

Лекция 10.

Особенности ультразвукового воздействия в экстремальных условиях (Экспериментальные исследования)

Слайд 1.

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги! Предлагаемое Вам сообщение представляет собой доклад о результатах практических разработок и экспериментальных исследований, позволяющих решать проблемы организации ультразвукового воздействия в экстремальных условиях по температуре.

Результаты представляемых исследований и разработок показывают возможность обеспечения оптимальных режимов и условий воздействия и показывают пути решения задач создания и эксплуатации ультразвуковых приборов (аппаратов) в экстремальных условиях.

Экстремальными условиями мы, по прежнему, будем считать условия, существенно отличающиеся от номинальных условий по температуре.

Т.е., в этой лекции, мы рассматриваем возможности и результаты практической реализации ультразвуковых воздействий на различные среды в экстремальных условиях, т.е. в условиях предельных температурных возможностей реализации ультразвуковых воздействий. Предельные возможности эксплуатации УЗ аппаратов мы будем рассматривать в практически реализуемом в земных условиях диапазоне температур от температуры жидкого азота до температуры расплавленного алюминия.

В продолжении того, что было изложено в Лекции № 8 мы будем показывать, как и где могут реализовываться экстремальные условия для эксплуатации ультразвуковых аппаратов и какие аппараты для решения различных задач могут быть применены. Мы рассмотрим возможность работы создаваемых аппаратов, как в земных, так и в космических условиях.

Очевидно, что особенно ярко эти аномальные условия могут проявляться во внеземных условиях, при работе космических аппаратов в условиях глубокого космоса, на поверхности астероидов или планет. Но основная часть разрабатываемых аппаратов предназначена для эксплуатации в земных условиях.

В Лекции будут изложены выявленные практические подходы к реализации аппаратов, исследованы возможности и особенности эксплуатации аппаратов в экстремальных условиях по температуре.

В завершении Лекции, как обычно, будут представлены перспективные направления создания новых типов аппаратов. также показаны пути решения проблем на стадиях создания и применении аппаратов.

Считаю, что представляемый Вам материалы о состоянии и развитии техники ультразвука для экстремальных условий, анализ возможностей ее применения для обработки различных сред позволит Вас получить новые знания и стать специалистами в области развития и применения УЗ техники при решении стоящих перед Вами задач

Слайд 2. Как обычно, в начале каждой Лекции я напоминаю о том, кто я и откуда.

Напоминаю в очередной раз, что я представляю большой научный коллектив, занимающийся разработкой и применением ультразвуковых аппаратов различного назначения для разнообразных областей науки и техники. Работаем мы в городе Бийске Алтайского края в Российской Федерации.

Организационно -это научная школа, это лаборатория акустических процессов и аппаратов в Университете, это малые инновационные предприятия, создающие и производящие большое количество разнообразных ультразвуковых аппаратов.

Сегодня мы производим сотни различных ультразвуковых аппаратов и решаем различные научные задачи, связанные с применением ультразвуковых воздействий на различные среды, материалы и объекты.

Слайд 3.

Очень многие практически важные процессы, основанные на использование ультразвуковых воздействий, направленных на реализацию изменений структуры и свойств веществ и материалов необходимо ускорять в экстремальных температурных условиях.

Напоминаю, что для реализации процессов используются ультразвуковые аппараты, состоящие из электронного генератора и пьезоэлектрической колебательной системы

Однако реализация ультразвукового воздействия в экстремальных условиях с помощью традиционных ультразвуковых аппаратов имеет ограниченную эффективность в связи с рядом принципиальных физических ограничений, представленных на слайде

Это ограниченный температурный диапазон пьезоэлемента, при котором он сохраняет пьезоэлектрические свойства. При превышении температуры пьезокерамического материала определенного значения (точка

Кюри) пьезоэлектрические свойства теряются безвозвратно, и эксплуатация аппарата становится невозможной. Т.е. теряется способность создавать УЗ колебания

Однако до достижения этой температуры изменяется электрическая ёмкость пьезоэлемента, что приводит к изменению резонансной частоты колебательной системы с изменением температуры. Это приводит к рассогласованию ее параметров с параметрами генератора и снижению эффективности воздействия.

Изменяются и механические свойства материалов излучателя (снижается предел прочности на растяжение и на сжатие, уменьшается предельное количество циклов нагружения, возникают начальные напряжения). Это обуславливает не только изменение резонансных, но и существенно снижает прочность материалов.

Слайд 4.

Для преодоления указанных ограничений мы активно проводим исследования по поиску путей для реализации УЗ воздействий при различных температурах и в различных условиях.

Нами предложены и разработаны способы и оборудование для повышения эффективности воздействия на твёрдые, газообразные и жидкие среды в экстремальных условиях.

Воздействие на твёрдые среды, в основном, необходимо осуществлять при низких температурах, поскольку при экстремально высоких температурах твёрдые среды плавятся или сублимируют, т.е. становятся жидкими или газообразными, что будет рассмотрено далее.

Слайд 5.

Для воздействия на твёрдые среды нами создан и используется экспериментальный стенд, обеспечивающий низкую температуру в камере вплоть до -100 градусов Цельсия. Заданная низкая температура обеспечивается за счет жидкого азота и специальной системы вентиляции и контроля

Слайд 6.

Образцы для исследований изготавливаются из различных материалов и замораживаются до формирования однородной структуры и равномерной температуры в образцах.

На слайде показаны образцы для исследования процессов бурения.

Диаметр создаваемого канала – 25 мм. Амплитуда колебаний на торце инструмента – 30 мкм. Потребляемая мощность при бурении – до 75 Вт;

Слайд 7.

На слайде схематично представлен процесс ультразвукового бурения льда при низких температурах. Бурение начинается как процесс механического разрушения за счет формирования микротрещин, но далее, за счет повышения температуры и плавления льда формируется кавитационный процесс в жидкости и далее бурение реализуется, как процесс кавитационной размерной обработки – разрушения твердого хрупкого вещества за счет частиц твердого вещества. Такой механизм наиболее эффективно реализуется при наличии твердых частиц во льде.

Зависимость температуры плавления льда от внешнего давления согласно различным экспериментальным и теоретическим данным, дает представление о переходе льда в жидкую фазу.

Слайд 8.

Воздействие ультразвука для разрушения и удаления льда с поверхности технологических установок широко используется в современной практике. Наиболее эффективный процесс – это способность удалять лёд с поверхности радиаторов, трубопроводов, корпусов летательных аппаратов.

Слайд 9.

Особенно востребована технология удаления льда с поверхностей летательных аппаратов при помощи УЗ колебаний

На слайде представлена конструкция ультразвуковой противообледенительной системы крыла самолёта и фотография макета крыла с коркой льда, которая разрушена ультразвуковыми колебаниями. На слайде показана конструкция используемых колебательных систем, принцип их крепления и места размещения.

Слайд 10.

Наиболее представительный процесс ультразвукового воздействия на твёрдые среды при низких температурах – это бурение космических объектов для добычи воды, льда и других ценных веществ (типа гелия-3). На слайде представлено фото стенда для проведения подобных исследований.

Слайд 11.

Исследования бурения лунного грунта проводятся на различных имитаторах, температура которых может изменяться. Для повышения эффективности бурения космических объектов мы провели предварительные исследования на имитаторах космического грунта, способных имитировать различные по твердости и структуре материалы, в условиях, по температуре, близких к космическим.

Слайд 12.

Основное влияние на работу колебательной системы оказывают электрические параметры колебательной системы. Поэтому, в первую очередь, мы исследовали импедансные характеристики излучателя в зависимости от мощности.

Далее представлены результаты исследований в следующих условиях: Материал – замерзший песок (имитатор лунного грунта), усилие прижима – 7,5 Н, частота – 22 кГц, температура – -70°C . Мощность указана в % от максимального значения. Максимальная мощность составляет 50 Вт.

Как следует из полученных результатов - ток механической ветви растет, а модуль импеданса механической ветви падает с увеличением мощности излучения

Слайд 13

Аналогичным образом исследованы импедансные характеристики излучателя в зависимости от усилия прижима.

На слайде представлены результаты исследований в следующих условиях: Материал – замерзший песок (имитатор лунного грунта), мощность – 20 Вт, частота – 22 кГц, температура – -70°C .

Как следует из полученных результатов – при увеличении усилия прижима ток механической ветви падает, а модуль импеданса механической ветви увеличивается.

Слайд 14.

Но цель исследования - выявление зависимостей импедансных характеристик излучателя от температуры.

Такие исследования позволили выявить основную особенность воздействия – понижение температуры приводит к понижению тока механической ветви и увеличению акустического импеданса среды.

Следовательно, уменьшается энергия, вводимая в озвученный материал.

Таким образом, возникает необходимость предлагать новые физические принципы бурения, дополняющие ультразвуковое воздействие. Поэтому необходимо осуществлять дополнительное ударно-контактное воздействие с помощью присоединённой массы.

Слайд 15.

На слайде 15 представлены результаты экспериментальных исследований ультразвукового бурения.

Экспериментальные исследования при помощи представленного аппарата на показанном стенде, при дополнительном псевдовращении и ударно-контактном воздействии с помощью присоединённой массы позволили обеспечить повышение скорости бурения до 1,9 раз.

Таким образом, был экспериментально обоснован физический принцип ультразвукового бурения, эффективный при пониженных температурах, при котором воздействие ультразвуковыми колебаниями реализуется при наличии псевдовращения и ударно-контактного дополнительного воздействия с помощью присоединённой массы.

Слайд 16.

На основе предложенного физического принципа и компьютерного моделирования разработана конструкция ультразвуковой колебательной системы.

Для понимания конструкции УЗ колебательной системы на слайде представлены особенности конструирования пьезоэлектрического преобразователя и рабочего инструмента

Слайд 17.

Дополненная устройствами для обеспечения псевдовращения и ударного воздействия, одна из разработанных УЗКС представлена на слайде. Там же показаны ее технические характеристики.

Слайд 18.

Для определения скорости бурения с помощью предложенной УЗКС нами создана физико-математическая модель разрушения грунта и испарения водяного льда в соответствии с постановкой задачи, представленной на слайде.

Слайд 19.

Для экспериментальных исследований процесса изменения температуры грунта, влияющего на испарение жидкости, нами создана установка с системой температурных датчиков на различных глубинах и микропроцессорным устройством сбора данных.

Слайд 20.

Проведённые экспериментальные исследования температуры на различных глубинах позволили установить, что ультразвуковое воздействие, в отличие от механического бурения, не выводит температуру на различных глубинах за область отрицательных значений, что обеспечивает повышенную сохранность воды, льда и других ценных веществ.

Слайд 21.

Результаты еще одних исследований с фиксацией температуры в зоне воздействия, позволяющие устанавливать режимы воздействия, при которых осуществляется наиболее бережное воздействие, т.е. без разрушения воды или с ее испарения.

Слайд 22.

Если мы обобщим полученные данные о влиянии вещества материала, подвергаемого бурению (воздействию УЗ колебаниями) на электрические параметры ультразвуковой колебательной системы, мы можем сделать важнейший вывод о том, что измерение импедансных характеристик излучателя позволяет в режиме реального времени определять тип грунта, подвергаемого воздействию (бурению)

Сделав такой основополагающий вывод, остановимся на рассмотрении воздействий на твердые вещества и переходим к рассмотрению УЗ воздействий на газовые среды.

Слайд 23.

И так – переходим к следующему разделу нашей Лекции. Рассматриваем особенности практического УЗ воздействий на газовые среды, и показываем оборудование, которое для этого применяется.

Слайд 24.

На данном слайде перечислены основные процессы, реализуемые в газовых средах при высоких или низких температурах. Воздействие на газообразные среды, в основном, необходимо осуществлять в условиях

экстремально высоких температур. Поскольку процессы именно в таких условиях характеризуются образованием дисперсных выбросов, ряд известных твёрдых веществ пребывает в жидком состоянии, и химические процессы при повышенной температуре протекают более интенсивно.

Однако, следует отметить также, что процессы коагуляции приходится реализовывать при низких температурах, например в условиях крайнего Севера.

Далее несколько реальных технологий, реализуемых на практике

И так - Ультразвук при экстремальных температурных условиях позволяет коагулировать аэрозоли (коагуляция дисперсных выбросов в топочных газах), ускорять процессы горения, распылять авиационные масла и расплавы металлов.

Слайд 25.

На слайде представлены фотография установки с ультразвуковым распылителем для спектрального анализа авиационных масел.

Ультразвуковое воздействие позволяет за счет диспергирования, в условиях, создаваемых плазменной горелкой, получать, в зависимости от частоты, капли размером 30 мкм и менее. Спектральный анализ результатов сжигания этих частиц, содержащих частицы отработавшего масла, позволяет судить о степени износа авиационных двигателей.

Слайд 26.

На следующем слайде представлена конструкция и фотография установки ультразвукового распыления расплава алюминия. В данном случае расплав алюминия распыляется пневматическим методом (подачей азота), но распылительная головка совершает колебания с ультразвуковой частотой. Это приводит к снижению трения потока алюминия и существенному уменьшению среднего размера формируемых частиц.

Слайд 27.

На этом слайде представлена фотография установки ультразвуковой коагуляции дисперсных выбросов в топочных газах и фото аэрозольного облака до и после коагуляции. Применение УЗ воздействия для газоочистки позволяет существенно (до 90...95%) снизить выбросы частиц сверхмалого размера (менее 2, 5 мкм), общее число которых в составе отходящих газом может достигать 90% при из суммарной массе менее 1% от общей массы выбрасываемых частиц.

Слайд 28.

Для реализации процессов в газовых средах нами созданы экспериментальные стенды для испытаний излучателей при высоких температурах. О них мы говорили ранее. Это изгибно колеблющиеся титановые диски, колебания которых возбуждаются продольными колебаниями пьезопреобразователей. К сожалению, предельная температура таких излучателей 250....300 градусов

Слайд 29.

Что же происходит с такими излучателями при увеличении окружающей их температуры.

С помощью созданных экспериментальных стендов проведены исследования влияния температуры газовой среды на параметры ультразвукового излучателя.

В качестве примера на Слайде представлены результаты для одного излучателя (диаметром 190 мм), предназначенного для ускорения процессов выпекания хлеба или копчения колбас и рыбы. Повышение температуры с 28 до 216 °С приводит к уменьшению резонансной частоты УЗКС на 480 Гц.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что необходимо реализовать систему автоматической подстройки частоты в очень широком диапазоне, адаптированной к изменению температуры.

К сожалению, с ростом температуры меняются и свойства титана (добротность) и амплитуда формируемых колебаний при увеличении температуры падает. Поэтому эксплуатация УЗ аппаратов в условиях высоких и низких температур невозможна без стабилизации формируемой амплитуды колебаний.

Слайд 30.

Но на этом проблемы, связанные с эксплуатацией УЗ аппаратов при высоких температурах не заканчиваются

Экспериментально установлено так же, что при повышении температуры уровень звукового давления снижается, несмотря на увеличение амплитуды колебаний. Следовательно, необходимо искать новые нелинейные эффекты УЗ воздействия.

Слайд 31.

Один из путей решения проблемы на этом слайде

Мы предлагаем задействовать дополнительные нелинейные эффекты, создаваемые ультразвуком. Речь идёт, например, о вихревых акустических

течениях, которые возникают в резонансном газовом промежутке. За счёт вихревых течений происходит локальное повышение концентрации (частицы за счёт сил инерции частично уносятся к периферийным областям вихрей). Следовательно, возрастает эффективность коагуляции.

Такое решение для нас стало практически очевидным, поскольку используются изгибно колеблющиеся диски. Причем колебания они совершают на частоте около 20 кГц, что соответствует 5...9 моде изгибных колебаний диска. Т.е. на поверхности автоматически создаются концентрические зоны с максимумами и минимумами колебаний.

Завершая раздел о УЗ воздействиях в газовых средах следует отметить, что хотя выявленные и показанные особенности представлены для газовых сред, все эти влияния необходимо учитывать и при обработке жидких сред, к изучению которых мы переходим

Слайд 32.

И так – результаты практических исследований и разработок применительно к реализации УЗ воздействий на жидкие среды в экстремальных по температуре условиях.

Показываю, что мы делаем для исследования ультразвукового воздействия на жидкости при экстремальных температурах.

Слайд 33.

Прежде всего, для проведения исследований используются специальные стенды и установки с принудительным нагревом до требуемой температуры.

На слайде представлен стенд для плавления металлов и УЗ воздействия на расплав.

Для воздействия на жидкие среды при низких температурах используется стенд на основе жидкого азота.

Для проверки работоспособности пьезоэлектрических систем при низких температурах исследования проводятся при полном погружении систем в жидкий азот.

Слайд 34.

В жидких средах при экстремальных условиях реализуются следующие процессы:

- 1) Кавитационная обработка криогенных жидкостей;
- 2) Кавитационная обработка расплавов полимеров;
- 3) Кавитационная обработка расплавов легкоплавких сплавов.

Во всех случаях конечная цель не просто формирование колебаний, а формирование колебаний в кавитационном режиме, с вполне определенными значениями по интенсивности воздействия.

Слайд 35.

Пример оборудования для ультразвукового воздействия на расплав алюминия, через который перемещается нить. Такая технология позволяет получать металлическую проволоку, армированную углеродными нитями. Представлена на слайде конструкция и фотография ультразвукового аппарата для практической реализации такой обработки.

Слайд 36.

Очень часто возникает необходимость введения в расплав металла или полимера армирующих, легирующих или упрочняющих частиц. На слайде представлена конструкция УЗКС для обработки расплава полимеров. Особенность в создании условий равномерного воздействия в высокоинтенсивном кавитационном режиме на небольшой объем протекающей жидкой среды

Слайд 37

На слайде представлены фотографии установки для обработки криогенных жидкостей. По обмораживанию установки слева очевидно, что проводится обработка в жидком азоте.

Слайд 38.

Возвращаемся к горячим средам - на слайде пример практической установки для реализации процесса обработки расплава полимеров в экспериментальной установке.

Слайд 39.

На этом слайде представлены процесс обработки расплава алюминия, аппарат для кавитационной обработки расплава металлов, фотографии результатов такой обработки на установке кавитационной обработки расплава алюминия.

Слайд 40.

Показывает, какие проблемы необходимо решать при практической реализации УЗ воздействия на расплавы при высокой температуре.

Исследования влияния температуры на импедансные характеристики излучателя при обработке расплавов позволили установить, что изменение температуры приводит к уменьшению резонансной частоты с 21 до 20,2 кГц. Следовательно, необходимо осуществлять непрерывный контроль акустической нагрузки и автоматическую подстройку частоты. При повышении температуры увеличивается активное сопротивление внутренних потерь в УЗКС до 3 раз. Следовательно, уменьшается мощность, вводимая в среду. Это необходимо компенсировать для обеспечения равномерности протекания процесса. Для повышения эффективности воздействия необходимо оптимизировать геометрию обрабатываемого объёма.

Слайд 41.

Очень важным при проведении УЗ воздействий на различные материалы в расплавах является понимание необходимости обеспечения определенного расстояния между излучателем и обрабатываемым материалом.

Проведённые исследования влияния размера обрабатываемого промежутка установили, что при мощностях, обеспечивающих режим развитой кавитации, необходимо воздействовать при оптимальном расстоянии между излучателем и отражающей поверхностью (для расплава алюминия – 3,2 см).

Слайд 42.

На основании проведённых исследований установлены требования к ультразвуковым аппаратам для воздействия в экстремальных условиях.

Ультразвуковое воздействие на твёрдые среды должно дополняться ударно-контактным воздействием со свободной массой и псевдовращением.

Ультразвуковое воздействие на газовые среды должно проводиться при подстройке частоты в зависимости от температуры. Ультразвуковой излучатель должен быть снабжён двойной системой охлаждения (воздушное и водяное).

Ультразвуковое воздействие на жидкие среды (расплавы) должно осуществляться при оптимальном расстоянии между излучателем и отражающей поверхностью.

Это основные выводы. Имеющиеся решения я Вам представил.

К сожалению, если проблемы электроники и управления процессами сегодня успешно решаются, основная проблема дальнейшего развития

оборудования для работы в экстремальных условиях связана с отсутствием разработок специализированных колебательных систем.

Поэтому, рассмотрим – что же делать далее

Слайд 43.

Дальнейшие пути решения проблем ультразвукового воздействия в экстремальных условиях заключаются в следующем.

Слайд 44.

В первую очередь - это необходимость создания пьезоэлектрических колебательных систем для работы в широком диапазоне УЗ колебаний (до 100 кГц) и увеличение их мощностных характеристик.

Поэтому, в первую очередь, наши усилия направлены на создание многопакетных пьезопреобразователей повышенной мощности и увеличенной частоты. Это системы, основанные на суммировании УЗ колебаний, создаваемых большим количеством преобразователей Ланжевена на цилиндрических накладках, преобразующих радиальные колебания в продольные.

Слайд 45.

Конечно же - это создание специальных инструментов для бурения с ультразвуком. На слайде один из примеров подобных инструментов.

Слайд 46.

И как один из результатов практического решения подобных проблем - перед Вами на слайде - созданный комплект разночастотных аппаратов для подачи колебаний в зону расплава (при сварке металлов). Аппараты способны обеспечивать воздействие на расплав на частотах от 15 до 100 кГц, вводя колебания под различными углами в различных условиях.

Например, в настоящее время разрабатываются аппараты для реализации процессов сварки с ультразвуком в вакууме. Это даст возможность, в будущем, использовать в открытом космосе сварку лазером с ультразвуковым воздействием на зону формирования шва.

Таким образом, подводя итоги можно сделать вывод о наличии оборудования для реализации оптимальных режимов ультразвукового воздействия и о возможности практической реализации ультразвукового воздействия в экстремальных по температуре условиях, т.е. в условиях низких и высоких температур в земных и космических условиях.

Более подробно материалы, изложенные в Лекции будут в ближайшее время опубликованы в виде нескольких статей.