

Лекция 12

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ КОАГУЛЯЦИИ ПРИ ДОБЫЧЕ ВОДЫ ИЗ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Слайд 1.

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги!

Предлагаемая Вам очередная Лекция включает в себя результаты теоретических и практических разработок и экспериментальных исследований, направленных на решение проблемы объединения (коагуляции) частиц воды различных размеров при их выделении в процессе добычи воды из грунтов внеземных объектов за счет организации ультразвукового воздействия и при естественных условиях.

Результаты представляемых исследований и разработок призваны показать принципиальную возможность интенсификации (ускорения) процесса улавливания мелкодисперсных частиц воды, в частности, из лунного грунта. Они дают рекомендации по выбору оптимальных режимов и условий воздействия и показывают пути решения проблем создания и эксплуатации ультразвуковых приборов (аппаратов) для добычи воды на Луне.

Т.е., в этой лекции, мы опять же рассматриваем возможности и результаты практической реализации ультразвуковых воздействий для коагуляции (объединения) частиц воды, при ее добыче из внеземных грунтов в экстремальных условиях.

В лекции мы рассмотрим также возможности практической реализации ультразвуковой коагуляции различных по размерам частиц воды, формируемых, (выделяемых в пространство) при реализации процесса добычи воды из лунного грунта при помощи различных технологий и устройств, например, предложенных ранее ультразвуковых устройств различного типа.

В лекции приводятся результаты оценки их эффективности на основе теоретических расчетов и результатов экспериментальных исследований в земных условиях.

В продолжении того, что было изложено в предыдущих Лекциях, будут показаны особенности создания и эксплуатации каких аппаратов, которые могут быть применены для практического решения поставленной задачи.

Кроме того, в Лекции будут изложены выявленные практические подходы к реализации ультразвуковых устройств для коагуляции добываемых частиц воды, формируемых в виде аэрозолей при

интенсификации процесса добычи воды из лунного грунта, исследованы возможности и особенности применения ультразвуковых аппаратов.

В завершении Лекции, как обычно, будут представлены практические рекомендации по созданию перспективных конструкций новых типов аппаратов для решения проблем сбора мелкодисперсных частиц воды для ее добычи.

Представляемые Вам материалы о возможностях и перспективах техники ультразвука для ультразвуковой коагуляции при добыче воды из лунного грунта, позволят Вам получить новые знания, расширят Ваш кругозор и обеспечат возможность стать специалистами в области УЗ техники при решении стоящих перед Вами задач.

Слайд 2.

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

В очередной раз информирую Вас, 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.

Представляемые Вам сегодня материалы – результат многолетних исследований большого коллектива.

Сегодня этот коллектив развивает новые направления развития и применения ультразвуковых технологий, производит сотни различных ультразвуковых аппаратов и решает различные научные проблемы, связанные с применением ультразвуковых воздействий на различные среды, материалы и объекты. Коагуляция – одна из таких проблем.

Слайд 3.

И так – приступаем к рассмотрению проблемы, на решение которой направлены представляемые далее исследования.

Повторю то, что было сказано на предыдущей Лекции.

Для чего нужна добыча воды на внеземных объектах, в частности, на Луне. Целей добычи воды на Луне достаточно много – основные из них представлены на слайде:

- Научные исследования, направленные на поиск следов возможного наличия жизни, проведение экспериментов, невозможных на Земле;

- Обеспечение возможности колонизации, поскольку наличие воды – это добыча кислорода, выращивание растений, выживание человечества в случае глобальных катастроф на Земле и т.п.;

- Добыча воды обеспечит выделение водорода для получения топлива, поскольку запуск космических аппаратов с Луны для исследования дальнего космоса наиболее рационален в сравнении с запусками с Земли.

Конечно же, если мы планируем добывать воду на Луне (из лунного грунта), следует быть уверенными в ее наличии там.

На сегодняшний день уже достоверно известно, что вода на Луне есть. В основном, конечно, в твердом состоянии (состоянии льда) на полюсах Луны, на определенной глубине, где температура не поднимается выше 0 градусов Цельсия.

Наличие воды на Луне подтверждается пока только результатами косвенных исследований. В частности, предполагаемое наличие льда на полюсах Луны установлено по результатам обработки данных с прибора NASA Moon Mineralogy Mapper (M3) (светоотражающие свойства, способность молекул поглощать инфракрасный свет).

Поэтому следует готовиться добывать воду. Об этом мы с Вами и говорим.

И не просто говорим, а предлагаем новые способы интенсификации этого процесса.

Слайд 4.

Поэтому возникает необходимость решения проблемы – добычи воды при условии снижения энергозатрат в сравнении с известными способами (нагрев). И поскольку мы занимаемся ультразвуковыми технологиями, мы предлагаем и обосновываем возможность и эффективность использования ультразвука для решения этой проблемы.

Как мы уже говорили - 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.

Эти знания позволяют нам считать, что ультразвуковые колебания способны обеспечить повышение эффективности добычи воды на Луне.

Поэтому, для решения проблемы, мы предлагаем технологию обнаружения и добычи воды на Луне при помощи УЗ воздействия. Мы считаем, что такое воздействие позволит интенсифицировать процесс добычи воды за счет специальных энергетических воздействий.

Слайд 7.

Как воздействовать? Мы говорили в предыдущей Лекции, что есть два основных способа подведения энергии УЗ колебаний к реголиту: контактный и бесконтактный.

В первом случае для воздействия не нужна промежуточная среда и обеспечивается воздействие, передача колебаний, распространение с поглощением и, таким образом, обеспечивается необходимый нагрев реголита. Такой способ легко реализуем даже в вакууме.

Во втором случае необходима промежуточная газовая среда (каковая есть на Марсе, но каковой на Луне нет, но, она может быть создана в объеме локальных установок), однако, при этом увеличивается площадь воздействия и исключается износ УЗ излучателя.

В любом случае, есть возможность осуществлять воздействие, выделяя воду из пористой структуры реголита.

Как видно из этого слайда ультразвуковое воздействие позволяет реализовать процесс выделения воды из взвешенных грунтов при различных режимах воздействия ультразвуковыми колебаниями, в том числе без фазового перехода. Реализация такого воздействия обеспечивает существенную экономию энергии, поскольку не нужно осуществлять такой нагрев воды, что бы переводить ее в парообразное состояние. Т.е часть воды испаряется за счет разности давлений или нагрева, а часть распыляется за счет кавитационного воздействия.

Следует конечно сказать о размерах частиц, формируемых под действием ультразвука. Точно известно распределение частиц и их средний размер. Средний размер на частоте 22 кГц около 69....70 мкм, а частицы тумана имеют размер от 1 до 100 мкм, удерживаются в воздухе броуновским движением, поэтому, капли крупнее, чем 100 мкм опускаются вниз и оседают на поверхности. Аналогичные размеры имеют частицы тумана,

сформированного за счет теплового перевода воды в парообразное состояние (хотя пар по определению это молекулы воды)

Слайд 6

В настоящее время для улавливания частиц высокодисперсной водной фазы из промышленных выбросов разработаны и применяются различные аппараты, отличающиеся друг от друга, как по конструкции, так и по способу осаждения. Они обеспечивают достаточно высокую эффективность улавливания дисперсных частиц (до 95-99% для частиц крупнее 20 мкм). Однако, их эффективность значительно уменьшается при улавливании высокодисперсных частиц с размерами менее 10 мкм. Увеличение эффективности уловителей данного типа за счет изменения конструктивных особенностей и режимов движения газодисперсной фазы не приносит желаемых результатов. Невысокая эффективность улавливания высокодисперсных частиц, главным образом, обусловлена высокой степенью увлечения частиц газовым потоком. Все имеющиеся способы предварительной обработки позволяют увеличить эффективность сепарации высокодисперсных частиц, при этом большинство способов изменяют физические свойства или химический состав улавливаемого продукта.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности улавливания высокодисперсных частиц является их предварительная коагуляция в высокоинтенсивных акустических полях. Акустическая коагуляция является одним из немногих известных способов на данное время, не вносящим изменения в химический состав или физические свойства коагулируемых частиц. Таким образом, применение высокоинтенсивных УЗ колебаний для предварительной обработки газодисперсного потока позволит значительно повысить эффективность очистки.

Таким образом, одним из перспективных путей повышения эффективности газоочистного оборудования является акустическая коагуляция частиц за счет наложения высокоинтенсивных ультразвуковых

полей. Однако на практике УЗ воздействие до настоящего времени не нашло широкого промышленного применения для повышения эффективности улавливания дисперсных частиц, в том числе водяных. Поэтому задача создания газоочистного оборудования с повышенной эффективностью, обеспечиваемой за счет УЗ воздействия до настоящего времени не решена..

Слайд 7

Но ультразвуковой (акустический) способ воздействия имеет очевидные преимущества, представленные на слайде.

1. Способность коагулировать аэрозоли различной дисперсности
2. Применимость к агрессивным и горючим средам
3. Не изменяет физико-химические свойства исходных жидких сред
4. Компактность оборудования
5. Малая энергоемкость
6. Высокая эффективность.

Благодаря этим преимуществам мы видим огромные перспективы УЗ коагуляции.

Слайд 8

Ультразвуковая коагуляция представляет собой процесс сближения, столкновения и укрупнения, взвешенных в газе мелких жидких капелек под действием акустических колебаний звуковых или ультразвуковых частот.

Для реализации УЗ коагуляция высокодисперсных частиц с целью увеличения эффективности улавливания частиц, было предложено дополнять улавливатели УЗ излучателями или дооборудовать оборудования коагуляционными камерами для предварительной обработки входящего газовой потока.

Слайд 9

Существуют различные источники акустического воздействия.

Основные на сегодня – газоструйные и пьезоэлектрические. Их мы с Вами рассматривали ранее

Достоинства и недостатки их представлены на слайде

Слайд 10

Самыми перспективными для газовых сред на данный момент являются ультразвуковые пьезоэлектрические излучатели. На слайде показаны используемые на данное время типы УЗ излучателей. Это изгибно и продольно-колеблющиеся излучатели. Внешний вид разработанных УЗ излучателей, типовая форма колебаний излучающего элемента и диаграмма направленности показаны на слайде.

Преимущества перечислены там же. Это:

1. Высокий КПД (более 60%).
2. Широкая диаграмма направленности излучения с высоким уровнем звукового давления (более 150 дБ).
3. Малые массогабаритные характеристики.
4. Простота использования.
5. Широкая распространённость используемых в производстве излучателей материалов.
6. Стабильное по частоте излучение, позволяющее обеспечивать наиболее эффективный режим колебаний – режим стоячей волны.

Слайд 11.

Общий подход к реализации процесса коагуляции должен быть реализован следующим образом. Рассмотрим это на примерах предварительных экспериментальных исследований процесса коагуляции. При исследованиях была использована коагуляционная камера объемом 1,5 м³ оснащенная изгибно-колеблющимися излучателями диаметром 250 мм.. Установлено, что максимальный уровень звукового давления составил 140дБ, при этом аэрозоль полностью осаждался за 250 секунд с принудительной конвекцией. Такая длительность процесса оказалась неприемлемой при использовании в системах газоочистки. Возникла необходимость в проведении исследований

для выявления оптимальных режимов и условий коагуляции и выработки требований к устройствам для практической реализации процесса.

Слайд 12

Предварительные экспериментальные исследования для определения возможностей УЗ коагуляции были проведены на водных аэрозолях, формируемых ультразвуковым ингалятором. Средний размер формируемых частиц около 5 мкм. Исследования проводились как в стоячей волне, так и в бегущей волне. Результаты исследований приведены на слайде.

В стоячей волне коагуляция происходила за примерно 2 секунды. При этом достигается высокий уровень эффективности.

Слайд 13

На этом слайде представлены фотографии, иллюстрирующие динамику процесса коагуляции

Эксперимент проводился при следующих параметрах УЗ воздействия: уровень звукового давления – 130 дБ; частота генерируемых звуковых колебаний – 20,5 кГц; время ультразвукового воздействия 15 сек.

В результате ультразвукового воздействия аэрозоль практически полностью коагулировал. Стенки технологического объема при этом покрылись капельками коагулированной жидкости.

Следует отметить, что при простом перемешивании аэрозоля, как при помощи ультразвуковых колебаний (при уровне звукового давления недостаточного для коагуляции), так и при помощи воздушных потоков генерируемых механическим путем (при помощи вентилятора помещенного в технологический объем) осаждения аэрозоля не наблюдалось.

Слайд 14

На слайде представлены полученные зависимости скорости коагуляции аэрозолей от времени для различных уровней звукового давления

Из представленных зависимостей видно, что скорость коагуляции резко возрастает, начиная с уровня УЗ воздействия, соответствующего 125 дБ. При дальнейшем увеличении уровня УЗ воздействия максимальные значения,

которых достигает скорость коагуляции, продолжают возрастать, так и не достигая какого либо ограничения или максимального значения.

Так впервые были установлены предельные минимальные значения уровня звукового давления, при которых может быть реализована ультразвуковая коагуляция.

Слайд 15

Аналогичны результаты были получены и при наличии газовых потоков, т.е. для движущихся в потоке водных частиц.

Слайд 16

И так - отсутствие данных об оптимальных режимах ультразвукового воздействия (частота воздействия, уровень звукового давления) на различные по параметрам газодисперсные потоки (с различными по размерам частицами, при различных скоростях потока, временах воздействия и т.п.) не позволяет предложить и разработать оборудование, реализующее оптимальные режимы и условия. Для достижения максимальной эффективности УЗ коагуляции водных частиц проведены многочисленные исследования по выявлению оптимальных режимов газодисперсного потока и условий акустического воздействия. Т.е. предприняты попытки решения задач теоретического и экспериментального исследования движения водногазового потока с учётом акустического воздействия высокой интенсивности, реализующим режим стоячей волны, является актуальной и требующей решения.

Поэтому была осуществлена разработка экспериментальных образцов оборудования, реализующего определенные режимы течения газодисперсного потока и параметры ультразвукового воздействия

В первую очередь была создана коагуляционная камера для исследования процесса в бегущей и стоячей волне достаточно большого размера, способная имитировать реальные условия реализации процесса на вземных объектах.

На расстоянии до 12 м от излучателя удалось обеспечить условия ультразвукового воздействия, достаточные для реализации процесса ультразвуковой коагуляции водных частиц.

Результаты исследований свидетельствуют о существенном ускорении процесса коагуляции водного аэрозоля со средним размером частиц около 5 мкм.

Слайд 17

При этом формирование стоячей волны позволяет увеличить эффективность коагуляции, что показано на этом слайде.

Слайд 18

Эффективность коагуляции в тонком резонансном промежутке при использовании изгибно-колеблющегося излучателя оказывается существенно выше, чем при использовании продольно-колеблющегося излучателя за счет формирования вихрей.

В результате исследований определены траектории перемещений частиц в УЗ поле.

Слайд 19

На основании полученных результатов предложены и разработаны конструктивные схемы реализации систем коагуляции, представленные на слайдах.

На этом слайде представлены схемы перемещения водных частиц в коагуляционной камере при использовании продольно-колеблющегося излучателя и при использовании изгибно-колеблющегося излучателя

Слайд 20

На этом слайде представлен прототип реализации реальной конструкции устройства, объединяющего множество резонансных промежутков

Слайд 21

Надеюсь, что для Вас теперь очевидно, что создание промышленного оборудования для коагуляции водных частиц связано с созданием источников высокоинтенсивного УЗ воздействия.

И как Вы поняли из предыдущих слайдов решение проблемы связано с разработкой и применением продольно-колеблющихся излучателей и изгибно-колеблющихся излучателей.

Их конструкции представлены на слайде. Там же поясняется принцип их работы.

Слайд 22

При проектировании УЗ излучателей разработчики сталкиваются со следующими проблемами:

1. Обеспечение равномерности амплитуд колебаний ,как в пределах кольцевых участков, так и между кольцевыми участками.
2. Появление второстепенных мод колебаний, имеющие частоты близкие к частоте кольцевой моды колебаний (разница менее 500 Гц) приводит к деформации формы колебаний кольцевой моды. .
3. Анизотропия механических свойств материала приводит к деформации формы колебаний кольцевой моды.
4. Относительно низкий уровень звукового давления для реализации быстрой коагуляции
5. Малая площадь излучения

Для решения первой задачи, т.е. корректировки амплитуд колебаний в пределах кольцевых участков необходимо ступенчато изменять толщину диска за счет изменения профиля тыльной стороны при этом не допускать сближения частот второстепенных мод к частоте рабочей кольцевой моды.

Слайд 23

Вторая задача связана с формированием неравномерного распределения колебаний за счет сложения нескольких форм колебаний. На слайде показаны желаемые, второстепенные моды колебаний и результирующие формы колебаний излучателей.

Слайд 24

Третья задача связана с наличием анизотропии механических свойств материала, из которого изготавливаются излучатели. Так как излучатели

изготавливают из титанового листового проката, обладающего анизотропией, результирующая форма колебаний получается отличной от кольцевой. На слайде приведены результаты моделирования излучателей с разной степенью анизотропии и фото излучателей.

На слайде представлена зависимость равномерности колебаний от анизотропии механических свойств

Слайд 25

Относительно низкий уровень звукового давления для реализации быстрой коагуляции требует разработки излучателей повышенной мощности, например с рупорными усилительными устройствами.

Слайд 26

Примеры результатов расчетов УЗ поля формируемого продольно-колеблющимся излучателем с различными конфигурациями рупоров показаны на этом слайде.

Слайд 27

Этот слайд представляет конструкции, позволяющие существенно увеличить поверхности излучения создаваемых устройств УЗ воздействия.

Слайд 28

Поскольку очевидно, что основная проблема связана в улавливанием очень мелких частиц (менее 2, 5 мкм) была предложена двухступенчатая схема реализации процесса. В первой ступени осуществляется УЗ воздействие на закрученный газовый поток, с целью коагуляции очень маленьких частиц. Во второй осуществляется высокоэффективная сепарация уже предварительно объединенных частиц..

За основу первой ступени - агломератора была взята конструкция вихревой трубы. Для осуществления энергетического воздействия на поток на ее торцах установлены УЗ дисковые излучатели.

В качестве второй ступени улавливания может использоваться инерционное газоочистное оборудование. На слайде представлен аппарат со встречно-закрученными потоками, дополненный двумя УЗ излучателями.

Слайд 29

Для определения эффективности предложенного оборудования, было проведено предварительное моделирование процесса коагуляции в системе конечно-элементного анализа. Моделирование распределения звукового давления проводилось в COMSOL Multiphysics. Результаты расчетов показаны на слайде. Установлено, что без УЗ воздействия агломератор не обеспечивает существенного повышения эффективности сепарации. Это связано с отсутствием укрупнения частиц.

В свою очередь, при наличии УЗ воздействия только в агломераторе эффективность уже существенно возрастает за счет укрупнения водно дисперсных частиц.

В случае осуществления УЗ воздействия как в агломераторе, так и в аппарате ВЗП эффективность сепарации частиц 1 мкм повышается с 30% до 97%, а частиц 4 мкм с 85% до 99,5% за счет дополнительной коагуляции частиц в объеме аппарата ВЗП.

Слайд 30

Далее был изготовлен экспериментальный образец двухступенчатого комплекса и проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность улавливания одним аппаратом ВЗП (кривая 1) ниже, чем этим же аппаратом, но с установленным агломератором (кривая 2). УЗ воздействие в обоих случаях не осуществлялось. Это связано с улавливанием и самопроизвольной коагуляцией частиц в объеме агломератора даже при отсутствии УЗ воздействия.

В свою очередь, при наличии УЗ только в агломераторе (кривая 3) эффективность улавливания частиц 3 мкм уже повышается с 68 до 93%. При наличии УЗ воздействия в агломераторе и аппарате ВЗП (кривая 4) эффективность улавливания частиц диаметром 3 мкм повышается до 97%.

Слайд 31

Предложенный способ улавливания очень эффективен, но имеет

определенные ограничения. Об этом следует сказать.

В частности, при формировании стоячей волны частицы почти не взаимодействуют между собой в пределах узловой области и при низкой концентрации эффективность коагуляции будет минимальной. Это связано с тем, что из-за большого расстояния между частицами, значительно превышающих их размер, силы взаимодействия частиц, и амплитуда колебательного движения оказываются недостаточными для сближения их на расстояние достаточное для соударения.

Кроме того, использование низкой частоты ультразвукового воздействия, при которой все частицы размером менее 2,5 мкм вовлекаются в колебательное движение, что не способствует их сближению и соударению. позволяющих создавать различные по форме и значениям локальные перепады давлений в локальных областях в течении требуемого времени воздействия.

Влияет также отсутствие условий для возникновения вторичных эффектов, повышающих эффективность УЗ коагуляции, отсутствие условий для возникновения вторичных эффектов повышающих эффективность УЗ коагуляции и главное - низкая вероятность столкновения частиц при малых концентрациях даже при высоком уровне звукового давления, за счет больших расстояний (больше размера самих частиц) между частицами

Слайд 32

Поэтому дальнейшим развитием является применение нелинейно-волнового ультразвукового воздействия на газовые среды для коагуляции частиц менее РМ 2,5

На слайде представлена схема стенда и результаты моделирования УЗ поля

В настоящее время проводятся комплексное исследование данных процессов.

Слайд 33

Более подробно результаты исследований и разработок изложены в наших работах, в частности к представленной книге.