

АННОТАЦИЯ

Костенко В.И., Матвеев Ю.И.

ПРОБЛЕМЫ ДВИЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПЕНЕТРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ В ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ ПРИ БУРЕНИИ РЕГОЛИТА ЛУНЫ

Акустический журнал, том 62, № 5, с. 624-632. Физические основы акустики

Springer,

Journal Acoustical Physics 62(5), 633-641

DOI 10.1134/S1063771016050110

Исследования тепловых характеристик и химического состава реголита (лунного грунта) тесно связаны с созданием пенетрационных устройств (ПУ) для разведочного бурения, которые при минимальном воздействии на равновесное состояние реголита позволили бы определить требуемые характеристики (температуру, содержание воды и летучих компонент в образцах грунта) на различных глубинах погружения ПУ в реголит.

В настоящее время во многих лабораториях занимаются вопросами создания ПУ [1 - 6]. Некоторые из них были установлены на посадочных космических аппаратах: Curiosity (Марс), Philae (комета Чурюмова-Герасименко) и были даже предприняты попытки осуществления бурения на этих космических телах с разной степенью успеха.

При создании ПУ закладываются разные принципы бурения, большинство из которых реализованы на земле. Специфика бурения в условиях Луны заключается в том, что приходится бурить в условиях вакуума, низких температур ($-120 \pm 10^\circ \text{C}$) и ограниченного веса и габаритов ПУ, а также выделяемых для этих целей времени и энергии. Поэтому многие приемы, используемые при бурении в земных условиях, исключаются. Но взамен появляются такие проблемы, как течение концентрированных дисперсных

систем (разбуренного реголита) между стенкой скважины и ПУ, охлаждение инструмента ПУ, создание осевой силы для движения ПУ вглубь скважины и т.д.

Среди различных типов ПУ, предлагаемых для бурения Луны на воду в районах Южного полюса, ПУ с ультразвуковым (УЗ) приводом имеют большое будущее. Их перспективность обусловлена несколькими причинами [7, 8]:

- высокой скоростью бурения при относительно малых потреблении энергии и габаритах;
- незначительной силой прижима рабочего инструмента к грунту, что позволяет уменьшить размеры толкающего устройства;
- благодаря использованию процесса дробления УЗ ПУ могут свободно проходить через лед и более прочные породы грунта;
- размеры частиц раздробленного грунта таковы, что его образцы могут быть использованы (без дополнительного дробления) при хроматографическом анализе.

Чтобы обеспечить движение ПУ с УЗ приводом на больших глубинах необходимо знать или хотя бы прогнозировать:

- влияние водяного льда на упругие свойства реголита до глубины 2 м, так как упругие характеристики реголита, измеренные по данным миссий Apollo (США) и Луна - 16, - 20 и - 24 соответствуют сухому реголиту (содержание воды ~ 0.1% [9]);
- движение ПУ в разбуренной среде (канале, образующемся между стенкой скважины и поверхностью ПУ);
- поддерживать определенный температурный режим бурения (не допускать перегрева инструмента и разбуренного реголита, чтобы выполнить условия забора летучих компонентов).

Перечисленный выше круг задач может быть решен чисто акустическими методами.

Поскольку разбуренный реголит представляет собой дисперсную среду с высокой вязкостью, требуется применение специальных мер (псевдосжижения) для обеспечения движения ПУ в такой среде. В космических условиях

псевдосжиженное состояние может быть создано только за счет вибрационного воздействия [12, 13] – виброожижение порошков. Обычно виброожижение достигается за счет создания дополнительных угловых низкочастотных колебаний ПУ относительно его продольной оси. Соответственно необходимо определить оптимальную частоту этих колебаний.

РАЗБУРЕННЫЙ РЕГОЛИТ КАК ДИСПЕРСНАЯ СИСТЕМА

Понятие «дисперсные системы» объединяет широкий класс объектов, содержащих частицы размером от нескольких нм до сотен мкм. В лабораторных условиях при бурении твердых тел (например, имитаторов реголита) эти системы состоят из двух фаз: твердой и газовой. Фаза, являющаяся непрерывной (сплошной), называется дисперсионной средой; другая фаза, раздробленная и распределенная в этой среде, — дисперсной фазой. Дисперсных фаз в системе может быть несколько (например, в разбуренном реголите могут присутствовать частицы разного химического состава и строения, частицы водяного льда).

ВИБРООЖИЖЕНИЕ РАЗБУРЕННОГО РЕГОЛИТА

Для описания динамического состояния дисперсной системы достаточно установить зависимость эффективной вязкости η_{eff} системы от интенсивности механических воздействий на структуру в условиях равновесного и изотропного разрушения коагуляционной структуры.

Эффективным средством повышения текучести порошка является технология псевдосжижения, когда псевдосжиженное состояние создается путем пропускания через слой порошка потока дисперсионной среды (газа или жидкости) или за счет вибрационного воздействия [12, 13] – виброожижение порошков. В этом случае вынужденные колебания частиц частично компенсируют их молекулярное взаимодействие. При этом удается снизить вязкость дисперсных систем на 1-2 порядка.

Для снижения вязкости разбуренного реголита при его движении в кольцевом канале между стенкой скважины и поверхностью ПУ используется поворотное устройство с шаговым двигателем, вызывающее угловые колебания

ПУ относительно его продольной оси в азимутальной плоскости (рис.3, Статьи). Путем подбора оптимальной частоты угловых колебаний ПУ ω_{yz} можно обеспечить минимальную вязкость дисперсной среды.

В соответствии с циклограммой работы станции Луна-27 на бурение отводится определенное время и количество энергии. Установив зависимость скорости бурения от мощности, затрачиваемой на бурение, упругими характеристиками грунта и УЗ частотой инструмента, можно подобрать такую частоту, чтобы уложиться в отводимое циклограммой время на бурение.

Вычисления времени бурения на глубину 2 м при непрерывном бурении и выбранной частоте колебаний инструмента 30.5 кГц дают 8 ч. Однако при непрерывном бурении будет происходить нагрев инструмента. Начиная с некоторого момента времени, температуры инструмента и концентратора превысят границу удержания летучих компонентов. В условиях космоса единственный способ поддержания требуемого температурного диапазона нагрева инструмента сводится к чередованию режимов нагрева (активное бурение) и пауз (прекращения бурения), когда происходит охлаждение инструмента, т.е. обеспечении определенной скважности процесса бурения.

При скважности процесса бурения $S = 2 \div 3$ время бурения на глубины 2 м будет равно 16÷24 ч. Если этого времени окажется недостаточно для того, чтобы уложиться в циклограмму лунного модуля, необходимо изменить частоту УЗ преобразователя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные оценки показывают, что с помощью ПУ с УЗ приводом возможно проведение на Луне геологоразведочных работ в районе полюсов в разумные сроки.

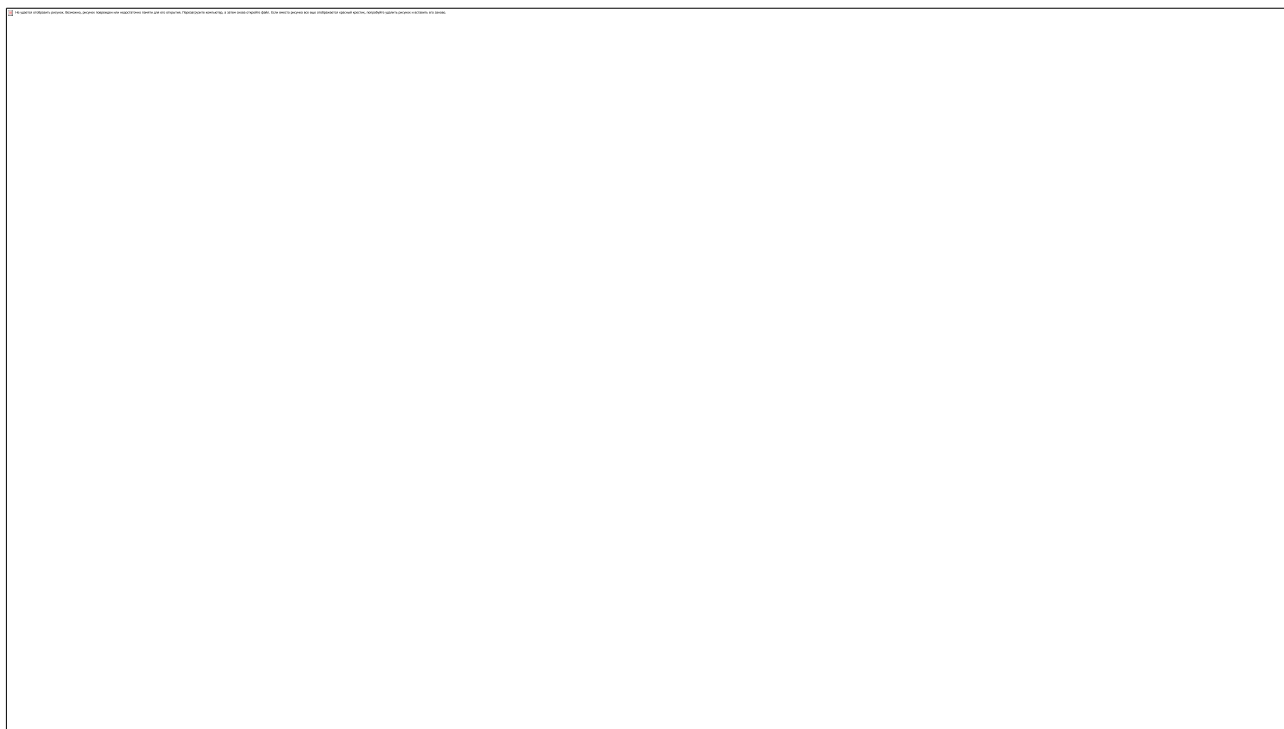
Встреча с камнями обломочных пород, несмотря на малую вероятность такой встречи, может снизить скорость бурения ПУ, но не является препятствием для его движения.

ПУ может быть использовано как исследовательский прибор. Полученные аналитические выражения позволяют определить упругие свойства реголита по

скорости бурения и мощности, затрачиваемой на дробление грунта.

При технически разумном решении процесса отвода тепла от ПУ (например, при помощи термоаккумуляторов, либо тепловых труб для отвода тепла на поверхность Луны) нет никаких препятствий для бурения на полную глубину реголита (12-15 м). Однако, начиная с глубины 2 м, скорость бурения меняется слабо, приближаясь к величине 2.2 мм/мин. Соответственно время бурения возрастет до 4-5 земных суток. В этой связи нет необходимости бурить на полную глубину. Исследование залежей воды можно осуществить с помощью георадара, используя результаты УЗ бурения на глубину 2 м для калибровки данных георадара.

Предложенная методика бурения грунта с использованием УЗ привода была экспериментально подтверждена на созданном для этих целей макете с бурением аналога лунного грунта, пенобетона марки 400. (Рис.4-6).



На разработанное ПУ с УЗ приводом подана заявка на патент №2015133420

Рис.4. Разбуренное отверстие в имитаторе грунта после выведения инструмента из скважины. Виден мелкодисперстный состав разбуренного грунта.



Рис.5. Процесс бурения имитатора лунного грунта

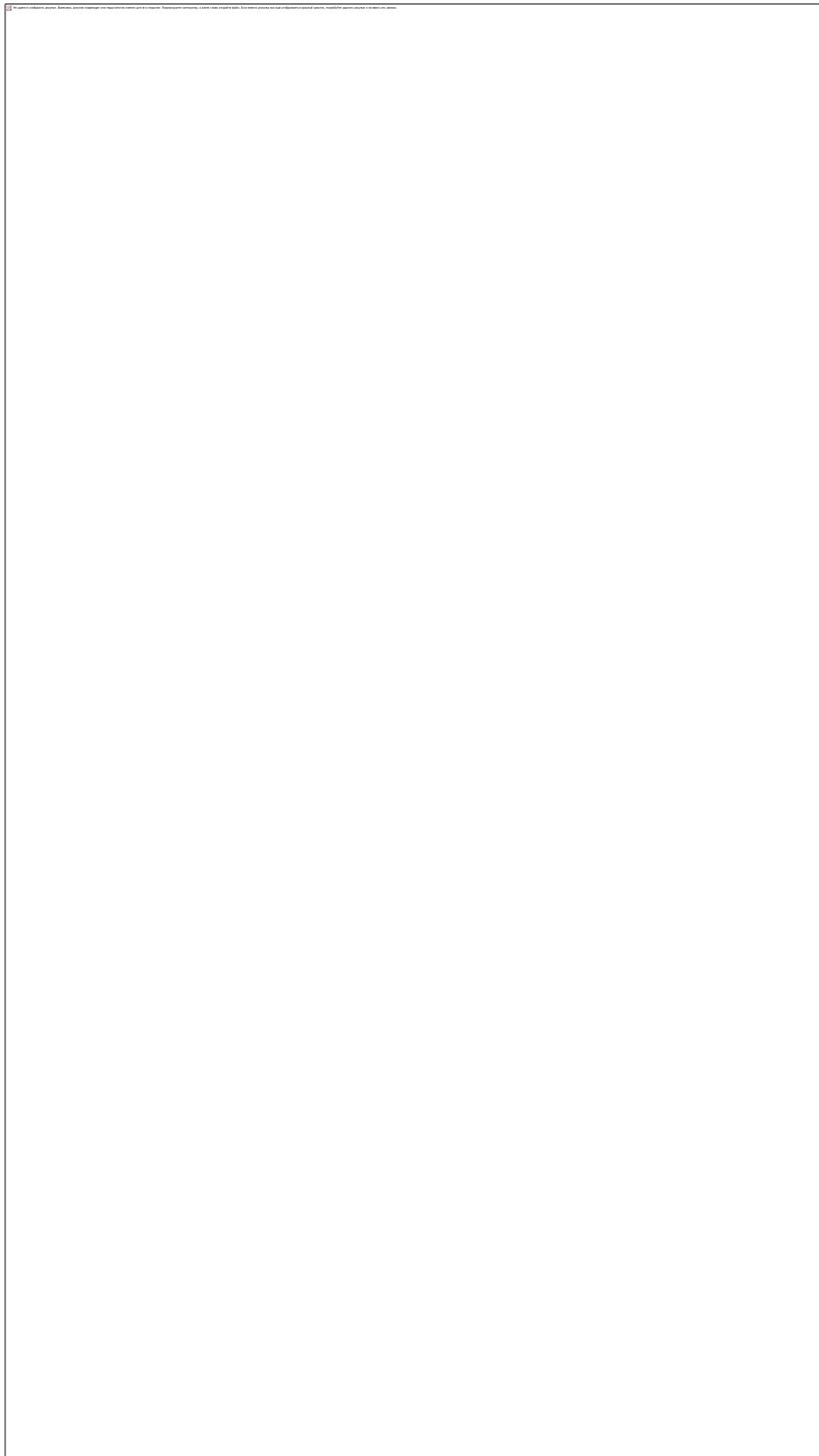


Рис.6. Макет ПУ с УЗ приводом