

Лекция 13.

Особенности ультразвукового воздействия в экстремальных условиях (Создание практических конструкций малогабаритных аппаратов)

Слайд 1.

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги! Предлагаемое Вам сообщение представляет собой доклад о результатах практических разработок и экспериментальных исследований, позволяющих создавать устройства для ультразвукового воздействия в экстремальных условиях по температуре, в частности для решения задач бурения неизвестного до посадки грунта космического объекта (планеты или астероида).

Результаты представляемых исследований и разработок, с учетом полученных ранее материалов позволяют указать пути решения задач создания и повышения эффективности ультразвуковых аппаратов при решении проблем бурения внеземного грунта в экстремальных условиях.

Т.е., в этой лекции, мы обобщаем полученные ранее результаты теоретических и экспериментальных исследований для создания аппаратов и практической реализации ультразвуковых воздействий на различные грунты в экстремальных условиях, т.е. во внеземных условиях предельных температурных возможностей реализации ультразвуковых воздействий.

В продолжении того, что было изложено в Лекции № 10 мы будем считать, что проблемы эксплуатации в экстремальных условиях уже решены и будем показывать, как могут реализовываться и эксплуатироваться ультразвуковые аппараты и как должны быть построены аппараты для повышения их эффективности при решении задач бурения внеземного грунта. Мы, как обычно, рассмотрим достигаемые технические характеристики и функциональную возможность работы создаваемых аппаратов, как в земных, так и в космических условиях.

В Лекции также будут изложены выявленные практические подходы к реализации аппаратов на основе теоретических и экспериментальных исследований, показаны возможности и особенности повышения их эффективности, решения проблем миниатюризации аппаратов, а также эксплуатации создаваемых аппаратов в космических условиях.

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

Как обычно, предполагаю, что представляемый Вам материалы о состоянии, развитии техники ультразвука и созданных практических конструкциях, а также проведенный анализ возможностей повышения эффективности и применения усовершенствованных аппаратов для обработки различных грунтов во внеземных условиях позволит Вас получить новые знания и стать специалистами в области развития и применения УЗ аппаратов для бурения неизвестных до посадки грунтов 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. Все аппараты представлены на нашем сайте в разделе Каталог, работа аппаратов представлена на наших каналах в Ютубе и Рутубе.

Слайд 3

Очевидно, что особенно ярко экстремальные условия могут проявляться во внеземных условиях, при работе ультразвуковых аппаратов в составе комических посадочных модулей в условиях глубокого космоса, на поверхности астероидов или планет..

Экстремальными условиями мы, по прежнему, будем считать условия, существенно отличающиеся от номинальных условий по температуре. Предельные возможности эксплуатации УЗ аппаратов мы будем рассматривать в практически реализуемом в земных условиях диапазоне температур - от температуры жидкого азота до температуры расплавленного алюминия.

Слайд 4

И так, мы обсуждаем вопросы бурения внеземного грунта. Возникает вопрос. Зачем бурить и что бурить на внеземных объектах? На этом следует остановиться более подробно. Это:

- Большой научный интерес (возможное наличие жизни, проведение экспериментов невозможных на Земле);
- Возможность колонизации (добыча кислорода, выращивание растений, выживание человечества в случае глобальных катастроф на Земле);
- Добыча водорода для получения топлива (запуск космических аппаратов с Луны для исследования дальнего космоса).

Слайд 5

Кроме того, это:

1) ускоренное закрепление посадочных модулей на объектах с малой силой тяжести и неизвестным составом грунта. При отсутствии надёжного закрепления велика вероятность, что за счёт сил инерции посадочный модуль улетит от малого космического объекта (например, астероида) в неизвестном направлении.

2) объективное выявление состава и свойств неизвестного до посадки грунта на предмет наличия летучих и легко испаряющихся веществ на различных глубинах. При этом очевидно, что влияние инструмента исследования на состав грунта должно быть минимальным, и сохранность ценных веществ должна быть максимальной.

3) определение состава и свойств неизвестного до посадки грунта для оптимизации режимов и условий воздействия (бурения) для обеспечения максимальной скорости при минимальных затратах

И так - для понимания механизмов происхождения и эволюции космических объектов; выявления наличия следов воды, органических веществ, минералов, металлов или энергоносителей для поддержания жизнедеятельности колоний на случай глобальных катастроф на Земле или с целью более глубокого исследования дальнего космоса, очевидно, необходимо исследовать грунт на значительных глубинах залегания.

Слайд 6

На сегодняшний день исследование грунта проводится либо оптическими методами (в основном, путём фотографирования и анализа полученных фотографий), либо механическим отбором образцов грунта (в том числе при помощи обычного земного бурения вращением рабочих инструментов).

Слайд 7

Начиная с 60-х – 70-х годов прошлого века известен начал использоваться способ земного механического бурения для закрепления посадочного модуля и механического отбора образцов внеземного грунта, который заключается в винтовом сверлении грунта космического объекта на определённую глубину для закрепления, отбора образцов и дальнейшей доставки отобранных образцов на Землю. В основу были положены земные устройства бурения и используемые на земле инструменты.

Слайд 8

В 1976 году советской станцией Луна-24 было осуществлено механическое бурение на глубину 2,25 м, приведшей к открытию воды в лунном грунте (170 граммов, доставленного материала).

Слайд 9

Известны также разработки механических бурильных устройств Американского национального агентства по аэронавтике (NASA), которые приспособлялись для применения на движущихся тележках (луноходах и марсоходах).

Слайд 10

Однако механическое бурение, при все простоте реализации, обладает рядом существенных недостатков:

– невозможностью бурения на объектах с малой силой тяжести для крепления посадочных модулей на астероидах (из-за сил инерции, препятствующих бурению, которые превышают гравитационные силы);

– высокой степенью нагрева грунта из-за сил трения. Нагрев способен приводить к испарению, сублимации следов воды и льда, летучих и других полезных веществ;

– невозможностью получения информации о свойствах и составе грунта в режиме реального времени без дорогостоящей доставки образцов грунта на Землю для детального исследования.

Кроме того, механическое бурение не позволяет сделать даже предварительную оценку структуры и состава грунта в режиме реального времени, не позволяет предварительно выявить, к какому типу принадлежит пробуриваемый грунт. А без этого невозможно принятие решений о целесообразности дальнейшего, на большей глубине, исследования грунта в данной зоне космического объекта.

Предварительная оценка типа, структуры и состава грунта в реальном времени особо актуальна при исследованиях дальних объектов, так как летальные аппараты для дальних межпланетных миссий имеют ограниченные энергоресурсы, не позволяющих доставить огромные объёмы грунта с различных зон космического объекта на Землю.

И, наконец, главный недостаток механического способа бурения заключается в том, что трение или ударные воздействия нагревают грунт и, в условиях крайне низких давлений, приводят к мгновенному испарению ценных веществ, что не позволяет получать объективные научные данные о наличии следов воды, энергоносителей на основе углерода и так далее.

Это обуславливает актуальность исследований и разработки физических принципов бурения грунта, обеспечивающих не только энергетически эффективное бурение грунта с минимальным нагревом и быстрое бурение на объектах с малой силой тяжести, но и обратную связь

грунта с устройством для бурения для обеспечения максимально эффективного воздействия на различные по свойствам грунты.

Слайд 11

Поэтому в настоящее время, научно-исследовательские институты и космические агентства во многих странах направляют свои усилия на использование ультразвукового метода бурения, давно известного на Земле и используемого для обработки хрупких и твердых материалов.

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 12

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

Слайд 13

Ультразвуковой станок может быть очень малогабаритным, иметь рабочие инструменты различной формы и размера. Перед Вами такой станок. Внешний вид и работу такого станка (и многих других) можно осмотреть на канале «Центр ультразвуковых технологий» в Ютубе.

Но нас интересует практическая реализация ультразвуковых технологий применительно к решению проблем бурения космических объектов.

Поэтому, последние 20...30 лет наряду с механическим способом бурения успешно развивается ультразвуковой способ бурения грунта вземных объектов (первые разработки физических принципов и устройств ультразвуковой размерной обработки твердых материалов, присутствующих на Земле, относятся ещё к 50-м годам прошлого века

Слайд 14

Перед вами устройства ультразвукового бурения.

В устройстве сочетается ультразвуковое бурение с ударным низкочастотным и вращательным движением рабочего инструмента.

На Слайде представлены эскизы конструкций разработанных УЗ инструментов, каждый из которых состоит из: пьезоэлектрического преобразователя, полуволнового активного рабочего инструмента, концентрирующего волновода (концентратор), соединительной шпильки, корпуса преобразователя, его крышки, кабельного ввода, привода псевдовращательного движения, эластичного соединительного узла, уплотнительных кольцевых прокладок, пружины, свободной массы, фторопластовой втулки, регулировочной шайбы.

Слайде 15

Процесс бурения реализуется ультразвуковой колебательной системой (УЗКС), состоящей из преобразователя, концентратора, и рабочего инструмента следующим образом. При возбуждении УЗ преобразователя (при его подключении к генератору электрических колебаний ультразвуковой частоты), размещенного в корпус, ультразвуковая колебательная система начинает совершать продольные механические колебания с частотой около 20 кГц. Наличие концентрирующего волновода и рабочего инструмента, выполненного в виде, например, трубки, позволяют получить на рабочей кромке инструмента амплитуду механических колебаний до 70 мкм. В процессе сверления рабочий инструмент непрерывно воздействует на объект именно с такой амплитудой и частотой, разрушая его.

Низкочастотные колебания УЗКС обеспечиваются ударным периодическим воздействием свободной массы на выступающий торец концентратора, с которым свободная масса контактирует. Колебания свободной массы возникают за счет ее периодического отскока от колеблющейся части концентратора. Периодичность отскока свободной массы, величина импульса, который передается от свободной массы к конструкции УЗКС, определяется параметрами свободной массы и силой ее

прижатия к концентратору пружиной. Усилие прижатия свободной массы к выступающей части концентратора можно регулировать при помощи регулировочной шайбы, толщина которой задает величину сжатия пружины. Фторопластовая втулка исключает заклинивание свободной массы в процессе ее вибраций внутри крышки корпуса.

В результате ударного низкочастотного воздействия свободной массы на конструкцию УЗКС (в том числе и на рабочий инструмент) обеспечиваются ее низкочастотные колебания с амплитудой в десятки раз превышающей амплитуду УЗ воздействия на объект, что обеспечивает дополнительный прирост производительности процесса сверления.

Привод псевдовращательного движения в дополнении к УЗ воздействию и низкочастотным вибрациям рабочего инструмента обеспечивает периодический проворот всей конструкции, что, при создании специальной режущей рабочей кромки УЗ инструмента, обеспечивает дополнительный прирост производительности процесса бурения.

Слайд 16.

Конструкция типичного пьезопреобразователя и трубчатого инструмента представлена на слайде

Слайд 17.

Еще одна практическая конструкция, позволяющая понять принцип работы. Это пример практической конструкции, разработанной в Вашем Университете.

Суть устройств ультразвукового способа бурения заключается в реализации воздействия высокочастотных механических колебаний (частотой 20...44 кГц) или комбинированном воздействии (высокочастотные колебания + псевдовращение + (опционально) низкочастотное ударное воздействие) на грунт. Колебания приводят к разрушению грунта. Высокочастотные колебания ультразвукового излучателя уменьшают усреднённый коэффициент трения между инструментом и вземным

объектов. Очевидно, что уменьшенное трение снижает нагрев и позволяет лучше сохранить следы воды и других летучих и легко испаряющихся веществ и тем самым получить более объективные данные о составе грунта.

Таким образом, ультразвуковое бурение для отбора образцов грунта вземных объектов и планет с целью обнаружения воды, льда и других летучих и легко испаряющихся веществ имеет очевидные преимущества перед механическими способами:

- максимальная сохранность воды и льда ввиду малого трения, приводящего к испарению воды, между рабочим инструментом и поверхностью грунта;

- равномерное и более высокопроизводительное (в сравнении с механическими способами) разрушение грунтов любого вида при бурении;

- возможность реализации бурения на глубину до 2 м;

- возможность размещения датчиков контроля параметров грунта в зоне колеблющейся (разрушающей грунт) поверхности УЗ инструмента, что позволяет предварительно оценить свойства грунта, определить целесообразность более глубокого исследования грунта и оперативно скорректировать режимы ультразвукового воздействия для максимально эффективного бурения;

- наиболее эффективное удаление отходов при бурении за счет их ультразвукового уплотнения в стенки скважины и перемещения вдоль инструмента на поверхность;

- возможность ускоренного закрепления посадочного модуля за счёт быстрого выполнения отверстий в грунте при контакте опор посадочного модуля, совершающих ультразвуковые колебания, с поверхностью грунта.

Слайд 18.

Таким образом, есть разработанные конструкции, и есть проблемы, связанные с необходимостью работы в экстремальных условиях. А в этих

условиях, как мы уже знаем, необходимо решать несколько важных проблем, представленных на слайде.

Слайд 19.

К сожалению, несмотря на огромный интерес к процессу ультразвукового сверления или бурения твёрдых и сыпучих материалов, впервые предложенному еще в 50-е годы прошлого века, на сегодняшний день отсутствуют практически реализованные разработки, позволяющие осуществлять ультразвуковое бурение грунта во вземных условиях, Пока все на стадии разработок и приспособления. Это не позволит решить проблему- поэтому необходимы серьезные научные исследования.

Слайд 20

И естественно, уже на базе таких исследований - выработка требований у оборудованию, выработка требований к практическим конструкциям и создание таких конструкций, для последующего решения проблем создания технологий и оптимизации процесса бурения.

Слайд 21.

На первом этапе практические исследования должны проводиться на имитаторах, составы которых на сегодня разработаны и реализованы.

Слайд 22.

Типичные составы имитаторов представлены на слайде

Рассмотрим далее – как, в каком направлении проводятся исследования, какие результаты сегодня достигаются и каковы перспективные направления работ.

Слайд 23.

Представлен аппарат, выполненный по традиционной конструктивной схеме. Параметры и характеристики устройства максимально

оптимизированы с учетом имеющихся знаний и результатов предварительных исследований.

Слайд 24.

На слайде стенд для проведения исследований процесса бурения на различных имитаторах..

Стенд включает в себя ультразвуковой излучатель, электронный ультразвуковой генератор для питания излучателя, специальный штатив для крепления излучателя, механизмы вертикального позиционирования (точность позиционирования – не хуже ± 1 мм), наложения низкочастотных вибраций и псевдовращения излучателя

Слайд 25.

Результаты исследований подтверждают эффективность комбинированного воздействия и показывают, что при бурении различных по свойствам грунтов эффективность различных комбинаций воздействия с ультразвуком (вращения или низкочастотного воздействия) существенно отличается. Это обуславливает необходимость правильного сочетания различных воздействий. А для реализации такого управления возникает необходимость непрерывного контроля свойств грунта в процессе его бурения.

Слайд 26

Главная особенность такого воздействия может заключаться в том, что ультразвуковой излучатель пьезоэлектрического типа, совершающий колебания, является чувствительным к изменению акустических свойств грунта.

На этом слайде представлены зависимости электрических параметров ультразвуковой колебательной системы от мощности

Слайд 27

На следующем слайде представлены зависимости электрических параметров ультразвуковой колебательной системы от усилия прижима при бурении мерзлой песчаной смеси.

Это означает, что можно предварительно оценить тип грунта и скорректировать (выбрать оптимальные) режимы воздействия для наиболее эффективного бурения.

Слайд 28

На слайде представлены зависимости электрических параметров ультразвуковой колебательной системы от температуры. Из полученных результатов следует, что температура приводит к понижению тока механической ветви и увеличению акустического импеданса среды. Следовательно, уменьшается энергия, вводимая в озвученный материал, в том числе и при ударно-контактном воздействии с помощью присоединённой массы. Это подтверждает необходимость увеличения энергии ударного воздействия, что должно быть обязательно учтено при создании новых устройств УЗ бурения.

Слайд 29.

На слайде представлены зависимости влияния вида вещества материала на электрические параметры ультразвуковой колебательной системы

Полученные результаты доказывают, что измерение импедансных характеристик излучателя позволяет в режиме реального времени определять тип грунта. Но очевидно, что грунт должен непосредственно контактировать с пьезоэлектрическими элементами, т.е. отрывы инструмента (в ходе удара) от преобразователя не допустимы.

Слайд 30

Отсутствие методик определения оптимальности воздействия связано с отсутствием детально разработанных научных основ ультразвукового бурения поверхности внеземных объектов и планет для обнаружения воды, льда, летучих и легко испаряющихся веществ.

Известны лишь теории и методики расчёта ультразвуковых рабочих инструментов, как правило, не учитывающие взаимодействие инструмента с материалом, подлежащим сверлению или бурению, а также влияние факторов, характерных для внеземных условий (высокое разрежение атмосферы планеты, экстремально высокие или экстремально низкие температуры поверхности). При этом нет детально разработанных моделей процесса разрушения грунта и испарения содержащейся в нём воды во внеземных условиях, позволяющих теоретически установить зависимости скорости разрушения грунта (по массе отобранного грунта в единицу времени) и остаточное содержание воды в отобранных образцах.

Для выявления диапазона режимов ультразвукового воздействия, в котором необходимо работать, чтобы не затрачивать бесполезно энергию на внутренние потери в излучатели, необходимо выявить предельно возможную скорость бурения.

Исследование для прогнозирования предельной скорости ультразвукового бурения проводилось методами математического моделирования. Разработанная модель бурения грунта под действием ультразвуковых колебаний, позволяет определить скорость разрушения.

Зависимости скорости бурения от амплитуды воздействия при различных усилиях прижима на частоте 23 кГц представлены на слайде (слева вверху).

Там же представлены рассчитанные зависимости скорости бурения от частоты воздействия (слева внизу)

Анализ полученных зависимостей позволил установить следующие закономерности:

1. При силе прижима, малой по сравнению с силой гравитационного притяжения со стороны внеземного объекта, действующей на излучатель (например, сила притяжения излучателя массой 100 г к Луне составляет 0,16 Н), зависимость скорости бурения от амплитуды колебаний излучателя является практически линейной. Это связано с тем, что практически во всём диапазоне амплитуд колебаний и практически всегда, когда излучатель контактирует с грунтом, сила реакции опоры со стороны грунта, действующая на рабочую поверхность излучателя, многократно превышает силу прижима.

2. При силе прижима, сопоставимой или превышающей силу гравитационного притяжения со стороны внеземного объекта, действующей на излучатель, зависимость скорости бурения от амплитуды становится нелинейной.

Установлено, что, начиная с некоторой амплитуды (предельной амплитуды), скорость бурения достигает предельного значения, возможного при данной силе, и прекращает расти.

При этом максимальная (предельная) скорость бурения возрастает с увеличением усилия прижима. Например, при усилии прижима 5 Н скорость бурения не превышает 2,6 мм/мин, а при усилии 10 Н предельная скорость бурения достигает 9 мм/мин, при усилии 30 Н – 42 мм/мин.

Предельная амплитуда уменьшается с увеличением силы прижима. При силе прижима 20 Н она составляет 16 мкм.

Воздействие с амплитудой, выше предельной, при которой достигается предельная скорость бурения, нецелесообразно, поскольку приведёт к возрастанию потерь и ускоренному накоплению микротрещин (что особенно будет проявляться при экстремальных перепадах температур, характерных для космического пространства) в материале излучателя.

3. Установлено влияние частоты ультразвукового воздействия на скорость бурения. Выявлено, что при одинаковой излучаемой энергии

колебаний существуют локальные максимумы скорости бурения, обусловленные наличием резонансных частот.

Наличие локальных максимумов обусловлено тем, что при определённых частотах наблюдается резонансный эффект – время свободного падения излучателя оказывается равным или сопоставимым с периодом ультразвуковых колебаний. И моменты соударения излучателя с поверхностью грунта при определённых амплитудах начинают совпадать с моментами, когда рабочая поверхность излучателя оказывается наиболее отдалённой относительно центра масс излучателя. Т.е. наступают «резонансные соударения».

Слайд 31.

Таким образом, предложенная модель ультразвукового разрушения грунта позволила наглядно представить процесс разрушения грунта и установить наиболее рациональные режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальную скорость бурения.

Слайд 32.

Питание ультразвуковой колебательной системы (УЗКС), входящей в состав стенда, осуществляется при помощи специального ультразвукового генератора, разработанного авторами.

Слайд 33

Представленный УЗ аппарат имеет следующие технические характеристики:

- | | |
|--------------------------------------|----------|
| – напряжение питания, В | 220; |
| – система АПЧ, | фазовая; |
| – диапазон регулирования мощности, % | 30-100; |
| – система стабилизации амплитуды, | есть; |
| – максимальная мощность, Вт | 100; |

– частота напряжения питания УЗКС, Гц

23000.

Слайд 34

Модуль сбора измерительных данных представляет собой набор специализированных преобразователей MAX31855, и микроконтроллер stm32f103, который осуществляет последовательный сбор данных от преобразователей и их трансляцию на персональный компьютер.

Разработанный измерительный модуль имеет 15 измерительных каналов. Для считывания и постобработки результатов измерений модуль имеет подключение к персональному компьютеру при помощи интерфейса USB.

Слайд 35

Фотографии процесса ультразвукового бурения в различные моменты времени представлены на слайде.

На этом же слайде представлены зависимости температуры грунта на различных глубинах от времени.

Как следует из представленных зависимостей, бурение на глубину до 50 мм не приводит к нагреванию грунта выше, чем на 20 °С, в отличие от механического бурения.

Полученные результаты позволяют реализовать процесс бурения взеземного грунта при низких температурах с минимальными потерями воды.

Слайд 36.

Далее несколько созданных конструкций, пригодных для практического бурения лунного грунта на большую глубину.

Конструкция ультразвукового бура, обеспечивает бурение диаметром до 30 мм со скоростью, близкой к теоретически предельной, за счёт

дополнительного ударного низкочастотного воздействия и псевдовращательного движения.

Слайд 37.

Один из типов используемых инструментов

Слайд 38.

Необходимость не только реализации ультразвукового воздействия в сочетании с вращательным и ударно – колебательным воздействием, но и установлении оптимального сочетания степени таких воздействий при бурении неизвестного по свойствам грунта под различными углами, а также необходимость решения проблемы непрерывного контроля свойств неизвестного до посадки грунта, на который осуществляется воздействие обуславливает создание таких конструкций. Для реализации метода контроля, как нам уже известно, требуется исключить обеспечения ударных и вращательных движений инструмента отдельно от пьезоэлектрической колебательной системы.

Кроме того, практические исследования рассмотренных ранее буров, показали их общий недостаток – недостаточную производительность, обусловленную малым импульсом, которой передается УЗ буру при его соударении со свободной массой, что обуславливает низкий вклад макроударов в процесс бурения.

Предлагаемая далее конструкция бура способна обеспечить значительное повышение скорости бурения практически любых по свойствам грунтов вземных объектов. Конструктивная схема, в которой сочетаются все три воздействия с возможностью работы под углом, возможностью управления (оптимизации степенью сочетания одновременного воздействию для экономии энергии) с возможностью контроля для такой оптимизации

Предлагаемое устройство ультразвукового бурения состоит из рабочего инструмента 1, концентрирующей накладке 2, отражающей

накладки 3, пьезокерамических колец 4, свободной массы 5, пружины 6, кронштейна УЗКС 7, виброразвязывающего узла для присоединения устройства бурения к манипулятору 8, корпуса пьезопреобразователя 9, крышки для регулировки усилия прижима 10, виброразвязывающего узла корпуса преобразователя 11, контргайки 12. Рабочий инструмент 1 представляет собой полуволновой стержень, который, с одной стороны, контактирует с объектом, осуществляя бурение, а с другой стороны прикреплен концентрирующей накладке 2, при помощи резьбового соединения.

Устройство ультразвукового бурения работает следующим образом. На пьезокерамические пьезоэлементы 4 от генератора электрических колебаний поступает переменное напряжение, частота которого равна рабочей (резонансной) частоте УЗ бура. Пьезоэлементы 4, концентрирующая и отражающая накладки 2 и 3 образуют полуволновой электромеханический преобразователь, на излучающих поверхностях которого, за счет формы накладок 2 и 3 достигается максимальная амплитуда колебаний.

Рабочий инструмент 1 в процессе бурения воздействует преимущественно на разрушаемый образец механическими колебаниями с ультразвуковой частотой. В результате такого бурения образуются твердые частицы, размеры которых соизмеримы с амплитудой колебаний рабочего инструмента.

В процессе работы свободная масса 5, совершая низкочастотные колебания, в определенные моменты времени сталкивается с поверхностью отражающей накладки 3. В момент столкновения свободной массы 5 с колеблющейся поверхностью с максимальной амплитудой отражающей накладки 3 происходит передача максимального по величине импульса. УЗ рабочий инструмент в эти моменты осуществляет дополнительное высокоамплитудное ударное воздействие на пробуриваемый объект.

Наличие свободной массы 5 максимального размера, осуществляющей ударное воздействие на конструкцию ультразвуковой

колебательной системы, обеспечивает дополнительное ударное воздействие рабочего инструмента 1 на пробуриваемый объект, что приводит к увеличению интенсивности процесса бурения, связанного с откалыванием в зоне бурения более крупных частиц разрушаемого материала.

Таким образом, более эффективная работа предлагаемого бура достигается за счет того, что рабочий инструмент, непосредственно, либо через прослойку из абразивных зерен осуществляет комбинированное механическое воздействие на объект колебаниями с ультразвуковой частотой и интенсивными макроударами с низкой частотой следования.

Слайд 39. Фото внешнего вида созданного устройства

Слайд 40. Фото, иллюстрирующее конструкцию и размеры УЗ бура.

Диаметр используемых пьезокерамических элементов 25 мм

Слайд 41. Генератор малогабаритный для питания такой системы бурения. На слайде представлена плата электронного генератора. Иллюстрируются его размеры

К основным функциям УЗ генератора можно отнести: обеспечение работы УЗ бура на его резонансной частоте с учетом внешних условий (температурные условия, свойства пробуриваемого грунта, статическое осевое давление на бур и т.п.); управление мощностью (амплитудой механических колебаний на рабочем окончании бура); контроль электрических параметров УЗ бура, таких как потребляемая мощность, резонансная частота, импеданс (полный, а так же его действительная и мнимая составляющие), ток и напряжение на УЗКС, а так же фазовый сдвиг между ними. Процессорный модуль имеет интерфейс для связи с бортовой системой управления космического аппарата.

Генератор собран на одной печатной плате, которая размещается в алюминиевом корпусе. Все силовые элементы расположены вдоль одной стороны платы и смонтированы на единую пластину теплоотвода, которая при установке в алюминиевый корпус позволяет передавать выделяющееся тепло на его стенки

Слайд 42. Комплект аппарата ультразвукового бурения Разработанное устройство бурения показало эффективную работу при бурении гранита, песчаника, стекла, пенобетонов и т.п. Потребляемая мощность при этом составила не более 80 Вт. Малые массогабаритные показатели, низкое энергопотребление позволяет использовать устройство в составе различных космических аппаратов, с электропитанием, как от отдельных аккумуляторных батарей, так и от бортовой сети.

Встроенная в электронный генератор система контроля импеданса пробуриваемого грунта может быть использована как источник дополнительной информации в ходе выполнения бурения, а так же позволяет корректировать работу УЗ бура по мере изменения свойств грунта в процессе заглубления (варьирование мощностью, усилием прижима и т.п.).

Полученные в результате проведенных исследований результаты могут быть положены в основу создаваемых устройств бурения веземного грунта.

Спасибо за внимание