

Лекция 11

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ГРУНТОВ В АНОМАЛЬНЫХ 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 добычи воды из грунтов внеземных объектов за счет организации ультразвукового воздействия в экстремально низких температурах.

Результаты представляемых исследований и разработок показывают принципиальную возможность интенсификации процесса добычи воды из лунного грунта (в частности) и снижения энергозатрат на реализацию этого процесса в сравнении с традиционными методами разогрева грунта, дают рекомендации по выбору оптимальных режимов и условий воздействия и показывают пути решения задач создания и эксплуатации ультразвуковых приборов (аппаратов) для добычи воды на Луне.

Т.е., в этой лекции, мы рассматриваем возможности и результаты практической реализации ультразвуковых воздействий на внеземные грунты в экстремальных условиях, применительно к решению проблемы выделения воды из грунта.

В лекции мы рассмотрим возможности практической реализации процесса добычи воды из лунного грунта при помощи предлагаемых к разработке устройств различного типа, оценим эффективность их эксплуатации в практически реализуемом в земных условиях диапазоне температур.

В продолжении того, что было изложено в предыдущих Лекциях об экстремальных условиях мы будем показывать, какие аппараты для решения поставленной задачи могут быть применены.

В Лекции будут изложены выявленные практические подходы к реализации ультразвуковых устройств для интенсификации процесса добычи воды из лунного грунта, исследованы возможности и особенности применения ультразвуковых аппаратов.

В завершении Лекции, как обычно, будут представлены перспективные конструкции новых типов аппаратов для решения проблем добычи воды.

Считаю, что представляемый Вам материалы о возможностях и перспективах техники ультразвука для добычи воды из лунного грунта позволит Вас получить новые знания, расширить Ваш кругозор и возможности 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.

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.

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

Добыча воды на внеземных объектах, в частности на Луне. Целей добычи воды на Луне достаточно много – основные из них это:

- 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.

Да, имеющиеся научные исследования свидетельствуют о наличии воды.

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.

Подтверждается наличие воды на Луне 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).

Слайд 4.

Кроме этих исследований есть еще множество различных исследований, гипотез, предположений и предложений по практической реализации процесса добычи воды.

В частности, есть данные о наличии воды в жидком виде не только на полюсах, правда в малых количествах.

В основном эти результаты получены путем дистанционного анализа с поверхности Земли и околоземной орбиты.

Также имеются результаты анализа лунного грунта, доставленного на Землю несколькими экспедициями.

При этом сама добыча воды это пока задача в рамках науки и гипотез. Например, Курчатовский институт (Россия) предлагает захватывать грунт роботом в затененном участке луны, перемещать робота на освещенное солнцем пространство, где будет происходить плавление льда и испарение воды за счет энергии Солнца с последующей конденсацией.

Практически все предлагаемый и рассматриваемые сегодня способы основываются на переводе льда в воду и ее испарение за счет подвода тепла теми или иными способами.

Однако, как Вы понимаете, перемещение роботов, так же, как и нагрев с последующий перевод воды в пар, это очень энергозатратный процесс, что делает его очень затруднительно реализуемым в условиях космоса.

Слайд 5.

Поэтому возникает необходимость решения проблемы – добычи воды при условии снижения энергозатрат в сравнении с известными способами (нагрев). И поскольку мы занимаемся ультразвуковыми технологиями, возникает желание использовать ультразвук для решения этой проблемы.

Почему мы считаем, что это возможно и эффективно.

Вернемся к знаниям, полученным нами в первых Лекциях.

Что же такое ультразвук или ультразвуковые колебания нам хорошо известно и нам также известно как они формируются и как они могут распространяться.

Нам известно, что ультразвуковые колебания могут распространяться в любом веществе, находящемся в газообразном, жидком или твердом состоянии. Распространение происходит в том же направлении, в котором происходит смещение частиц этого вещества, то есть распространение колебаний всегда вызывает деформацию среды. Деформация заключается в том, что происходит последовательное разрежение 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 разрежения среды при данной амплитуде колебаний. Очевидно, что движение волны это всегда перенос энергии.

При этом

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 составляет $\lambda = c / f = 1$ см). Это позволяет формировать более узкое и направленное излучение, (то есть направить энергию в нужном направлении и сосредоточить ее в нужном объеме).

2. Ультразвуковые колебания могут распространяться в любых материальных средах.

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, внутри любого объекта может распространяться очень большая энергия механических колебаний. Возникает так называемое звуковое давление.

И так. Что же получается. Ультразвуковые колебания – это колебательное движение (сжатие – растяжение с некоторым поглощением энергии) упругой среды с частотой более 20 кГц. УЗ колебания могут распространяться в любых материальных средах (пористых, жидкодисперсных твердых и т.п.). Интенсивность УЗ колебаний может достигать 1 кВт/см², что приводит к возможности реализации и интенсификации множества технологических процессов (сварка, сверление, пропитка, растворение, очистка, дегазация, полимеризация, эрозия, сушка и многие другие).

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 с уменьшенными энергозатратами при помощи УЗ воздействия. Мы считаем, что такое воздействие позволит интенсифицировать процесс добычи воды за счет специальных энергетических воздействий.

Слайд 6.

Не смотря на наши и мировые достижения в области УЗ технологии можно выделить ряд проблем практической реализации добычи воды из лунного грунта (реголита):

- Сложность введения ультразвуковых колебаний в грунт при аномальных условиях низких температур и давлений;

- Малое сокращение продолжительности процесса, его зависимость от вида материала, его количества и размера частиц, а также от влагосодержания;

- Отсутствие технических решений по реализации процесса в космических условиях;

- Отсутствие зависимостей эффективности ультразвукового добычи воды от условий ультразвукового воздействия;

- Отсутствие данных о наличии и величине «порогового значения интенсивности УЗ воздействия» при котором ультразвуковая добыча воды становится эффективной;

- Невозможность обеспечения режима ультразвукового воздействия, энергетически выгодного для реализации процесса, но не превышающего предельных возможностей современных излучателей.

- Т.е., применительно к реализации технологии добычи воды на Луне мы пока не готовы. Нет у нас специальных знаний, опыта и оборудования.

Необходимость решения указанных проблем и обуславливает актуальность и необходимость поиска путей интенсификации процесса выделения и добычи воды из лунного грунта.

Поэтому следует начинать с самого начала. Как и чем можно воздействовать.

Слайд 7.

Как воздействовать? Для нас сегодня очевидно, 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.

Во втором случае необходима промежуточная газовая среда (каковой на Луне нет, но, например, есть на Марсе), 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 и за счет чего это планируется делать, подробнее будет сказано далее.

Как видно из этого слайда наша конечная цель - Процесс выделения воды из внеземных грунтов при различных режимах воздействия ультразвуковыми колебаниями, в том числе без фазового перехода. Реализация именно этого условия может обеспечить существенную экономию энергии, поскольку не нужно осуществлять нагрев до температуры испарения и переводить в парообразное состояние

Слайд 8.

На первом этапе исследований очевидно, что контактное УЗ воздействие преобладает преимуществом в условия вакуума и низких температур, поэтому более подробно рассмотрим преимущества и недостатки такого способа. Можно выделить два способа контактного воздействия на грунт:

- возбуждение колебаний стенок камеры с грунтом (при этом есть возможность автоматического бурения на глубину до нескольких метров и автоматического контроля наличия воды по анализу акустических колебаний в грунте, однако будет обеспечиваться малый объем воды и погрешность определения наличия воды из-за неопределенности физических параметров реголита);

- непосредственное воздействие на грунт УЗ излучателем (при этом есть возможность увеличения объема получаемой воды и значительная интенсификация за счет механизма диспергирования влаги, однако в большинстве случаев должен присутствовать механизированный захват реголита).

Для реализации этих способов необходимо провести научно-исследовательские работы.

Слайд 9

Когда мы говорим о выделении влаги из материала, мы понимаем, что такой процесс нам хорошо известен, и он широчайшим образом реализуется на Земле. Это, так называемая Ультразвуковая сушка.

Поэтому мы предлагаем использовать аналогию между УЗ сушкой материалов и выделением воды из внеземных объектов, поскольку в обоих случаях идет процесс десорбции, только в первом случае влага — это побочный продукт, а во втором – целевой.

Исходя из этих аналогий - ультразвуковое воздействие в нашем случае, как и при реализации ультразвуковой сушки, обеспечит:

1. Повышение эффективности.
2. Снижение энергопотребления.
3. Возможность добычи при сниженных температурах

А за счет чего это может быть обеспечено. Только за счет того, что УЗ воздействие обеспечит максимальное эффективное воздействие на грунт для реализации процесса выделения воды.

Слайд 10.

Еще раз, для подтверждения возможности и эффективности реализации процесса вернемся к ультразвуковой сушке.

В случае УЗ сушки выявлена энергоэффективность процесса при пониженных температурах в капиллярно-пористых материалах по сравнению с конвективной сушкой. Основным преимуществом УЗ сушки является интенсификация процесса от 1,5 раз в зависимости от условий и режимов воздействия.

Слайд 11.

Процесс удаления влаги изучается уже много десятилетий. В качестве механизмов УЗ удаления влаги предлагают и изучают гидродинамические, механические и тепловые действующие факторы. Все эти факторы в разной степени влияют на процесс.

Рассмотрим их действие отдельно.

Слайд 12.

Перепады давления над поверхностью обеспечивают быстро сменяющиеся зоны повышенного и пониженного давления, что обеспечивает эффект вакуумного удаления (гипотеза Буше).

Согласно этой гипотезе - в зоне повышенного давления скорость процесса удаления влаги практически не осуществляется, в то время как в зоне пониженного давления возникает дополнительный эффект вакуумного удаления (вакуумная сушка).

Слайд 13.

Акустические потоки в ограниченном пространстве вызываются вязким трением и направлены вдоль вектора распространения УЗ волны в безграничной среде.

В безграничной среде акустические потоки ламинарные и направлены вдоль вектора распространения звуковой волны.

В условиях стоячей акустической волны акустические потоки замкнутые, а вблизи пограничного слоя образуют завихрения

Скорость этих потоков достигает 10 м/с при уровне звукового давления 150 дБ.

Это способствует ускорению процесса испарения и удалению влаги из пограничного слоя материала.

Слайд 14.

Вблизи поверхности влажного материала существует пограничный слой, препятствующий массопереносу. Снижение толщины пограничного слоя обеспечивает прирост скорости удаления влаги.

Поскольку толщина пограничного слоя определяется диффузионными и гидродинамическими процессами при конвективном удалении влаги течение воздуха в приповерхностном слое ламинарное и толщина пограничного слоя определяется в основном диффузионными процессам.

В интенсивном акустическом поле толщина пограничного слоя резко уменьшается вследствие возникновения турбулентных приповерхностных течений и микропотоков.

Таким образом, уменьшение толщины пограничного слоя обеспечивает увеличение скорости удаления влаги.

Слайд 15.

Радиационное давление (давление падающей волны, давление звука) это есть постоянная составляющая давления, действующего на тело, помещенное в ультразвуковое поле.

Радиационное давление возникает по причине передачи телу части импульса падающей волны при ее поглощении или отражении.

Известно, что радиационное давление, возникающее в УЗ полях интенсивностью свыше 135 дБ способно выдавливать влагу из капиллярно-пористого материала

Таким образом, УЗ воздействие за счет своей постоянной составляющей давления также способствует выходу влаги из капиллярно-пористого материала.

Слайд 16.

Подходи к важнейшим механизмам, обусловленным воздействием ультразвука.

При распространении в жидкосодержащих средах высокоинтенсивных УЗ колебаний возникает явление кавитации.

Именно кавитация является основной действующей силой, интенсифицирующей многие физико-химические процессы при воздействии на вещества высокоинтенсивного ультразвука, в том числе и в процессе выделения влаги.

На известно из предыдущих Лекций, что кавитация связана с нарушением сплошности жидкости в фазе разрежения, образованием в зоне разрывов парогазовых пузырей и их захлопывания в последующей фазе сжатия.

Известно также, что в момент захлопывания, благодаря неизбежной асимметрии пузырька возникает кумулятивная струя, вызывающая в жидкости ударную волну.

Поэтому, поскольку основной действующей силой во многих процессах с УЗ воздействием является кавитация, следует предположить ее основную роль в повышении эффективности удаления влаги из грунта.

Слайд 17.

Как же в таком случае будет проявляться кавитация?

Очевидно, что захлопывание кавитационных пузырьков вблизи свободной поверхности вызывает гравитационно-капиллярные волны. Остроконечные гребни гравитационно-капиллярных волн распадаются на капли. Отделившиеся капли образуют аэрозоль, который в отсутствии других воздействий находится в равновесном состоянии. При наличии акустических течений, радиационного давления или потока воздуха над свободной поверхностью жидкости происходит эффективное удаление аэрозоля. Кавитационное распыление позволяет осуществлять удаление влаги без фазового перехода, что снижает энергоемкость процесса сушки. Кавитационное распыление возникает только при наличии жидкой фазы и достаточной интенсивности УЗ излучения. Какой интенсивности – это основной вопрос, требующий решения. Оно будет представлено вам далее.

Слайд 18.

Но есть и другие механизмы, которые следует рассмотреть.

Когда кавитационный пузырек развивается на входе в капилляр, ударная волна, возникающая при его захлопывании будет направлена внутрь капилляра. Возникающее в капилляре избыточное давление выталкивает столб жидкости наружу. Это явление называется звукокапиллярным эффектом. Звукокапиллярный эффект способствует ускоренному переносу

влаги из глубинных слоев к поверхности, способствуя таким образом повышению скорости удаления влаги.

Слайд 19.

С развитием в жидкости кавитации, по мере дальнейшего увеличения интенсивности колебаний часть парогазовых пузырьков не успевает захлопнуться в фазе сжатия. В следующей за ней фазе разрежения такие пузырьки вновь увеличиваются в размерах и этот процесс повторяется продолжительное время. Такие пузырьки называют резонансными.

Пульсации резонансных пузырьков в капиллярах вызывают колебания стенок, что способствует ускорению процесса переноса влаги.

Взрывы пузырьков в капиллярах также способствуют ускорению процесса переноса влаги.

Кавитационные пузырьки в жидкости вызывают ее «разрыхление» и, как следствие, снижение вязкости, что тоже является фактором, ускоряющим массоперенос.

Слайд 20.

Не следует забывать и еще один важный действующий фактор ультразвукового воздействия. Как уже было сказано, поглощение ультразвуковых колебаний материалом вызывает его нагрев. Нагрев материала, вызванный ультразвуковым излучением происходит на значительных расстояниях от излучателя, что способствует ускоренному переводу льда в воду и переносу воды из глубинных слоев на поверхность для выделения. Тепловое действие ультразвука эффективно проявляется наиболее значимо при высоких интенсивностях и, в большей мере, в пористых насыпных материалах, наполненных водой в замороженном виде.

Слайд 21.

На этом фото Вы можете наблюдать процесс удаления влаги из материала при бесконтактном УЗ воздействии. Снизу дисковый излучатель, сверху материал, содержащий воду. Из материала выделяется влага. Видно, что в УЗ поле она объединяется в крупные капли.

Следует обратить Ваше внимание на то, что вода удаляется в виде капель, а не в виде пара, что конечно исключает затраты энергии на фазовый переход.

Слайд 22. Таким образом, мы рассмотрели возможные механизмы удаления воды за счет ультразвукового воздействия.

Теперь более детально рассмотрим применение «земной» УЗ технологии для внеземных объектов.

Во-первых, что такое лунный грунт - реголит? Лунный грунт или реголит – это неслоистый, рыхлый, разнозернистый обломочно-пылевой

слой, достигающий толщины нескольких десятков метров. Состоит из обломков изверженных пород, минералов, стекла, метеоритов и брекчий ударно-взрывного происхождения, сцементированных стеклом. По гранулометрическому составу относится к пылеватым пескам. Основная масса частиц имеет размер 0,03—1 мм.

Следует отметить, что слой песка толщиной 10 см рассматривается как пористое тело если радиус зерна больше 0,025 мм. Поэтому в реголите есть возможность нахождения влаги в виде жидкости или льда и, соответственно, есть возможность диспергирования влаги из пор и капилляров за счет формирования и схлопывания кавитационных пузырьков.

Начнем с того, что лед необходимо превратить в воду. Этому способствует поглощение колебаний.

Слайд 23.

В результате механического трения между грунтом и поверхностью излучателя создается значительный тепловой эффект.

В материалах с макрокапиллярами и порами ультразвуковые волны сравнительно хорошо проникают внутрь и поглощаются там, осуществляя внутренний нагрев. Заметный нагрев наблюдается в сыпучих материалах и сравнительно слабый – в твердых пористых пластинах.

Результаты экспериментальных исследований по УЗ бурению имитатора лунного грунта (уплотненный песок, крошка песчаника и пр.) при температуре минус 100 градусов Цельсия показали возрастание температуры грунта только за первые 3 минуты воздействия на 25 и более градусов Цельсия на расстоянии 10 мм от излучателя.

Это позволяет расплавить лед при небольших начальных отрицательных температурах с последующим испарением и диспергированием воды.

Слайд 24.

Кроме этого следует не забывать о наличии прямого ультразвукового воздействия на лед.

Результатом воздействия на лед УЗ излучателя является его разрушение, плавление и образование кавитационных пузырьков с последующим испарением и диспергированием воды.

Таки образом мы считаем, что перевести лед в воду для ультразвука не составит труда. Далее необходимо эту воду перевести в мелкие капли для выделения из грунта.

Слайд 25.

Из-за рассмотренной структуры лунного грунта сплошной водной среды реализовать не удастся. Вода всегда будет маленькими объемчиками между твердых частиц. Как правило, эти объемчики будут иметь вытянутую

формулю. Условно можно предположить, что водные объемчики будут вытянутой цилиндрической формы.

Таким образом, из наличия ограниченного объема расположения льда в лунном грунте и возможности формирования водных объемов очень маленького размера и вытянутой цилиндрической формы нами было сделано предположение о том, что и образующийся в жидкости кавитационный пузырек трансформируется в цилиндрическую форму, поэтому для расчета его роста было использовано уравнение неразрывности и сохранения импульса в цилиндрических координатах.

Проведенные теоретические исследования, подтвержденные далее экспериментально, позволили установить, что контактное воздействие УЗ колебаниями на влажный материал приводит к процессу кавитации уже при интенсивности $0,5 \text{ Вт/см}^2$. При этом бесконтактное воздействие может привести к кавитации при меньших интенсивностях в капиллярно-пористых телах. Как уже было сказано, из-за наличия ограниченного объема расположения льда и воды в лунном грунте кавитационный пузырек трансформируется в вытянутую (цилиндрическую) форму, поэтому для расчета его роста было использовано уравнение неразрывности и сохранения импульса в цилиндрических координатах. После преобразований и подстановки значений для капилляра диаметром 20 мкм получаем время развития кавитационного пузырька около 0,5 с при уровне звукового давления 150 дБ. При развитой структуре капилляров это приведет к существенному увеличению удаления (добычи) влаги.

Слайд 26.

Доказательством диспергирования воды являются уловленные на стекло с иммерсионной жидкостью капли воды в непосредственной близости от материала, из которого выделяли влагу при бесконтактном УЗ воздействии с уровнем звукового давления 160 дБ при разных влагосодержаниях. Очевидно, что это не пар, а частицы воды. Причем их размеры полностью соответствуют теории и практике кавитационного диспергирования жидкостей (рассматривалась нами ранее).

Слайд 27.

На зависимостях средних скоростей сушки (удаления влаги) в зависимости от уровня звукового давления можно наблюдать скачкообразное увеличение скорости сушки при 150 дБ, т.е. при достаточном количестве влаги в капиллярно-пористом материале происходит ее диспергирование, причем относительная эффективность диспергирования тем выше, чем ниже температура. Это свидетельствует о возможности и эффективности добычи

воды из лунного грунта за счет кавитационного ультразвукового диспергирования.

Слайд 28. Далее на последующих слайдах рассматриваем очень кратко проекты практической реализации технологии ультразвуковой добычи воды из лунного грунта.

Начнем с простого.

Рассмотрим УЗ технологию добычи воды на Луне за счет возбуждения УЗ колебаний стенок трубчатой камеры. Такие устройства предполагается использовать на глубинах около одного метра, где температура реголита постоянная (около минус 35 градусов Цельсия). Можно применять для обнаружения наличия воды в реголите за счет обработки акустических колебаний и информации с дополнительных датчиков и принятия решения о возможности дальнейшей добычи воды.

Слайд 29.

Технологию контактного УЗ воздействия предлагается использовать для добычи воды из реголита, содержащего водяной лед. При непосредственном воздействии на грунт происходит сублимация, испарение и диспергирование воды с осаждением и конденсацией на крышке-конденсаторе, после чего крупные капли стекают в емкость для воды и льда. Здесь обеспечивается увеличение объема добываемой воды по сравнению с предыдущим вариантом.

Слайд 30.

Если при обработке реголита будет выделяться достаточное количество газа или есть возможность закачивать в объем газ или воздух, то возможно увеличение объемов получаемой воды за счет бесконтактного воздействия УЗ колебаниями, используя, например, самоходный грунтозахватывающий робот. Грунт забирается на транспортер, за счет воздействия УЗ колебаний выделяется и удаляется вода и сухой грунт возвращается на поверхность.

Слайд 31.

Возможно применение устройств традиционного вида, например, барабанное горизонтальное устройство по типу барабанных сушилок. В таком устройстве за счет вращения и пересыпания реголита из цилиндра большего диаметра в цилиндр меньшего диаметра и наоборот, происходит его интенсивное обезвоживания по всему объему барабана. В нашем случае достоинство такого аппарата в рациональном использовании ультразвуковой энергии и полной сохранности выделяемой воды.

Слайд 32.

Аналогичным образом может быть реализовано и применено барабанное устройство вертикального типа, где пересыпание и перемещение реголита по спиральному лотку происходит за счет вибропривода.

Устройства такого типа, разработаны авторами ранее для сушки в земных условиях, их работоспособность проверена и поэтому, их функциональные возможности для добычи воды в лунных условиях сомнений не вызывают.

Слайд 33.

В целом барабанные устройства позволяют интенсифицировать процесс выделения влаги и могут представлять из себя различные конструктивы, как например показанное на этом слайде крупногабаритное устройство. Однако, следует отметить их периодическое действие, ручную загрузку и разгрузку реголита и обязательное наличие двигателя.

Слайд 34.

Проще в реализации конечно туннельные устройства, которые, в отличии от барабанных, являются аппаратами непрерывного действия. Влажный материал транспортером движется сквозь туннель, внутри которого создается интенсивное акустическое излучение. Туннельные сушилки могут применяться для добычи воды из сыпучего реголита при контактных и бесконтактных воздействиях.

Таким образом, подводя итоги сказанному в данной лекции можно утверждать

1. Ультразвуковое воздействие может стать эффективным энергетическим воздействием, способным обеспечить снижение энергозатрат и увеличить производительность добычи воды на Луне.

2. Достигнуто это может быть за счет реализации определенных механизмов, выявленных авторами работы, обоснованных и подтвержденных экспериментально и положенных в основу практических реализаций.

3. Предложенные практические реализации основаны на использовании знаний и опыта авторов и подтверждены опытом практического применения подобных устройств в земных условиях.