

Лекция 2

Ультразвуковые приборы промышленного назначения

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги!
(Слайд 1). Предлагаемое Вам сообщение (лекция) посвящено рассмотрению современного состояния ультразвуковых приборов для промышленного применения (т.е. применению аппаратов и технологий).

В лекции изложен мой взгляд на существующие проблемы в создании и применении ультразвуковых аппаратов, а также мой подход к решению этих проблем.

Я не претендуем на всеобъемлющее рассмотрение всех возможных УЗ аппаратов и на полное решение всех проблем, решаемых на производствах при помощи ультразвуковых колебаний

Поэтому мое сообщение (лекция) – это маленькая частичка моего вклада и вклада моего коллектива в мировое развитие ультразвуковой техники и технологий. Мы развиваем эти направления уже более 30 лет.

Во многих случаях – это наше особое мнение. Но знание современного состояния и развития техники ультразвука свидетельствует, что мы идем в одном направлении с передовыми фирмами мира, создаем и предлагаем аналогичные аппараты. Да, где то мы отстаем, но во многих направлениях и опережаем мировое развитие. Подтверждением этого могут быть многочисленные публикации в передовых мировых журналах и сотрудничество с мировыми лидерами в развитии и применении УЗ техники. Поэтому, прежде чем приступить к сути сообщения – кратко о том: кто я и откуда.

(Слайд 2). 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. Что такое ультразвук и в чем его особенности, позволяющие решать глобальные проблемы человечества я рассказывал в предыдущей лекции.

Я еще раз перечислю те особенности ультразвука, которые делают его уникальным инструментом для изменения структуры и свойств веществ и материалов.

И так

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 $\lambda = c / f = 1 \text{ см}$). 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. УЗ может распространяться и в непрозрачных средах, что позволяет использовать их для исследования и преобразования 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 Вт/см². Следовательно, внутри материальных тел (обрабатываемых сред) 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 с Вами легко создаем, даже в лабораторных условиях ультразвуковые колебания с интенсивностью более $J=5...50 \text{ Вт/см}^2$.

4. При $J=5 \text{ Вт/см}^2$ 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 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 УЗ.

5. Но когда ультразвуковые колебания высокой интенсивности распространяются в жидких средах возникает уникальное явление, так называемая УЗ кавитация. Что же происходит и как.

При распространении колебаний в жидкой среде в фазе разрежения (пониженного давления) в наиболее слабых местах начинается выделение растворенных газов с образованием одного долгоживущего пузырька. Пузырек растет, запасая энергию, но приходит стадия сжатия и пузырек мгновенно сокращается в объеме и схлопывается, т.е. наступает коллапс.

Чем характеризуется кавитационный процесс?

а) В пузырьке происходит разогрев парогазовой смеси до 8.000 - 12.000°К

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.

Что происходит далее, когда газовый пузырек захлопывается

а) На месте исчезнувшего пузырька образуется ударная волна или коммунитивная струя (если есть препятствие)

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

Далее о том, что же дает ультразвук при воздействии на материальные объекты и для чего он может использоваться.

Прежде чем говорить о частностях - рассмотрим области применения ультразвука.

(Слайд 3). Далее мы рассмотрим эти области применения более подробно.

Эффективность ультразвуковых технологий подтверждена полувековым широчайшим применением в различных отраслях промышленности. Сегодня без применения ультразвука высокой интенсивности невозможно представить размерную обработку хрупких материалов, соединение термопластичных материалов, получение и коагуляцию аэрозолей, добычу и переработку нефти, производство альтернативных топлив, получение и применение однослойных углеродных нанотрубок и т.д.

Современные производства требуют все больше ультразвуковых аппаратов для интенсификации различных технологических процессов. Одновременно растут требования к аппаратам по их эффективности и производительности.

Поэтому вот перед Вами широчайшие области возможного применения ультразвукового воздействия.

В целом ультразвук позволяет интенсифицировать различные процессы, реализовать новые процессы, улучшить качество получаемых материалов и продуктов и получать новые вещества и материалы.

Обеспечивается это за счет реализации технологических процессов.

(Слайд 4). При реализации любых процессов и в любых средах в основе всегда лежит ультразвуковое воздействие. Поэтому все ультразвуковые аппараты предназначены для создания «ультразвукового воздействия», поэтому далее мы будем рассматривать организацию этого «ультразвукового воздействия».

Очевидно, что воздействовать можно только на что то. В данном случае, обобщенно, будем называть это технологическим процессом. Пока не будем рассматривать внутренностей технологического процесса, но понимаем, что воздействие осуществляется на среды с различными свойствами, в них протекают разнообразные физические процессы, обусловленные УЗ воздействием, и происходят изменения среды, необходимые для получения новых свойств или материалов.

Но с другой стороны «ультразвуковое воздействие» необходимо создавать. Для его создания необходим ультразвуковой технологический аппарат, основу которого составляет излучатель ультразвука и источник его питания – генератор.

(Слайд 5). Перед Вами схематично устройство ультразвукового технологического аппарата. К его основным элементам (излучатель ультразвука и источник его питания – генератор) я сразу вынужден добавить систему контроля процесса воздействия и систему управления процессом ультразвукового воздействия. Т.е. ультразвуковой аппарат это информационно измерительная, контролирующая система, управляемая на основе данных контроля.

(Слайд 6).

Таким образом, ультразвуковое воздействия необходимо оптимизировать, т.е. обеспечить максимальную его эффективность (получение конечного продукта заданного качества с максимальной производительностью) при минимальных энергетических затратах.

(Слайд 7). Перед вами традиционный вариант конечного ультразвукового воздействия на жидкую среду.

Вы видите, что источником ультразвукового воздействия является излучатель ультразвуковых колебаний. В его основе находится УЗ пьезоэлектрический преобразователь - это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой электрической энергии в энергию УЗ колебаний. Мы используем традиционные пьезоэлектрические колебательные системы, в которой пьезопреобразователь Ланжевена и концентратор объединены в общую полуволновую систему.

А в чем собственно проблема.

К сожалению сегодня ультразвуковая кавитационная обработка может быть реализована на практике только в очень ограниченных объемах. Реально это не более стакана. Понятно, что это не устраивает никого. Что же делать.

(Слайд 8). Понимая проблемы излучателей на одном пакете пьезокерамики - создавать новые виды излучателей.

Понимая невозможность реального увеличения диаметра пьезоэлементов более 50...60 мм – создавать многопакетные пьезопреобразователи.

А уже на основе многопакетный преобразователей рабочие инструменты с увеличенной излучающей поверхностью, формируя их из многополуволновых звеньев.

Практическая реализация таких излучателей привела к созданию технологических аппаратов различной мощности. Основное, что необходимо учитывать - увеличение объема обрабатываемых сред не должно снижать интенсивности воздействия, а применение специальных по форме и размерам объемов даже увеличивать интенсивность воздействия.

(Слайд 9). Для питания пьезоэлектрических преобразователей необходимы электронные генераторы – устройства преобразующие энергию промышленной сети в энергию электрических колебаний ультразвуковой частоты. Схемотехника их традиционна, зависит от мощности и функционального назначения.

Поэтому далее о функциональных возможностях созданных практических конструкциях и их применении.

Современные производства требуют реализации различных по параметрам ультразвуковых воздействий и, соответственно, все больше разнообразных ультразвуковых (УЗ) аппаратов для интенсификации различных технологических процессов.

Так чем же отличаются ультразвуковые воздействия и чем реально отличаются используемые на производстве аппараты

(слайд 10)

Аппараты, обеспечивающие различные частоты ультразвукового воздействия.

Рабочая частота ультразвуковых аппаратов играет определяющую роль при реализации различных процессов.

Особенно ярко влияние частоты проявляется при реализации процессов распыления, поскольку увеличение частоты позволяет уменьшать размер формируемых частиц. Потому аппараты УЗ распыления работают на частотах, 22, 30, 35, 44, 130 кГц, формируя капли со средним размером от 65 до 18 мкм.

При обработке эмульсий и дисперсий увеличение частоты повышает эффективность разделения, а при очистке изделий уменьшает степень разрушений очищаемого изделия. Поэтому диапазон рабочих частот УЗ аппаратов для реализации производственных процессов составляет от 18 до 130 кГц.

Во всех случаях, увеличение рабочей частоты приводит к снижению производительности реализуемых процессов. Снижение производительности распыления при увеличении частоты от 22 до 130 кГц достигает 100 раз. При реализации процессов диспергирования (измельчения твердых частиц в воде) увеличение рабочей частоты с 22 до 44 кГц приводит к снижению производительности не менее, чем в 10 раз.

Только при соединении полимерных материалов увеличение частоты благоприятно сказывается на производительности и качестве сварки, поскольку поглощение колебаний с ростом частоты возрастает.

Естественное желание создателя новых технологий проверить эффективность ультразвукового воздействия в широком диапазоне частот, плавно изменяя частоту излучаемых УЗ колебаний при постоянстве амплитуды, в настоящее время не реализуемо, поскольку источниками излучения являются резонансные пьезоэлектрические колебательные системы с высокой добротностью. Единственным возможным путем реализации эффективных излучателей, работающих на различных частотах, является выполнение пьезоэлектрических преобразователей и колебательных систем многочастотными.

(Слайд 11)

Аппараты для формирования УЗ колебаний различной интенсивности.

Интенсивность излучения является основным параметром, характеризующим функциональные возможности УЗ аппарата, поскольку эффективность практически всех процессов в жидких и жидко-дисперсных средах достигается за счет кавитации при определенных значениях интенсивности воздействия. Интенсивность излучения, в таком понимании, это энергия, которую способен запасти кавитационный пузырек и выделить ее при схлопывании, т.е. влияет на эффективность практически всех процессов в жидкостях и жидкофазных дисперсиях, поскольку определяет возникновение и степень активности кавитации

Увеличение интенсивности обеспечивается за счет использования специальных колебательных систем с многополуволновыми концентраторами с большими коэффициентами усиления, а плавное изменение этого значения обеспечивается электронным генератором. Высокое значение интенсивности создается инструментами с малой поверхностью излучения (диаметр рабочего инструмента до 10–15 мм), что обуславливает возможность обработки высоковязких дисперсий в объемах не более 0,1–0,2 л.

(Слайд 12)

Аппараты для обеспечения заданного режима ультразвукового воздействия определяет количество энергии акустических колебаний, вводимых в определенный объем исследуемой технологической среды. Этот параметр определяется и условиями воздействия и требованиями по обеспечению заданной производительности. Обеспечивается возможность введения в некоторый объем требуемой энергии (при обеспечении оптимальной интенсивности) применением излучателей с различными по площади поверхностями излучения. Для введения энергии колебаний в обрабатываемые среды используются рабочие инструменты различного размера и формы.

Традиционно это резонансные или нерезонансные сменные инструменты цилиндрической формы с торцевой излучающей поверхностью или сменные инструменты «грибкового» типа. Наличие аппаратов с диаметром излучающей поверхности от 4 до 40 мм позволяет реализовать процессы обработки технологических сред объемом от 5 мл до 5 л. Возможно выполнение рабочих инструментов с прямоугольной формой излучающей поверхности площадью до 50 см². Максимальная поверхность излучения обеспечивается при использовании многополуволновых рабочих инструментов в виде титановых стержней ступенчато переменного диаметра, имеющих сегодня длину более 1 м при диаметре 70 мм и обеспечивающих радиальное излучение относительно оси стержня.

Регулирование величины вводимой энергии необходимо для реализации иногда абсолютно противоположных по характеру процессов. Так, разрушение суспензий и эмульсий требует докавитационного режима воздействия, а эффективность для разных по степени устойчивых дисперсий различна для разных частот УЗ (от 20 до 100 кГц). Режимы, исключая возникновение кавитации реализуются на частотах от 20 до 100 кГц, за счет

регулирования мощности электронного генератора в аппаратах с развитой излучающей поверхностью, увеличения поверхности излучения или применения тонких металлических рубашек вокруг излучателей, исключающих возникновение кавитации в смежном обрабатываемом объеме.

(Слайд 13)

Существует целая область применения ультразвукового воздействия колебаниями с интенсивностью менее 1 Вт/см^2 в газовых средах. Это интенсификация процессов коагуляции твердых частиц в процессах газоочистки, коагуляции частиц жидкостей при осаждении туманов, выбросов опасных аэрозолей, пеногашение и сушка материалов.

В случае УЗ воздействия на газовые дисперсии при воздухоочистке, коагуляции частиц при осаждении туманов, выбросов опасных аэрозолей, пеногашении и сушке материалов применяются пьезоэлектрические преобразователи продольных колебаний и изгибно колеблющиеся дисковые излучатели ступенчато переменной толщины диаметром от 100 до 400 мм, обеспечивающие интенсивностью воздействия менее 160 дБ (1 Вт/см^2). Избыточность интенсивности, приводящая к разрушению скоагулированных частиц, может преодолеваться импульсным воздействием. Стабильность режима воздействия обеспечивается применением систем поддержания рабочей частоты и автоматической стабилизации амплитуды колебаний рабочего инструмента при влиянии внутренних процессов в системе, а также внешних факторов.

Эффективность таких аппаратов зависит от площади излучения (излучатели в виде титановых дисков диаметром от 100 до 400 мм). Увеличение интенсивности излучения приводит к резкому росту эффективности воздействия, однако, при превышении определенного предела, начинают проявляться эффекты разрушения коагулированных (объединенных) частиц.

Следует специально отметить, что эффективность ультразвукового воздействия, в некоторых случаях, может быть увеличена за счет импульсного режима воздействия, при котором длительность формируемых импульсов должна быть недостаточна для возникновения кавитации.

(Слайд 14) **Аппараты, учитывающие влияние внешних условий на реализацию УЗ воздействий** имеет огромное значение при реализации технологий, поскольку многие из реализуемых процессов протекают только при повышенных или температурах или давлениях, в условиях действия химически активных веществ или не допускают контакта с окружающей газовой средой.

Использование ультразвуковых технологических аппаратов в условиях повышенных температур ограничено возможностями используемых в составе преобразователей пьезоэлектрических элементов, характеризующихся температурой разполяризации (температура Кюри) около 300 градусов Цельсия. Для исключения перегрева преобразователей применяются специальные системы тепловой отсечки в виде проточных

технологических объемов между преобразователем и рабочим инструментом. Применение таких систем охлаждения обеспечивает эксплуатацию УЗ аппаратов при температурах до 100 градусов Цельсия.

Для обработки технологических сред при пониженных или повышенных давлениях излучатели УЗ колебаний снабжаются дополнительными промежуточными звеньями (бустерами) между преобразователем и концентратором, в средней части которых (в месте минимума колебаний) выполняется кольцевой узел крепления со специальным фланцем для крепления в установки с давлением. Такие фланцевые присоединительные устройства обеспечивают эксплуатацию УЗ излучателей при давлениях до 2 МПа. Поскольку при высоких давлениях очень проблематично обеспечить кавитационный режим обработки жидкостей, концентратор после бустерного звена выполняется с большим коэффициентом усиления и маленькой излучающей поверхностью, что бы интенсивность излучения достигала значений до 100 Вт/см².

Для обеспечения возможности эксплуатации ультразвуковых излучателей в агрессивных средах все элементы выполняются из коррозионно стойких материалов – титана, специальных нержавеющей сталей, стекла. Поскольку невозможно обеспечить отсутствие кавитационного разрушения излучающих поверхностей все рабочие инструменты делаются сменными.

В тех случаях, когда необходимо полное помещение излучателей в обрабатываемые среды колебательные системы выполняются в герметичных корпусах, а охлаждение пьезопреобразователей осуществляется за счет подведения охлаждающей жидкости или используется охлаждение от обрабатываемой среды .

(Слайд 15) 5. Аппараты, обеспечивающие различные функциональные возможности. Такие аппараты играют важную роль при реализации различных процессов и в различных условиях. Поэтому каждый исследователь стремится приобрести ультразвуковой аппарат, обладающий максимальным набором возможностей для проведения исследований. Разработчик таких аппаратов, понимая, что многофункциональность аппаратов оказывает существенное влияние на снижение эффективности реализации конкретных процессов, стремится ограничить набор возможных функций исследовательского аппарата.

Наиболее простой способ расширения функциональных возможностей – это комплектация ультразвуковых аппаратов наборами различных по длине и размерам излучающей поверхности погружными рабочими инструментами. Примерами таких аппаратов могут служить аппараты серий Алена, Волна, Волна–М и др., комплектуемые одновременно нерезонансными сменными инструментами «грибовидной» формы (длина менее 10 мм при диаметре от 15 до 40 мм) и резонансными инструментами полуволновой (100–120 мм при диаметре излучающей поверхности от 10 до 35 мм), волновой (200–250 мм при диаметре излучающей поверхности от 10 до 20 мм и трехполуволновой

(300–350 мм при диаметре излучающей поверхности от 5 до 15 мм) длины (рис. 9). Реализация аппарата с большим количеством разнообразных инструментов - сложная техническая задача, требующая обеспечения определенного набора резонансных частот инструментов и соответствующей настройки электронного генератора.

Возможна модификация рассмотренного способа расширения функциональных возможностей аппаратов (серии Волна–Л) путем добавления к погружным инструментам дополнительных, например, полуволновых инструментов с внутренней полостью для размещения стеклянной пробирки или металлической емкости. Такие аппараты снабжаются дополнительным открытым технологическим объемом для обработки жидких сред или обработки сред в пробирках. Этот объем может сниматься и аппарат использоваться для воздействия на среды в объемах Заказчика погружным методом.

Часто возникает необходимость подведения колебаний к различным объектам, подвергаемым исследованиям (например, геологические керны из различных по свойствам материалов и т.п.) или осуществление воздействий на физические объекты (трубы, пневмопроводы, бункера, фильтры и т.п.) для снижения трения при движении по ним, улучшения качества формования, уменьшения прилипания. При реализации таких процессов используются УЗ аппараты, в которых колебательная система снабжается устройством крепления к физическому объекту (или инструментом точечного воздействия), а электронные генераторы автоматически или вручную перестраиваются в широком диапазоне, выявляя собственные резонансные частоты объектов.

Кроме трех основных способов расширения функциональных возможностей используются аппараты с несколькими колебательными системами, реализующими различные процессы (например, сварка и резка в аппаратах серии Гиминей), распыление вязких материалов при подаче жидкости через инструменты с различным количеством каналов и т.п.

(Слайд 16). Реализация процессов в непрерывном режиме требует применения аппаратов с проточными объемами для непрерывного воздействия на протекающую жидкую среду.

Создание специальных технологических объемов в составе УЗ аппаратов определяет эффективность, а иногда и принципиальную возможность реализации тех или иных процессов. Замкнутые технологические объемы для обеспечения непрерывного режима обработки позволяют подобрать и ограничить область вокруг рабочего инструмента для обеспечения мощностных и временных параметров, а также однородности воздействия. Именно этим определяется производительность оборудования. Вместимость технологического объема может быть увеличена при высокой мощности УЗ аппарата при том же времени периодической обработки, или при той же скорости протока с увеличением времени озвучивания. Вводимую объемную энергию можно увеличить размещением в объемах нескольких

излучателей, а время обработки, соединяя технологические объемы последовательно. Для устранения избыточного нагрева обрабатываемой среды, технологические объемы снабжаются рубашками охлаждения. Для избегания предельно допустимого нагрева пьезопреобразователей (температура Кюри около 300°C) применяются системы тепловой отсечки в виде проточных технологических объемов между преобразователем и рабочим инструментом, а также осуществляется замена воздушного охлаждения жидкостным..

(Слайд 17)

Для расширения функциональных возможностей УЗ аппаратов наиболее приемлемые способы: комплектация УЗ аппаратов наборами различных по форме, длине и размерам рабочими инструментами, обеспечивающих введение требуемой энергии колебаний в обрабатываемые среды. Сегодня это резонансные или нерезонансные сменные рабочие инструменты в форме многополуволновых титановых стержней ступенчато переменного диаметра длиной более 1 м при диаметре 70 мм позволяют обрабатывать объемы от 5 до 1000 л.

(Слайд 18)

Выбор мощностных характеристик аппарата для реализации каких либо технологических процессов. Конечно, все определяется требуемой производительностью процесса.

А далее возникает необходимость масштабируемости аппаратов. **Масштабируемость** реализуемых процессов должна определять выбор аппаратов для реализации технологических процессов в промышленных условиях.

Полученные в ходе проводимых исследований на маломощных аппаратах результаты (режимы и условия воздействия) должны однозначно переноситься на применение аппаратов большей мощности, большей производительности и стоимости.

Поэтому начинают обычно с маленьких аппаратов. Вот перед вами аппараты малой мощности, условно предназначенные для малых производств и индивидуальных потребителей.

Применение аппаратов серии Волна–П модели УЗАП-0,4//22-ОП с технологическим объемом размером менее 1 л позволяет осуществлять обработку УЗ колебаниями с интенсивностью не менее 15 Вт/см² при введении около 200 Вт/л акустической энергии. Увеличение размеров технологических объемов при использовании аппаратов проточных на базе излучателей большей мощности обеспечивает введение тех же 200 Вт/л. При этом увеличение объемной энергии УЗ воздействия можно обеспечить обработкой тех же объемов при помощи нескольких излучателей. Так, например, при помощи трех излучателей (модель УЗАП-3/22-ОП) можно

обеспечить увеличение обрабатываемого объема в три раза, или в четыре при использовании комплекта УЗАП-4/22-ОП.

К этому же классу аппаратов следует относить аппараты для научных исследований. Мы уделяем этому применению огромное значение, создавая аппараты по заказу университетов и исследовательских подразделений различных организаций.

(Слайд 19). Отдельную группу аппаратов составляют аппараты, эксплуатация которых осуществляется в ненормальных условиях – при высоких давлениях, высоких или низких температурах, радиоактивных излучениях, в химически активных средах, в космосе и т.п. Поэтому – это специальные материалы, системы охлаждения или нагрева, фланцы и т.п.

(Слайд 20). Особое внимание уделяется производственным аппаратам, способным удовлетворять возможности массовых производств – обрабатывать кубометры технологических сред и производить тонны новых материалов. Это аппараты мощностью до 10000 ВА. Аппаратов большей мощности не производится. Поскольку потребности разные, то и аппараты реализуются самые разнообразные – погружные и проточные, с воздушным или водяным охлаждением в герметичном исполнении

(Слайд 21). И хотя я говорил об эффективности ультразвукового воздействия за счет кавитации, существуют технологические процессы, где кавитация не нужна, а ультразвук в докавитационном режиме делает важные и нужные дела. Например, коагулирует твердые или жидкие частички в жидкой среде. И аппараты для этого необычные. Конечно основа одна, но условия эксплуатации иные. Кавитацию запираем в промежуточные объемы и воздействуем без кавитации, да и колебаниями достаточно широкого спектра, возникающими при кавитации внутри промежуточных объемов.

(Слайд 22). При выборе и применении промышленных УЗ аппаратов следует учитывать необходимость создания и применения аппаратов со специальными технологическими объемами. Создание технологических объемов для аппаратов это отдельное направление в проектировании и производстве УЗ аппаратов

(Слайд 23). Перед Вами типичные примеры технологических объемов. Как строить аппараты, как ими управлять для обеспечения максимальной эффективности воздействия я рассказал. Далее посмотрим, для каких целей сегодня используются и могут быть использованы ультразвуковые аппараты.

Как уже было сказано, существует огромное количество технологических процессов, реализуемых при помощи ультразвука. Для их классификации будем рассматривать воздействие ультразвука на различные по состоянию среды - на жидкие среды, жидкодисперсные с преимущественно жидкой фазой, твердые и газообразные вещества. В зависимости от среды, на которую осуществляется воздействие, ультразвук обеспечивает получение различных результатов.

(Слайд 24). И так воздействие на жидкие среды, жидкодисперсные с преимущественно жидкой фазой

Вернемся к истокам. (Слайд 25)

Основные возможности ультразвука кроются в диспергировании частиц в жидкой среде. Начнем с диспергирования твердых частиц в жидкости, т.е., с получения наночастиц и их распределения по другим средам.

(Слайд 26). Возникающая на поверхности колеблющихся излучателей кавитация разрушает металлическую поверхность. Причем разрушает особым образом. Посмотрите результаты разрушения кавитационного инструмента при распылении сверхчистой воды. Частицы титана имеют размер не более 0,1 мкм

(Слайд 27). Разрушение частиц, находящихся в воде при ультразвуковом воздействии показано на слайде на примерах диспергирования окиси алюминия и водно- угольного топлива.

(Слайд 28). На слайде примеры практического применения. Воздействие на высоковязкие среды. На слайде перечислены достигаемые такой обработкой эффекты.

(Слайд 29). Ультразвуковое распределения наночастиц в композитах обеспечивает повышение прочности материалов.

(Слайд 30). Технология получения бензинов на катализаторе с применением ультразвука позволяет увеличить эффективность процесса. Сегодня высокооктановые бензины не производятся без применения ультразвука.

(Слайд 31). К сожалению потребности производств опережают возможности ультразвуковой техники. Увеличение единичной мощности аппарата не всегда возможно и разумно, поэтому аппараты используются по несколько, соединенные последовательно или параллельно. На слайде установка для производства однослойных нанотрубок. 8 аппаратов работают одновременно, обеспечивая требуемую производительность процесса.

(Слайд 32). На слайде представлены результаты обработки нефтешламов и установки для повышения эффективности переработки твердых отходов (мазатов).

(Слайд 33). Показанное выше касалось вопросов диспергирования – разрушения и реализовывалось при кавитационном воздействии.

Но возникает и обратная задача. Очень часто необходимо разрушать устойчивые системы коагулируя твердые или жидкие частицы в жидких средах. Применение ультразвуковых аппаратов с объемами, гасящими кавитационный процесс позволяет решать проблемы коагуляции. Примеры – очистка буровых растворов.

(Слайд 34). Одна из решаемых задач – создание эмульсий. Столь сложные эмульсии удается создавать при помощи ультразвуковых задач. Прошу обратить внимание на сложность структуры эмульсии.

(Слайд 35). Разделение многокомпонентных систем. Перед Вами аппарат для отделения от твердых и масляных частиц облепихового вина.

(Слайд 36). Вот результаты. УЗ обработка обеспечивает изменение состояния через неделю оттаивания с УЗ обработкой.

Далее на слайдах примеры практического применения УЗ воздействия для повышения эффективности технологических процессов.

(Слайд 37). Предпосевная обработка семян позволяет увеличить урожайность до 30%. Почему не используется. Необходим новый подход под создание высевающих агрегатов. Высевать необходимо обработанное в воде зерно.

(слайд 38) Известные всем технологии УЗ экстракции – это ускорение процесса, увеличение выхода и стерильность продукта. На слайде результаты экстрагирования двух разных лекарственных препаратов. Результаты впечатляющие.

(Слайд 39). Обработка меда. После обработки не формируются кристаллы.

(Слайд 40). Стимуляция корнеобразования при размножении черенками (розы, облепиха, виноград).

(Слайд 41). Отдельно рассмотрим еще одну область применения ультразвукового воздействия. Это ультразвуковое распыление. Мы не касаемся направления распыления в фокусе – получения микронных частиц с очень маленькой производительностью, получившего распространения в медицине – в качестве ингаляторов. Нам более интересно распыление в слое на низкой частоте УЗ воздействия. Такое распыление позволяет получать частицы со средними размерами 20...80 мкм, но с производительность до нескольких литров и более в минуту.

(Слайд 42). И хотя ультразвуковое распыление - очень сложные процесс преобразования энергии ультразвуковых колебаний, через энергию взрывающихся кавитационных пузырьков в капиллярные волны, с гребней который формируются капли жидкости заданного размера с требуемой производительностью изучение и создание аппаратуры очень востребовано. Вот созданные аппараты ультразвукового распыления.

(Слайд 43). Поскольку основной проблемой при создании УЗ распылителей является необходимость обеспечения максимальной производительности при минимальном размере частиц при распылении вязких жидкостей мы проводим работы в этом направлении. Примеры решений перед Вами.

Использование для распыления плоских дисков диаметром од 400 мм обеспечивает производительность до 1 т в час.

Кратно о том – где и как используется.

(Слайд 44). УЗ аппараты для распыление масел из авиационных двигателей для диагностики степени износа.

(Слайд 45). Распыление расплавленного алюминия. Подача ультразвуковых колебаний на обычную газовую распылительную головку позволяет сместить спектр распределения в сторону мелких частиц.

(Слайд 46). Небольшое смещение спектра дает тонны частиц мелкой фракции.

На этом мы закончили с основной областью УЗ воздействий – с воздействиями на жидкие среды.

(Слайд 47). После жидких и жидкодисперсных сред следует рассмотреть УЗ воздействие на твердые вещества – механическая обработка хрупких и твердых 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.

(Слайд 48). Внешний вид станка и результаты представлены на слайде

(Слайд 49). На этом слайде результаты обработки металлокерамических материалов.

(Слайд 50). Технология ультразвуковой размерной обработки широко используется промышленностью в земных условиях. Но возникла необходимость использования технологии и в неземных условиях. Потому, что такая проблема существует (начиная с забора образцов, исследования подповерхностных слоев, до уничтожения астероидов).

(Слайд 51). Основная проблема – бурение на большую глубину без нагрева разрушаемого грунта. Например, для обнаружения воды на Луне или Марсе. В этом направлении ведутся работы по созданию специальных устройств, способных решать разнообразные задачи – например заглубиться на 2 м и более. Не позволяя воде при этом испариться в лунных условиях.

(Слайд 52). Продолжая говорить об УЗ воздействии на твердые тела следует остановиться на ультразвуковой сварке. Причем на УЗ сварке термопластичных материалов, изделия из которых получают широчайшее применение. О разнообразии этих применений далее, но а пока о создаваемом оборудовании.

(Слайд 53). Все как обычно начинается с изучения и моделирования процесса с целью определения – какова же необходима энергия и как осуществлять воздействие. Т.е. с определения времени воздействия, необходимого и достаточного для формирования шва требуемого качества.

(Слайд 54). И определения момента получения наилучшего качества шва. Вот результаты исследований для установления оптимальных режимов

и условий воздействия. Можно получать так, а можно так. Второе более правильно – это новые критерии сварки.

(Слайд 55). Такие аппараты мы разрабатываем, производим и рекомендуем для применения. Это для шовно – шаговой сварки

(Слайд 56). Их действие основано на использовании рабочих инструментов большой ширины. У нас есть инструменты длиной 370 мм. Вон они. Равномерность амплитуды вдоль поверхности лучше 5%. Размеры инструментов определяют мощностной ряд создаваемых аппаратов.

(Слайд 57). На этом слайде аппараты для кольцевой сварки. Сегодня мы можем обеспечить формирования кольцевого шва диаметром 100 мм. Где и как применяется ультразвуковая сварка. Только один из ярких примеров

(Слайд 58) Формирование продольного шва в трубках. Это трубки детекторы

(Слайд 59). Использующиеся, например, в детекторах частиц Адронного коллайдера. Такие детекторы для всех исследований в мире производятся на наших УЗ аппаратах.

(Слайд 60). На основе сварочных УЗ аппаратов строятся автоматизированные линии. Перед Вами первые две – сварка шариков для детских погремушек (с отверстием)

(Слайд 61). Сварка шариков без отверстия

(Слайд 62). Сварка блистерной упаковки для хранения и транспортировки курильского краба.

(Слайд 63). И еще одна область применения УЗ аппаратов. Медицина. Медицинские технологии развиваются очень активно и это способствует развитию ультразвуковой техники, причем техники, реализующей УЗ воздействия в различные среды.

(Слайд 64). В первую очередь ультразвуковая липосакция. Внутренняя липосакция, когда инструмент вводится под кожу и разрушаются жировые клетки.

(Слайд 65). За основу были взяты американские и итальянские аппараты. Нам удалось развить это направление путем создания разнообразных инструментов и предложением новых способов управления процессом, исключающих нанесение ран человеку.

(Слайд 66). В последние годы успешно развивается технология внешней липосакции, когда кавитация в жировом слое создается при воздействии на внешние слои кожи.

При производстве лапароскопических операций (через кожные проколы) используются ультразвуковые воздействия. В части совершенствования оборудования опять же необходимо разнообразие. Больше инструментов, больше возможностей у хирурга, но больше проблем с настройкой генератора при распознавании каждого из подключаемых инструментов. И здесь опять было использовано заложенное нами в основу наших аппаратов – контроль систем по току механической ветви.

(Слайд 66) Низкочастотный ультразвук в качестве терапевтического УЗ аппарата для проведения массажа.

(Слайд 67). Одна из задач, возникающих при заготовке и хранении крови и ее препаратов – герметизация полимерных контейнеров. Мы первыми сделали запаиватели, основанные на применении УЗ сварки. Сегодня это направление развивается. Мы разработали и производим универсальный Запаиватель, работающий как в стационарных условиях, так и с выносной запаивающей системой.

(Слайд 68) Посмотрим, как УЗ воздействие может быть реализовано в газовых средах и что это может дать с практической точки зрения. Вводить УЗ колебаний в газовые среды очень большая проблема, связанная с малым волновым сопротивлением газовых сред.

Традиционно для таких целей использовались газоструйные излучатели, преобразующие энергию потока газа в УЗ колебания в газовой среде. Почему не получили промышленного распространения. По ряду причин, указанных на слайде. Основная из них – абразивный износ резонатора

(Слайд 69) Мы используем в качестве излучателей ступенчато переменные по толщине титановые диски, совершающие изгибные колебания на частотах, кратных основной частоте диска. Такой подход позволяет создавать различные типы излучателей – фокусирующие, с преимущественным излучением одной фазы, с фазовыравнивающими элементами. Так выглядят разработанные конструкции.

Как и для чего используются такие аппараты. Далее примеры практического применения. В первую очередь – пылеулавливатели

(Слайд 70). В первую очередь – это очистка газов (акустическая коагуляция). Т.е. очистка от вредных и опасных частиц или сбор полезных частиц при их производстве.

(Слайд 71). Двухступенчатые улавливатели дисперсных частиц микронного и субмикронного диапазона. Наличие предварительно ультразвуковой коагуляции позволяет очень существенно повысить эффективность улавливания.

(Слайд 72). Из технологий, использующих УЗ воздействие в газовых средах, но на жидкость – ультразвуковая сушка. Перед Вами аппараты УЗ сушки

(Слайд 73). Технология малоизученная, практически не реализованная, но перспективная, поскольку обеспечивает уникальное качество высушенного продукта. Мы пытаемся реализовать такие сушилки, используя в качестве источников УЗ воздействия дисковые излучатели и специальные по форме сушильные объемы.

Результаты бесконтактной сушки различных объектов: от сушки овощей

(Слайд 74). Еще одна интересная технология УЗ воздействия через газовые среды – пенногашение. Проблема стоит очень остро в некоторых областях химических технологий и ультразвук – единственное средство, позволяющее решать проблему без химии и механических воздействий. Вот

результаты, свидетельствующие о многократном ускорении процесса. Воздействие на кружку при розливе пива позволяет ускорить процесс в два раза.

(Слайд 75). И завершая свою Лекцию, хотел сказать, что не следует забывать еще одной области применения УЗ воздействий. Это домашнее хозяйство. На слайде представлены только несколько применений, способных сделать жизнь наших жен более технологичной, а наше питание разнообразней.

И если у кого то возник вопрос – а нужны ли ультразвуковые аппараты сегодня. Я отвечаю так.

Реально рынок ультразвуковых аппаратов огромен. К сожалению, на нем, на 95 % представлены импортные изделия из Европы и Америки. Но их оборудование очень дорого. Поэтому нам и Вам развивать и насыщать этот рынок для экономики Китая.

Я считаю, что ультразвуковые аппараты нужны всем, но не все пока понимают возможности и эффективность ультразвука. Я искренне рад, что теперь об этом знаете Вы.

Спасибо за внимание.