлементы из жидкости

- Фонофорез антибиотиков в яйцо.

- Борьба с вредителями (50 кГц и гусеница кукурузного мотылька покидает поля) . 200 кГц дыхательные органы личинок комаров .

11. Пищевая промышленность .

- Обработка молока - гомогенизация стерилизация

- Хранение молока в замороженном виде

- Порошковое молоко

- Эмульсии для хлебопечения

- Обработка дрожжей на 15 % повышает бродильную силу

- Ароматические вещества, пюре , жир из печени

- Выделение винного камня из сока

- Экстрагирование

- Производство духов (6...8 часов вместо года)

12. УЗ в биологии .

- Большие дозы убивают микроорганизмы (стафилококки , стрептококки, вирусы энцефалиты)

- Малые интенсивности способствуют росту

- Уничтожение крыс (15,5 кГц “Кобс”)

- Уничтожение термитов УЗ

13. Влияние на человека .

До 0,1 Вт/см² лечебное воздействие . В настоящее время до 0,4 . В Америке до 0,8 Вт/см²

14. В медицине .

Скальпели, ингаляторы , массажеры , ультрафорез .

С большинством этих вопросов мы с вами познакомимся при изучении курса. Последовательно мы изучим основы физики УЗ, принципы построения УЗ преобразователей, электрических генера-

торов для их питания, общие принципы конструирования установок и в дальнейшем рассмотрим конкретные практические применения .