

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspase.ru, www.laspase.ru

06 НОЯ 2025

«___» _____ 20__ г.

№

570/11

На №

от

Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.327.06
доктору технических наук, доценту
Краеву В.М.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское ш., д.4
МАИ, Ученый совет

Уважаемый Вячеслав Михайлович !

Акционерное общество «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина» направляет Вам отзыв на диссертационную работу Кочнева Кирилла Владиславовича «Математическая модель плавления лунного реголита», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Приложение: отзыв на 6 листах, в двух экземплярах

С уважением,

Генеральный директор

В.В. Марфин

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«11» 11 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «НПО Лавочкина»

В.В. Марфин

06.11.2025

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Кочнева Кирилла Владиславовича

**«Математическая модель плавления лунного реголита», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности**

1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Исследование, выполненное в рамках диссертационной работы Кочнева К. В., посвящено параметрической идентификации математических моделей теплопереноса в сыпучих материалах, подвергающихся локализованному радиационному нагреву высокой мощности. Полученные результаты могут быть использованы в процессе разработки и эксплуатации специальной космической техники, предназначенной для создания объектов лунной инфраструктуры, строительство которых предполагает применение технологий термической обработки реголита.

Актуальность темы исследования. В диссертационной работе справедливо отмечается, что интерес к исследованиям естественного спутника Земли в настоящее время объективно возрос, выйдя на международный уровень, чему неуклонно способствовали темпы развития современных технологий. В программах деятельности ряда космических агентств предусматриваются как самостоятельные контактные исследования Луны, так и в кооперации стран между собой. В обозримом будущем ведущие космические агентства планируют создание лунных баз и соответствующей лунной инфраструктуры с целью решения различных научных и прикладных задач, предусматривающих беспрецедентно длительное присутствие людей и техники непосредственно на Луне. Условия пребывания на спутнике Земли характеризуются чрезвычайно высокими колебаниями температуры,

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«11» 11 2025г.

радиационной и микрометеоритной опасностью, а также доказанным негативным воздействием лунной пыли, которая вследствие высокой абразивности может угрожать дыхательной системе людей, ускорять износ различной техники и скафандров. Это обуславливает потребность строительства (в рамках создания лунной инфраструктуры) капитальных сооружений для решения задачи защиты людей и отдельных видов оборудования от воздействия внешних факторов. Возможности доставки строительных материалов и энергоносителей с Земли на другие небесные тела экономически и технологически ограничены и это стимулирует разработку технологий, использующих местные материалы (реголит) и местные энергетические ресурсы (солнечную энергию) для создания и поддержания элементов лунной инфраструктуры, чем уже озадачены исследователи различных стран. Функционирование техники и деятельность людей на поверхности Луны являются основными причинами, вызывающими возникновение пылевых облаков из мелких фракций реголита, поэтому одним из способов, позволяющих снизить масштабы генерации лунной пыли, является поверхностная изоляция (покрытие) маршрутов движения по поверхности Луны, а также взлетно-посадочных площадок с помощью защитного слоя, созданного из плиток спеченного реголита, энергию для производства которых способны обеспечивать солнечные концентраторы. Таким образом, разработка и идентификация математических моделей, позволяющих воспроизводить параметры режима спекания, а также определять или уточнять теплофизические характеристики сыпучих материалов, с учетом описанной здесь специфики их термической обработки и применения, являет собой актуальную тему научно-технического исследования.

Научная новизна выполненного исследования характеризуется комплексным подходом, в котором применение аппарата обратных задач теплообмена используется сначала для расчетно-экспериментального определения теплофизических свойств сыпучего материала, а затем для целенаправленного определения основных параметров математической модели процесса плавления, организованного с помощью локализованного поверхностного радиационного теплового воздействия на данный материал.

Достоверность и обоснованность полученных результатов в выполненной работе основана на использовании общепринятых, проверенных на практике математических моделей плавления, отработанных математических методов обратных задач теплообмена и оценках их

устойчивости и сходимости, а также на результатах сравнения экспериментальных данных с расчетными.

Практическая значимость работы заключается в создании алгоритмических и методических средств расчетно-экспериментального моделирования процессов плавления сыпучих материалов, а также в разработке программного обеспечения и методики тепловых испытаний, позволяющих обеспечить практическую реализацию и идентификацию разработанных методик. Использование результатов работы позволит определять технические требования к оборудованию для плавления реголита, а также диагностировать и корректировать параметры процесса плавления в ходе его эксплуатации.

Публикации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в объеме трех статей в периодическом научно-техническом журнале «Тепловые процессы в технике», являющимся ведущим рецензируемым научным изданием, рекомендованным ВАК при Минобрнауки России по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Кроме этого, результаты работы Кочнева К.В. представлялись на шести профильных российских научных конференциях в формате докладов.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, представляющего 75 источников. Данная работа имеет общий объем 167 страниц и содержит 113 рисунков и 29 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность тематики исследований, сформулированы цели и задачи, а также определены применяемые методы и подходы для выполнения диссертационной работы.

В первой главе выполнен сбор и анализ актуальных сведений о свойствах лунного реголита: дается представление о его химическом, минералогическом и гранулометрическом составе. Произведен обзор имитаторов реголита, используемых в исследовательских экспериментах, анализируются существующие технологии подготовки и переработки реголита. Сделан положительный вывод о целесообразности использования технологий спекания и сплавления.

Во второй главе анализируется проблема выбора математических моделей, воспроизводящих теплоперенос в сыпучих материалах с учетом процесса плавления при поверхностном концентрированном радиационном нагреве. Представлены результаты компьютерного моделирования оплавления

имитатора реголита при воздействии на него движущимся источником тепла: предложены и реализованы различные стратегии термической обработки. В заключительном разделе главы сформулирована постановка задачи параметрической идентификации математической модели плавления сыпучего материала.

Третья глава рассматривает вопросы расчетно-экспериментального определения теплофизических характеристик сыпучих материалов, которые в дальнейшем потребуются при идентификации параметров математической модели плавления. Представлено краткое описание метода итерационной регуляризации для решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности. Описана применяемая экспериментальная установка, сформулированы требования к образцам и условиям проведения испытаний. В последнем разделе представлены полученные значения теплопроводности и объемной теплоемкости, а также рассмотрены особенности обработки результатов эксперимента с применением программного комплекса СНАМАТИ (МАИ).

В четвертой главе

рассматриваются экспериментально-расчетные исследования оплавления имитатора лунного грунта с использованием лазерной установки. Представлен алгоритм параметрической идентификации математической модели плавления сыпучего материала. Приведены физическая и математическая модели процесса теплообмена в образце, схема испытаний и методика их проведения. Проведена апробация разрабатываемой методологии при определении теплофизических свойств (коэффициента поглощения и удельной теплоты плавления) оплавливающегося сыпучего материала.

Замечания по работе:

1) В тексте работы присутствуют незначительные опечатки и несоответствия падежных форм, стр.154: «разработанного методики» и «теплового эффекту». Есть отдельные стилистические/терминологические несоответствия, например, на стр.8 неудачно построена формулировка предмета исследования «предмет исследования это метод.....», в формулировке новизны дважды, но в разном значении используется слово комплекс - «комплексный подход к проблеме определения комплекса неизвестных» и т.п.

2) Во введении к диссертации, а также в автореферате к ней не дано конкретных сведений, на основе которых можно однозначно заключить: в чем

именно состоит личное участие автора при выполнении экспериментальной и расчетно-методической работ в рамках данного научного исследования.

3) Во второй главе автор наглядно показал, что теплопроводность сыпучего материала-имитатора существенно зависит от наличия/отсутствия атмосферного воздуха (стр.126, Рис. 3.40). В тоже время, он не комментирует возможное влияние на ход процесса спекания изменения теплопроводности (изначально сыпучего, а затем жидкого и твердого) материала, вследствие фазовых превращений, а также не рассматривает необходимость проведения соответствующих экспериментов.

4) В разделе 2.2 описывается моделирование процесса спекания реголита с использованием модели, созданной в рабочей среде (разработка США) Ansys Workbench. Если раздел 2.1 дает представление о применяемом методическом подходе, непонятно как в модели Ansys учтены факторы, рекомендуемые к учету на стр.58: испарение легкоплавких фракций (2.12), сдвиг Марангони (2.13) и пр. Если же модель Ansys построена с определенными допущениями и ограничениями, логично было бы их перечислить. Представленные «скриншоты» применения Ansys Workbench не позволяют судить о том, как происходил расплав и затвердевание исследуемого образца в зонах воздействия источника тепла.

5) В начале главы 4 описывается методика, с помощью которой модель плавления реголита подвергается заявленной параметрической идентификации. Однако, автор не уточняет какими численными методами, с использованием каких программно-алгоритмических и вычислительных средств он получил расчетные кривые на графиках Рис.4.24. и Рис.4.25. Если расчетная модель была разработана автором, либо имеющееся в наличии программное обеспечение было доработано или адаптировано им в какой-то части (с использованием определенного языка программирования), логично было бы дать соответствующие комментарии.

Заключение. Несмотря на сформулированные замечания, диссертационная работа Кочнева К. В. выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научно-техническое исследование, посвященное актуальной теме.

Автореферат и опубликованные работы в достаточной мере отражают содержание диссертации. Автореферат в кратком виде характеризует все стороны выполненной работы, представляя необходимую информацию,

характеризующую полученные результаты, а также основные положения и выводы.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Кочнев Кирилл Владиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Данный отзыв рассмотрен на НТС предприятия:
Протокол № 14-1-25 от « 31 » 10 2025 г.

Главный специалист, д.т.н.



Сысоев В.К.

Ведущий математик, к.т.н.



Добрица Д.Б.

Ведущий математик, к.т.н.



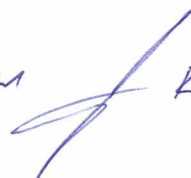
Котляров Е.Ю.

Акционерное общество «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина»

Адрес: 141402, Московская область, г. Химки, Ленинградская ул., д. 24

Тел.: 8 (495) 286-60-00

e-mail: npol@laspaces.ru

С отзывом ознакомлен  Кочнев К.В. 12.11.2025