

УДК 62-98

Разработка опытного образца технологической установки для спекания имитатора лунного грунта

Буланаева-Климова Наталия Юрьевна^(*)

astriditsme@gmail.com

Худорожко Михаил Викторович

khudorozhko@bmstu.ru

Хоменко Виктория Владимировна

vvh14082005@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Разработана экспериментальная установка концентрированного радиационного нагрева на основе галогенных ламп с эллиптическими отражателями. Установка позволяет создавать равномерного распределения теплового потока в области диаметром 50 мм со значением от 0 до 32 Вт/см², что соответствует температуре 1500 К. Данная температура является достаточной для проведения технологического процесса спекания лунного грунта с целью получения строительных материалов, что дает возможность использовать установку для имитации поверхностного нагрева концентрированным солнечным излучением. Габаритные размеры составили 600х800х600 мм, что позволяет отнести ее к классу настольного лабораторного оборудования.

Ключевые слова: лучистый нагрев, высокоинтенсивные источники излучения, космическое строительство, галогенная лампа, моделирование радиационного переноса энергии

Введение. Создание постоянной лунной базы требует значительных объемов строительных материалов, доставка которых с Земли остается крайне дорогостоящей [1]. В связи с этим в мировой научной среде возрастающее внимание уделяется концепции in-situ resource utilization (ISRU), предполагающей использование местных ресурсов [2]. В качестве такого ресурса предлагается использовать лунный реголит, который представляет собой смесь измельченных частиц [3]. Его основу составляют диоксид кремния (SiO₂), оксид алюминия (Al₂O₃), а также оксиды кальция, магния и железа. В процессе нагрева легкоплавкие частицы переходят в жидкую фазу, которая сцепляет между собой прочие тугоплавкие частицы. В результате получается относительно прочный строительный материал. Наиболее перспективной технологией с точки зрения энергетической эффективности является нагрев концентрированным солнечным излучением. В качестве имитатора нагрева концентрированным излучением была выбрана установка на основе шаровых галогенных ламп с отражателями. Целью создания установки является экспериментальная отработка процесса спекания имитатора лунного грунта в лабораторных условиях. Основное требование, предъявляемое к установке, заключалось в достижении равномерного распределения температуры по поверхности рабочей зоны на уровне в 1500 К, что соответствует переходу диоксида кремния в жидкую фазу.

Методы и материалы; результаты. В качестве теоретического описания процесса переноса энергии в рабочей зоне установки использовался подход, основанный на решении геометрической задачи оптимизации [4]. В качестве варьируемых параметров использовались координаты расположения ламп

в и точки прицеливания. В качестве директивных параметров использовались диаметр отражателя, коэффициент зеркального отражения, размеры спирали и ее номинальная мощность, требуемое равномерное распределение теплового потока в 32 Вт/см^2 .

Итоговая установка включает в себя: нагревательный блок, рабочую зону, систему измерения и систему управления. Нагревательный блок представляет из себя 18 ламп, расположенных на уровнях шестиугольной формы. В качестве источников излучения использовались галогенные лампы с номинальной мощностью в 150 Вт с золотым покрытием на эллиптическом отражателе диаметром 50 мм. Рабочая зона представляет собой стол с теплоизоляционным блоком из композиции Al_2O_3 и SiO_2 размерами $150 \times 150 \times 100 \text{ мм}$ с посадочным местом под образец диаметром 50 мм. Теплоизоляционный блок ограничивает теплотери, стабилизирует температурное поле и обеспечивает воспроизводимость теплового режима от опыта к опыту. Габаритные размеры составили $600 \times 800 \times 600 \text{ мм}$. Суммарная мощность установки составляет 3 кВт, при этом есть возможность форсирования мощности до 3,5 кВт, что позволяет повысить температуру до 1600 К в зоне спекания. В качестве системы измерения использовались термопара ТХА и тепловизор SATIR. Для управления процессом нагрева было реализовано программное обеспечение на языке MATLAB и микроконтроллера Arduino Mega. Использовалась система управления выходным напряжением с обратной связью, в качестве которой выступал сигнал с термопары. Для формирования управляющего сигнала использовался ПИД регулятор. Реализованная система позволяет осуществлять нагрев образцов по заданной программе в диапазоне температур от 300 до 1600 К. Система также позволяет в ручном режиме управлять выходной мощностью и программой теплового нагружения в реальном времени.

Заключение. В результате испытаний установлено, что данная схема позволяет проводить отработку процесса спекания образцов из имитатора лунного грунта диаметром до 50 мм с максимальной температурой в 1600 К в диапазоне от 0 до 60 минут совместно с измерением температуры в объеме термопарой и на поверхности тепловизором.

Список источников

- [1] Леонов В.А. Ресурсы ближнего космоса, или зачем нам Луна? *Земля и Вселенная*, 2019, № 4, с. 38–51. <https://doi.org/10.7868/S0044394819040030>
- [2] Charun B., Daobo Z., Qinyu W. Lunar In Situ Large-Scale Construction: Quantitative Evaluation of Regolith Solidification Techniques. *Engineering*, 2024, no 39, pp. 204–221. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.03.004>
- [3] Шкловер В.Я., Слюта Е.Н., Загвоздин В.П. Комплексное структурное исследование частицы лунного реголита методом мультимасштабной и мультимодальной объемной микроскопии. *Журнал аналитической химии*, 2020, № 10, с. 942–953. <https://doi.org/10.31857/S0044450220100138>
- [4] Худорожко М.В., Просунцов П.В. Метод выбора параметров рабочей зоны установки концентрированного радиационного нагрева. *Тепловые процессы в технике*, 2024, т. 16, № 12, с. 547–558.