

Лекция 1

Что такое ультразвук.

Как он создается и применяется

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги!

(Слайд 1). Предлагаемое Вам сообщение (лекция) посвящено ультразвуковым колебаниям высокой интенсивности, вопросам их создания и применения.

В лекции изложены основополагающие физические основы и принципы, а также мой взгляд на существующие проблемы в создании и применении ультразвуковых (УЗ) колебаний высокой интенсивности, а также мой подход к решению этих проблем.

Я не претендую на всеобъемлющее рассмотрение всех вопросов физики и техники ультразвука. Моя цель познакомить Вас с особенностями формирования и применения ультразвуковых колебаний, дать Вам первичные знания для Вашего дальнейшего развития и процветания.

Поэтому мое сообщение (лекция) – это маленькая частичка моих знаний, моего опыта, опыта моего коллектива, которые я хочу передать Вам.

Считаю, что знание современного состояния и развития техники ультразвука, понимание направлений его развития позволит Вам стать специалистами и, в будущем, мировыми лидерами в развитии и применении УЗ техники.

Поэтому, прежде чем приступить к сути сообщения – кратко о том: кто я и откуда.

(Слайд 1.1.). Я научный руководитель большого коллектива. Это научная школа, это лаборатория акустических процессов и аппаратов в Университете, это малые инновационные предприятия, создающие и производящие большое количество разнообразных ультразвуковых аппаратов.

Численно это небольшой, но молодой и дружный коллектив (более 20 человек), официально сформированный 24 мая 1994 года, сегодня реализующий себя как Центр ультразвуковых технологий.

Объединяет коллектив ультразвук. Он создает возможности (и научные и финансовые), он объединяет и направляет. Поэтому начинаем с изучения особенностей ультразвука, которые делают его уникальным инструментом для изменения структуры и свойств веществ и материалов.

Что такое ультразвук (слайд 2)

Ультразвук – это 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 понимать, что ультразвук, наряду с обычными излучают тикающие часы, летящий самолет, телефонный звонок, элементы строчной развертки телевизора.

Человек способен излучать только один ультразвук. “Ксс”

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

Граница между звуком и ультразвуком 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 ультразвука. Возможности человеческого уха здесь не играют роли, и приходится отталкиваться от физической природы упругих колебаний, которые могут распространяться в материальной среде при условии, что длина волны молекул больше межатомных расстояний.

Длина их волны обратно пропорциональна частоте. $\lambda=c/f$. На основании исследований установлено существование УЗ колебаний с частотой большей, чем 100 МГц. Ультразвук более высокой частоты затухает настолько, что колебания поглощаются непосредственно у поверхности излучателя.

На практике используются УЗ колебания с частотой меньше 25 МГц. Такие высокие частоты могут распространяться 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.

Ультразвуковая 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.

Чем отличается УЗ от обычных звуков (слайд 3)

1. Ультразвуковые колебания, 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 свойства аналогичны световым лучам .

2. Ультразвуковые колебания могут распространяться и в непрозрачных средах, что позволяет использовать их для исследования полимеров, металлов и т.п.

3. Мощность ультразвука пропорциональна квадрату частоты колебаний, 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 Вт/см². Следовательно, внутрь тела может распространяться очень большая энергия механических колебаний. Возникает так называемое звуковое давление.

Как сравнить, чтобы было наглядно и понятно. Интенсивность звуковых колебаний, возникающих в момент пушечного выстрела равна 0,01 Вт/см². Мы легко создаем, даже в лабораторных условиях ультразвуковые колебания с интенсивностью более $J=5...50$ Вт/см².

4. При $J= 5$ Вт/см² 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 разрежение 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 ультразвука.

Промышленное применение ультразвука (слайд 4)

Промышленное применение ультразвука 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 - измерения технологических параметров с помощью

УЗ (уровнемеры, 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.

Источники УЗ колебаний (слайд 5)

В настоящее время создано и применяется большое количество источников ультразвуковых колебаний, так называемых УЗ преобразователей.

Что такое УЗ преобразователь?

УЗ преобразователь – это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой энергии в энергию УЗ колебаний. Поскольку конечным результатом преобразования является энергия механических колебаний УЗ частоты, а подводимая энергия имеет различную природу, то произведем классификацию преобразователей с точки зрения природы подводимой энергии, преобразование которой обеспечивает формирование УЗК.

Поэтому, основные виды преобразователей классифицируются следующим образом.

1. Аэродинамические преобразователи, обеспечивают преобразование энергии потока газа в УЗ колебания газовой среды.

По характеру преобразования энергии потока газа аэродинамические преобразователи делятся на:

а) статические сирены или газоструйные излучатели;

б) динамические сирены.

Аэродинамические преобразователи используются для возбуждения УЗК в газовых средах. Рабочая частота таких преобразователей менее 50 кГц

2. Гидродинамические излучатели обеспечивают преобразование в потоке жидкостей. Их действие основано на вихреобразовании, резонансе, автоколебаниях и др. физических эффектах.

В зависимости от характера преобразования энергии гидродинамические излучатели делятся на:

а) пластинчатые излучатели

б) клапанные

в) вихревые

г) пульсационные

д) роторные

Рабочая частота таких преобразователей менее 20 кГц

На слайде простейшие – пластинчатые преобразователи.

3. Электромеханические преобразователи делятся на:

- Магнитострикционные преобразователи, обеспечивают преобразование энергии магнитного поля в механические колебания УЗ частоты. Используются для возбуждения колебаний в жидких и твердых телах.

Рабочие частоты до 100 кГц.

- Пьезоэлектрические преобразователи – обеспечивают преобразование энергии электрического поля в механические колебания УЗ частоты.

Используются для формирования УЗК в жидких, твердых и газообразных веществах. Частоты от 20 кГц до 25 мГц.

Этот вид преобразователей получил наиболее широкое распространение.

Рассмотрим их более **подробно (слайд 6)**.

В основу положен открытый в 1880 году братьями Жаком и Пьером Кюри пьезоэлектрический эффект.

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

Но в последние 10 лет развитие пьезоматериалов шло настолько бурно, что были созданы сотни типов пьезоматериалов отличающихся по характеристикам и назначению.

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

На этом же слайде представлены простейшие **виды пьезоэлементов**.

1. Круглые пьезоэлементы работают либо на толщинных, либо на радиальных модах колебаний. В этом случае пьезоэлемент имеет две резонансные частоты: $f_1=C/2h$ и $f_2=C/2D$. Соответственно – пьезоэлемент в виде параллелепипеда будет иметь 3 резонансные частоты.

Электроды на поверхности пьезоэлементов наносятся разными способами (методом напыления в вакууме, методом приклеивания серебряной или золотой фольги, внесение серебряной пасты).

Пьезоэлектрические элементы составляют основу ультразвуковых колебательных систем, их устройство показано на **слайде 7**.

УЗ колебательная система состоит из частотопонижающих резонаторов-накладок, согласующего трансформатора и рабочего элемента.

Назначение УЗ колебательной системы заключается не только в преобразовании электрической энергии в УЗК, но и в том, чтобы наиболее эффективно ввести акустическую энергию в рабочую среду при заданных значениях амплитуд колебательного звукового давления или колебательной скорости и мощности.

Между преобразователем и обрабатываемой средой может находиться дополнительная колебательная система, связывающая преобразователь с излучающим элементом. На практике используется согласование в режиме усиления с помощью концентраторов.

Элементы теории УЗ концентраторов (слайд 8).

Концентраторы ультразвука являются механическими трансформаторами скоростей или смещений и представляют собой стержни переменного сечения, в которых плотность энергии колебаний распределена неравномерно по длине.

На малом выходном сечении скорость понижается, следовательно, амплитуда смещения получается значительно больше, чем на большом входном сечении стержня.

В зависимости от формы образующей концентратора и отношения размеров его входного и выходного сечений коэффициент усиления принимает различные значения.

Под коэффициентом усиления понимают отношение амплитудного значения колебаний на выходе к ее значению на входе.

Концентраторы по форме образующей подразделяют на следующие виды:

Применение каждого из видов концентраторов обусловлено его свойствами.

Конические и экспоненциальные – когда УЗ колебания передаются в среду при сравнительно большой нагрузке на выходной конус концентратора, с небольшим коэффициентом усиления.

Ступенчатый – когда требуется большое усиление при небольшой нагрузке на концентраторе

Коэффициент усиления ступенчатого концентратора $K=N*N$, является максимальным для всех концентраторов.

Для экспоненциального $K=N$.

Мы используем более сложные конструктивные схемы – позволяющие получать максимальный коэффициент усиления при оптимальном согласовании пьезокерамики с обрабатываемой средой.

Основной действующий фактор УЗ воздействия (Слайд 9)

УЗ кавитация – основной инициатор физико-химических процессов, возникающих в жидкости под действием УЗ. Она образуется за счет трансформации низкой плотности энергии УЗ в высокую плотность вблизи и внутри газового пузырька.

Как происходит процесс образования кавитации в жидкости?

Рассмотрим возникновение эффекта и протекание по стадиям:

1. Действуем на жидкость УЗ колебаниями малой интенсивности. Как известно, УЗ волна, проходя через жидкость, создает зоны сжатия и зоны разряжения, меняющиеся местами в каждый полупериод волны.

2. Увеличиваем интенсивность до 1 Вт/см^2 . Появится нарушение однородности жидкости. Что же происходит? В фазу разряжения (пониженного давления) в наиболее слабых местах начинается выделение растворенных газов с образованием одного долгоживущего пузырька.

3. Дальнейшее повышение интенсивности I до $1,5 \text{ Вт/см}^2$ приводит к нарушению линейности колебаний стенок пузырьков. Начинается стадия стабильной кавитации. Пузырек сам становится источником УЗ колебаний: гармоник, с частотой $n \cdot f$, субгармоник, с частотой n/f . На его поверхности возникают волны, микротоки, электрические разряды.

4. Четвертая стадия называется стадией нестабильной кавитации. Возникает при дальнейшем увеличении интенсивности $I > 2,5 \text{ Вт/см}^2$. Она характеризуется образованием быстрорастущих парогазовых пузырьков, которые в фазу сжатия мгновенно сокращаются в объеме и схлопываются, т.е. наступает коллапс.

Для разных жидкостей, значения давления, при котором образуется кавитация, находится в пределах от 1,0 до 3,9 атм.

Чем характеризуется кавитационный процесс?

а) В пузырьке происходит разогрев парогазовой смеси до $8.000 - 12.000^\circ\text{K}$

б) Колебания пузырька характеризуются высокой радиальной скоростью стенок, большей скорости звука (340 м/с).

в) В пузырьке создаются большие давления, превышающие 10.000 атм .

Теоретически эти цифры могут быть превышены и при определенных условиях можно достичь значений, при которых наступят термоядерные реакции.

5. Что происходит далее, когда газовый пузырек захлопывается

а) На месте исчезнувшего пузырька образуется ударная волна

б) Если пузырек при сжатии имел линзообразную форму, между сближающимися стенками возникает микроточечный электрический разряд высокого напряжения (десятки миллионов вольт).

(Слайд 10) В результате развития в среде всех стадий кавитационного процесса возникает сложная гидродинамическая обстановка, влияющая на структуру жидкости. Чем она обусловлена?

1. Осцилирующие пузырьки - образуют волны давления в среде.
2. Захлопывающиеся области образуют ударные волны.
3. Существует общее акустическое давление УЗ волны.

Накладываясь друг на друга, на пузырьки газа, и твердые частицы, эти факторы в объеме образуют неоднородность давлений P , что порождает быстрые микропотоки и общие течения.

На что способны эти течения? Они способны:

1. Изменить пространственную ориентацию, свойства молекул;
2. Деформировать, рвать межмолекулярные цепочки на отдельные фрагменты;

В этом отношении звукохимические явления являются одним из видов механохимических реакций.

Как осуществляются механохимические реакции?

1. Как проявление механохимических реакций в среде могут наблюдаться люминисценция, эрозия, появление активных радикалов, диссоцирование молекул.

2. Очень часто наблюдается появление надперикисей, перикисей водорода, ионов азотной и азотистой кислот, комплексов типа : $(H_2O \cdot O_2)(OH \cdot O_2)$, гидротированных электронов.

3. Образуемые вещества могут дать начало звукохимическим реакциям в парогазовой среде кавитационной области или даже в жидкой среде, тогда образуемые продукты диффундируют в жидкость и там вступают в реакции

4. Под действием УЗ ускоряются реакции механохимического происхождения, имевшие место в неозвученной среде.

5. Одновременно инициируются специфические реакции, которые без УЗ не могут быть осуществлены, и в основе которых лежит механизм разрыва химических связей.

Таким образом, возникновение кавитации приводит к началу химической реакции. Особенно это проявляется в воде и полярных растворителях.

Как проявляется кавитация (слайд 11)

Ее проявления представлены на следующем слайде. Из него следует, что для реализации УЗ технологических процессов определяющими факторами являются

- оптимальная рабочая частота;
- создание условий для увеличения кавитационных пузырьков;
- оптимизация ультразвукового воздействия по интенсивности излучения.

(Слайд 12) Образование звукохимических процессов открыто более 60 лет назад, однако до сих пор нет единого мнения о природе первичного акта звукохимического процесса. Однако, основные факторы, влияющие на скорость таких реакций, установлены точно:

1. Интенсивность УЗ энергии, приходящей на единицу площади излучателя в озвучиваемой среде.

2. Все реакции начинаются с определенного порога интенсивности УЗ колебаний, и этот порог всегда совпадает с началом кавитации.

3. При превышении определенного порога интенсивности I скорость реакций резко убывает. Это объясняется тем, что при повышении интенсивности начинают образовываться очень мелкие пузырьки, и они не успевают захлопываться за полупериод волны.

Далее о применениях ультразвука

Интенсификация гетерогенных процессов, протекающих в системах жидкость-жидкость и жидкость - твердое тело (Ж-Ж, Ж-ТТ) (Слайд 13)

В современной химической технологии наиболее широко используются гетерогенные процессы, протекающие между двумя или несколькими неоднородными средами в системах Жидкость-Жидкость и Жидкость – Твердое Тело. Они лежат в основе следующих процессов:

- получение синтетических и искусственных волокон и каучуков;
- минеральных удобрений и ядохимикатов;
- пластических масс;
- нефтехимических продуктов и т.п.

Скорость большинства гетерогенных процессов очень мала и поэтому важное значение имеет их интенсификация.

В большинстве случаев в гетерогенных системах процессы протекают на поверхности раздела фаз (межфазной поверхности), где молекулы той и другой фазы соприкасаются друг с другом. Поэтому скорость процесса зависит от величины поверхности соприкосновения реагирующих компонентов.

Таким образом, увеличение удельной межфазной поверхности обеспечивает увеличение скорости процессов.

Ультразвук способен обеспечивать сверхтонкое диспергирование, тем самым значительно увеличивая межфазную поверхность реагирующих компонентов. Это обуславливает УЗ интенсификацию процессов.

По современным представлениям вблизи поверхности твердого тела образуется слой жидкости, называемый диффузионным граничным слоем

Нерста, в котором сосредотачивается основное сопротивление переносу реагирующих молекул к межфазной границе или уносу продуктов реакции.

Из обычных законов молекулярной диффузии плотность диффузионного тока определяется следующим образом:

$$I = D \frac{c_0 - c_1}{\delta},$$

где D - коэффициент диффузии,

c_0 - концентрация вещества вне диффузионного слоя,

c_1 - концентрация вещества на границе раздела фаз,

δ - толщина диффузионного слоя.

Из приведенной формулы следует, что скорость процессов можно увеличить за счет уменьшения толщины диффузионного слоя.

При этом основное сопротивление оказывает диффузионный слой, непосредственно прилегающий к твердому телу. В этой области перенос осуществляется молекулярной диффузией.

При прохождении УЗ через жидкость в ней возникает кавитация и связанные с ней мощнейшие потоки звуковых давлений – звуковой ветер. Эти факторы воздействуют на пограничный слой и “смывают” его, интенсифицируя процесс.

Таким образом, основные факторы интенсификации гетерогенных процессов в системах Ж-Ж и Ж-ТТ - это увеличение межфазной поверхности реагирующих веществ и уменьшение толщины пограничного слоя.

Упругие колебания УЗ диапазона ускоряют процессы массообмена. В системах Ж-Ж и Ж-ТТ это наблюдается даже в тех случаях, когда интенсивное механическое перемешивание не дает ощутимых результатов. Ускорение процесса массообмена пропорционально частоте и амплитуде колебаний и зависит от свойств среды.

УЗ интенсификация процесса массообмена исследовалась на различных процессах экстрагирования: на извлечении ценных хим. продуктов из отходов производства, масла - сырца, сульфатного мыла, целлюлозы, извлечении искусственных веществ из природного сырья и т.п.

Во всех случаях было показано, что коэффициент экстракции под действием УЗ выше, чем при механическом перемешивании.

На слайде перечислены различные процессы.

Большой интерес представляют исследования воздействия УЗ на химические реакции. Ускорение химических реакций с помощью УЗ проявляется лишь при наличии кавитации. Разрыв химических связей и ионизация молекул происходят в слое жидкости, прилегающем к кавитационному пузырьку вследствие возникновения ударных волн при захлопывании пузырьков. Кроме того, оказывают влияние резонансные пульсации пузырьков, перепады давления, электрические пробои.

Ультразвуковая размерная обработка (слайд 15)

Современная технология механической обработки конструкционных материалов достигла больших успехов, а выпускаемые промышленностью металлорежущие станки – высокой степени совершенства и высокой производительности, что позволяет с успехом решать различные задачи, выдвигаемые бурным процессом развития техники.

Однако, развитие техники приводит в свою очередь к появлению новых материалов, механическая обработка которых традиционными способами затруднена.

К ним относятся, прежде всего, такие материалы с высокой твердостью, как вольфрамсодержащие и титанокарбидные сплавы, алмаз, рубин, лейкосапфир, закаленные стали, магнитные сплавы из редкоземельных элементов, термодокорунд и др. Из традиционных способов при обработке таких материалов возможно применять только шлифование.

Обработка другой группы материалов, таких как германий, кремний, ферриты, керамика, стекло, кварц, полудрагоценные и поделочные минералы и материалы, затруднена их очень большой хрупкостью. Такие материалы не выдерживают усилий, возникающих при традиционной механической обработке.

Поскольку именно перечисленные выше материалы во многом определяют прогресс техники, возникает необходимость эффективно обрабатывать детали из подобных, «необрабатываемых традиционными способами», материалов.

Для решения проблемы обработки сверхтвердых и хрупких материалов разработаны и внедрены в практику специальные способы обработки - алмазосодержащим вращающимся инструментом, электрохимический, электроэрозионный, электронно-лучевой, ультразвуковой.

Преимущества ультразвукового способа обработки перед другими заключаются в возможности обрабатывать непроводящие и непрозрачные материалы, а также в отсутствии после обработки остаточных напряжений, приводящих при использовании других способов к образованию трещин на обрабатываемой поверхности.

Ультразвуковая размерная обработка базируется на двух основных процессах:

1. Ударном внедрении абразивных зерен, вызывающих выкалывание частиц обрабатываемого материала.
2. Циркуляции и смене абразива в рабочей зоне.

Проведенный анализ требований современных производств, позволил установить, что энергетически выгодным (соответствующим удельному энергопотреблению современных металлообрабатывающих станков, равному $2...10 \text{ Дж/мм}^3$) должно быть применение ультразвуковых станков, обеспечивающих выполнение отверстий диаметром до 5 мм глубиной не менее 20 мм при номинальной мощности генератора не более 50 Вт, отверстий диаметром до 15 мм на глубину до 10...15 мм при использовании

генераторов с номинальной мощностью не более 100...150 Вт, отверстий диаметром до 40...60 мм при номинальной мощности используемого генератора не более 250 Вт и отверстий диаметром до 120 мм при номинальной мощности ультразвукового генератора не более 400 Вт.

Интенсификация процесса сварки (Слайд 16)

Достоинства и возможности представлены на слайде. Здесь же созданное нами оборудование. УЗ сварка приобретает все более широкое распространение и в ближайшие годы заменит традиционные методы сварки.

Медицинское применение ультразвука (Слайд 17)

Несколько направлений представлены на слайде. Наиболее интересный – липосакция, получивший широчайшее распространение.

Интенсификация процессов в газах. (Слайд 18)

Рассмотрим отдельные типичные процессы – **коагуляция**.

Как известно, многие химические процессы связаны с выбросом в атмосферу значительного количества ценных для производства и вредных для окружающей среды продуктов. Как правило, эти продукты находятся в отходящих газах в виде аэрозольных частиц (дым, туман), трудно улавливаемых в обычных аппаратах, использующих действие силы тяжести, инерции и центробежные силы. Очистке газов, содержащих частицы размером 1 - 3 мкм (сажа, сернистый туман), уделяется особое внимание.

Проведенные исследования по воздействию на такие среды УЗ колебаний позволили установить, что они интенсифицируют процесс коагуляции и упрощают очистку газов. Механизм коагуляции до конца не ясен, но очевидно, что основное значение имеет радиационное давление, обеспечивающее интенсивное движение частиц в УЗ поле.

Установки промышленной коагуляции

Основные части установок: источник УЗ колебаний (сирена) и коагуляционная камера - колонна. Для примера рассмотрим установку для получения сажи из природного газа, сжигаемого с добавлением жидкого топлива.

Где используются в промышленности:

- очистка воздуха в забоях при бурении,
- для улавливания пыли окиси цинка при плавлении лома меди,
- для сепарации конденсата при добыче попутных и природных газов (высококипящие углеводороды),
- для коагуляции пылевидного катализатора.

АБСОРБЦИЯ

Многие процессы химической технологии основываются на явлении массообмена, происходящем между жидкой и газовой фазами. Одним из таких процессов является абсорбция газа. Кроме того, такие процессы как десорбция, ректификация, адсорбция, катализ или принципиально мало отличаются от абсорбции, или представляют собой процессы, в которых абсорбция является одной из определяющих стадий.

Наложение УЗ колебаний на двухфазную систему, как известно, способствуют турбулизации местных потоков, улучшается местное перемешивание и тем самым в значительной степени ускоряется поглощение газов жидкостью.

Акустическая сушка.

Процесс сушки заключается в удалении влаги из материала. Обычно это осуществляется за счет нагревания. Сушка твердых, сыпучих и других материалов распространена в самых разнообразных технологических процессах.

Когда нельзя допускать повышения температуры при сушке, сушку осуществляют под воздействием УЗ колебаний. Первые результаты были получены еще в 1955 г. П. Грегушем (Венгрия). На частоте 25 кГц он получил 10-кратное ускорение сушки мокрого хлопкового волокна. Позже им же было получено УЗ ускорение сушки древесины.

Интенсификация процессов горения.

В химической технологии процессы горения имеют самые различные назначения. В частности, выделим два основных процесса:

1. Сжигание топлива с целью получения необходимого количества тепла для проведения химических процессов.
2. Сжигание продуктов с целью получения веществ, необходимых для дальнейшей переработки.

Иногда эти процессы протекают совместно. Интенсификация процессов горения является очень важной задачей, т.к. позволяет увеличить КПД и уменьшить размеры устройств для сжигания, сэкономить топливо, увеличить выход условного продукта.

2. Акустические форсунки представляют собой статические сирены, в которые одновременно с окислителем (воздухом) в область формирования УЗ колебаний через трубку подается топливо.

Интенсификация технологических процессов в домашних условиях (слайд 19)

Это новое направление развития УЗ технологий, получающее все более широкое распространение.

Таким образом, вы получили представление о том, что такое ультразвук и как его можно создавать и применять.

Более подробно об этом будет рассказано в следующих лекциях.

Если у слушателей будут возникать вопросы или появится желание обсудить новые идеи, пожалуйста, напишите мне на указанный вначале лекции электронный адрес и я постараюсь ответить Вам.