Исследование Функциональных Возможностей Макетного Образца Ультразвукового Аппарата для Сверления Имитаторов Лунного Грунта

Владимир Н. Хмелев[1], Дмитрий В. Генне[1], Сергей С. Хмелев[1], Роман В. Барсуков[1], В. И. Костенко[2]

[1] Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия
[1]Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета и. И.И. Ползунова, Бийск, Россия
[2] ИКИ РАН г. Москва

***Аннотация* –Статья посвящена исследованию процесса бурения имитатора лунного грунта с целью определения функциональных возможностей созданного макетного образца сверлильной установки.**

***Ключевые слова* – Бурение, пьезоэлектрический преобразователь.**

I. ВВЕДЕНИЕ

ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ процесса сверления образцов лунного грунта коллективом авторов был разработан предложен и разработан макетный образец ультразвуковой колебательной системы (УЗКС), подробно описанной в работе [1]. Созданная система состоит из трубчатого рабочего инструмента, многополуволновой проставки, концентратора, пьезоэлектрического преобразователя и позволяет высверливать образцы в виде керна за счет ультразвукового воздействия с амплитудой до 30 мкм.

В настоящее время установлено, что высверливание керна [1,2] не всегда является удобным и допустимым, поскольку не позволяет осуществлять исследование грунта на месте его забора.

В связи с этим, конечной целью создаваемого ультразвукового оборудования должно быть разрушение грунта за счет выполнения операций сверления с одновременным механическим дроблением грунта для его забора и анализа. Разрушение больших объемов материала требует приложения значительной энергии.

Поэтому, для достижения поставленной цели возникла необходимость в увеличении энергетического воздействия (в сравнении со сверлением цилиндров при помощи полого трубчатого рабочего инструмента, имеющего малую площадь воздействия) за счет увеличения амплитуды колебаний. Это могло быть обеспечено только разработкой совершенно новой конструкции рабочего инструмента и составных частей ультразвуковой колебательной системы (УЗКС).

В связи с этим была проведена разработка нового оборудования, способного осуществлять ультразвуковое бурение, т.е. выполнять каналы в хрупких материалах с их измельчением и исследованы его функциональные возможности.

II. РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА

Для выполнения сплошной скважины необходимы инструменты специальной формы (в отличии от высверливания керна, где рабочий инструмент имеет форму трубки). Особенностью инструмента для бурения грунта является форма рабочей полости. Рабочий центральный наконечник своей конусной частью внедряется в материал (грунт), разрушает и раздвигает его, в направлениях к отверстиям, расположенным под тем же углом по периметру инструмента.

Часть инструмента имеет внутреннюю конусную часть, образуя тем самым рабочую полость, где происходит дополнительное разрушение и размельчение грунта. По мере заглубления УЗКС, размельченный грунт выходит из рабочей полости, что позволяет не только формировать отверстия требуемой глубины, но и отбирать образцы материала с нужной глубины без подъема инструмента. 3D модель и фотография инструмента приведены на Рис.1.

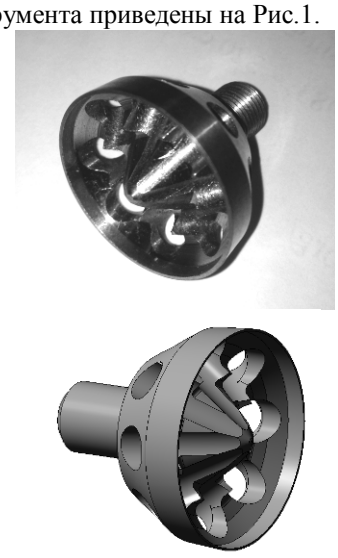

Рис. 1. Внешний вид пассивного рабочего инструмента

III. РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Предложенная и разработанная конструкция УЗКС с пассивным рабочим инструментом представлена на Рис.2.

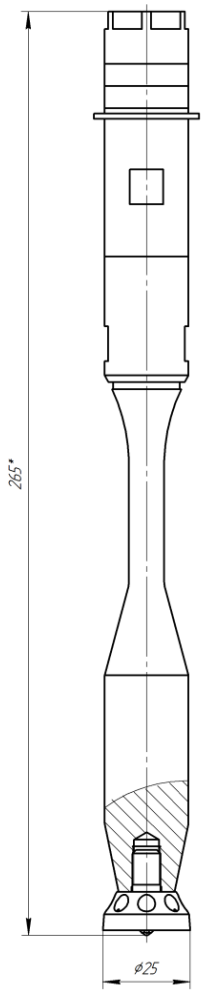

Рис. 2. Эскиз разработанной УЗКС

Конструкция представляет собой, последовательно установленные, акустически и механически связанные между собой пьезоэлектрический преобразователь, усиливающее звено, и рабочий инструмент [3].

IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА УЗ АППАРАТА

Для определения возможностей созданного макетного образца были проведены лабораторные исследования непосредственного воздействия на объект (имитатор лунного грунта) при реализации процесса бурения.

В качестве образцов (объекта для бурения – имитатора лунного грунта) были использованы блок из пенобетона марки D400 по средней плотности и смеси песка с машинным маслом и увлажненный песок охлажденный до -20□С.

Для подтверждения работоспособности и определения характеристик оборудования был проведен ряд экспериментов по определению:

– скорости бурения (глубина бурения за единицу времени) в зависимости от амплитуды механических колебаний;

– температурных режимов обрабатываемого образца (изменение температуры в центре образца за время бурения);

– потребляемой электрической мощности макетного образца УЗ аппарата.

Методика проведения исследований заключалась в последовательном выполнении следующих действий:

– бурение производилось торцевой кромкой рабочего инструмента. Для этого инструмент контактировал с поверхность сверлимого имитатора лунного и прижимался с усилием 5–10 кг;

– запускалась генерация механических колебаний, под действием которых происходило разрушение образца в зоне контакта торцевой части рабочего инструмента с постепенным внедрением инструмента в образец.

– каждые 30 секунд производился контроль глубины бурения, а также температуры в зоне бурения.

– в процессе бурения производился контроль потребляемой электрической мощности.

A. Бурение Имитатора В Виде Образца Пенобетона

Для проведения экспериментов использовался блок из пенобетона марки D400 по средней плотности (см. Рис.3).

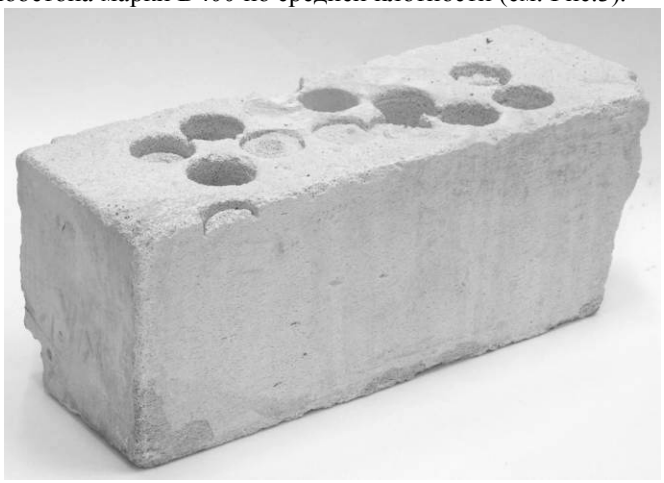

Рис. 3. Фотография пенобетона

B. Измерение скорости бурения пенобетона

Для измерения скорости бурения пенобетона производилось бурение с периодическим измерением параметров. Результаты представлены в таблице 1, а сам процесс бурения представлен на Рис.4.

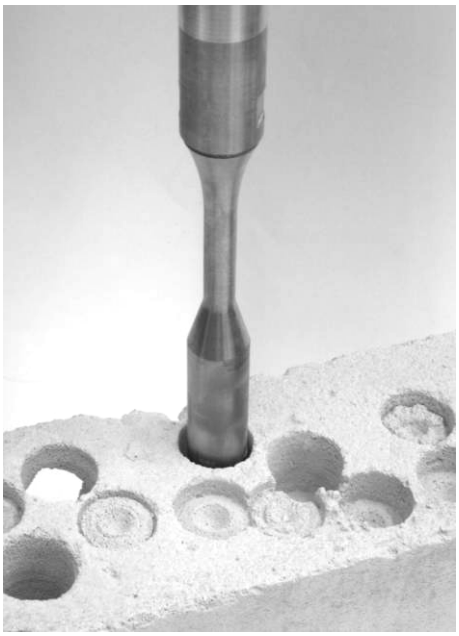

Рис. 4. Бурение блока из пенобетона

ТАБЛИЦА I
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Время, мин	Потребляемая мощность, Вт	Глубина, мм	Температура °C*
5	50	18	102
10	60	35	122
12	60	40	130

* начальная температура 28°C

На Рис.5 представлены графики зависимостей глубины бурения пенобетона и температуры в зоне воздействия от времени обработки.

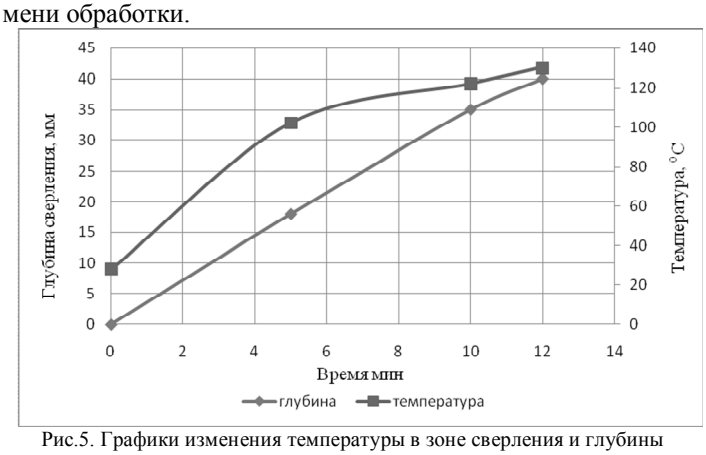

Рис.5. Графики изменения температуры в зоне сверления и глубины бурения.

Из графиков (см Рис.5) следует, что скорость бурения такого образца мало зависит от глубины. Это обусловлено тем, что образуемые при бурении продукты разрушения достаточно легкие и сыпучие в связи с чем, мало демпфируют волновод колебательной системы. Повышение же температуры связано с плохим отводом тепла из зоны разрушения материала, обусловленным малой теплопроводностью материала образца.

C. Бурение Замороженной Песчано-Водной Смеси

Для проведения опытов по бурению замороженной песчано-водной смеси была приготовлена смесь сухого речного песка с водой в пропорции 100:10. Указанное соотношение было выбрано исходя из условия создания влажной смеси. После перемешивания смесь помещается в морозильную камеру для заморозки. На Рис.6 представлена фотография замороженной смеси.

Рис. 6. Фотография замороженной песчано-водной смеси

D. Измерение скорости бурения

На Рис.7 представлены фотографии процесса бурения замороженной песчано-водной смеси, результаты измерений представлены в Табл. II.

Рис. 7. Процесс бурения замороженной песчано-водной смеси

ТАБЛИЦА II
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Время, мин	Потребляемая мощность, Вт	Глубина, мм	Температура, °C*
1	75	17	12
2	76	24	15
3	65	26	25

* - начальная температура °C

На Рис.8 представлены зависимости изменения температуры в зоне бурения и глубины.

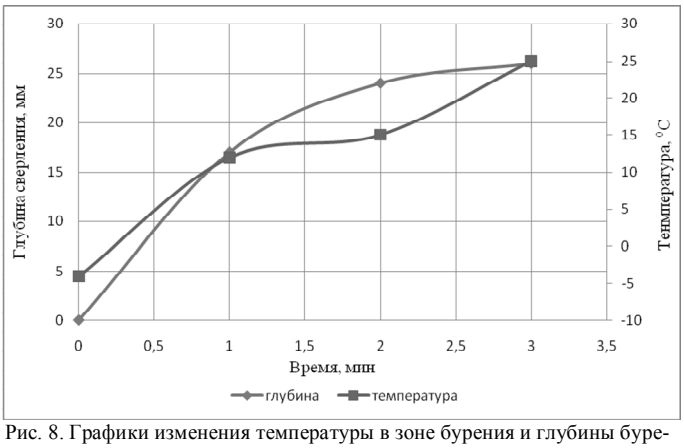

Рис. 8. Графики изменения температуры в зоне бурения и глубины бурения

Как видно из графиков (см. Рис.8) скорость бурения замороженной песчано-водной смеси в целом выше, чем скорость бурения пеноблока (5мм/мин у песчано-водной смеси и 3 мм/мин у пеноблока), но проявляется явная зависимость скорости от глубины. Это обусловлено тем, что продукты разрушения образца (влажный песок) демпфируют волновод колебательной системы сильнее, чем в случае с материалом пеноблока. Рост температуры происходит медленнее, чем при бурении пеноблока. Это связано с большей теплопроводностью материала образца. Если обеспечить отвод тепла из зоны бурения, возможно удастся добиться линеаризации скорости бурения от глубины и уменьшения демпфирования волновода колебательной системы.

E. *Бурение Песчано-Масленой Смеси*

Песчано-масляная смесь готовилась также в соотношении 100:10 по массе (100 частей сухого речного песка и 10 частей машинного масла 10W-40). Внешний вид показан на Рис. 9.

Рис. 9. Фотография подготовленной песчано-масляной смеси

F. Измерение скорости бурения

На Рис.10 представлены фотографии процесса бурения песчано-масляной смеси, результаты измерений представлены в Табл. III.

Рис. 10. Процесс бурения песчано-масляной смеси

ТАБЛИЦА II
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Время мин	Потребляемая мощность, Вт	Глубина, мм	Температура, °C*
1	60	23	48
2	65	30	59
3	66	35	76

* начальная температура 23 °C

На Рис.11 представлены зависимости изменения глубины бурения и температуры в зоне бурения от времени воздействия.

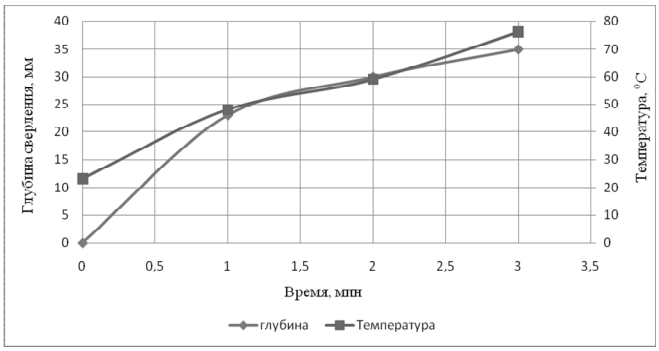

Рис. 11. Графики изменения температуры в зоне сверления и глубины сверления

По графикам, представленным на Рис.11 можно сделать заключение, что скорость бурения песчано-масляной смеси также зависит от глубины бурения, но эта зависимость имеет несколько иной характер по сравнению с предыдущими образцами. Во время заглубления (пока инструмент не засыпан продуктами разрушения) скорость высока, По мере заглубления рабочего инструмента и демпфирования продуктами разрушения, скорость падает и остается приблизительно постоянной на протяжении дальнейшего заглубления. Это обусловлено вязкостью (липкостью) продуктов разрушения образца. Продукты разрушения по мере углубления, уплотняются за инструментом, повторяя форму волновода, что снижает демпфирование, Вместе с тем, ухудшается отвод продуктов разрушения из зоны воздействия. Нагрев в зоне бурения песчано-масляной смеси несколько выше, чем песчано-водной, что связано с разной начальной температурой образцов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования созданное ультразвуковое оборудование позволило реализовать следующие режимы бурения образцов имитаторов лунного грунта (см. Табл. IV).

ТАБЛИЦА IV
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материал	Средняя потребляемая мощность, Вт	Скорость бурения, мм/мин	Среднее увеличение температуры в минуту, °C/мин
Пенобетон	56	3	30 *
Песчано-водная смесь	72	5	10 **
Песчано-маслянная смесь	63	6	18***

* Температура окружающего воздуха 30°C
** Температура окружающего воздуха 24°C
*** Температура окружающего воздуха 23°C

Как следует из данных, представленных в Табл. IV более мягкие образцы имитатора лунного грунта бурятся быстрее. Но, если скорость бурения пенобетона (см. Рис.5) практически линейна и не зависит от глубины засверливания, то скорость бурения вязких образцов (см. Рис.8 и Рис.11) падает по мере заглубления. Это может быть связано с вязкостью продуктов разрушения, которые демпфируют волновод и мешают отводу продуктов разрушения. Проведенные исследования функциональных возможностей макетного образца показали его пригодность для выполнения отверстий в хрупком и вязком грунте. При этом установлено, что для увеличения эффективности бурения необходимо обеспечить отвод продуктов разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Нестеров, В. А., В. И. Костенко, В. Н. Хмелев, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок, and Генне Д.В, "Разработка экспериментального образца ультразвукового оборудования для забора лунного грунта", XIII Международная конференция - семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM' 2012, Novosibirsk, НГТУ, 02/07/2012.

[2] Bar-Cohen Y. Zacny K. (Eds.).Drilling in Extreme Environments: Penetration and Sampling on Earth and other Planets, Weinheim, 2009

[3] Хмелев В. Н., Хмелев С. С., Барсуков Р. В., Голых Р. Н., Карзакова К. А.. Совершенствование конструкции резонансного концентрирующего звена с увеличенной поверхностью излучения. Электронный журнал "Техническая акустика", http://ejta.org, 2012, 7.