

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Кочнев Кирилл Владиславович

Тема диссертации: Математическая модель плавления лунного реголита

Специальность: 1.3.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 08 декабря 2025 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Кочневу Кириллу Владиславовичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета:

Агульник А.Б., Абашев В.М., Иванов А.В., Кочетков Ю.М., Лесневский Л.Н., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Проректор по научной работе МАИ
д.т.наук, доцент



А.В.Иванов

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.06,
д.т.н., доцент

В.М.Краев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08.12.2025 г. № 121

О присуждении Кочневу Кириллу Владиславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическая модель плавления лунного реголита» по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника для технических наук» принята к защите 29.09.2025 г., (протокол заседания № 107) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования РФ о создании диссертационного совета – №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Кочнев Кирилл Владиславович, 18 мая 1995 года рождения, работает в публичном акционерном обществе «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева» в должности ведущий инженер-конструктор.

В 2019 г. окончил «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» с присвоением квалификации «инженер» по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» (диплом 107718 1077146, регистрационный номер 2019/6О-003Д от 30 января 2019 года).

В 2023 г. окончил очную аспирантуру «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)» по направлению подготовки 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» (диплом 107733 0004340, регистрационный номер 2023/6А-467Д от 06 июля 2023 года).

В 2024 г. соискателем был сдан кандидатский экзамен по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника для технических наук». Справка о сдаче кандидатского экзамена выдана ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).

В период подготовки диссертации соискатель Кочнев К. В. работал в Публичном акционерном обществе «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева» в должности ведущего инженера-конструктора, а также в «Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете)» в НИО-601 в должности инженера, по внешнему совместительству.

Диссертация выполнена в «Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете)».

Научный руководитель – Ненарокомов Алексей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры 601 «Космические системы и ракетостроение» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Деревич Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики факультета фундаментальных наук «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)»;

Семена Николай Петрович, доктор технических наук, заведующий лабораторией астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Акционерное общество «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина», г. Химки, в своем положительном отзыве, подписанном главным специалистом, доктором технических наук Сысоевым В. К., ведущим математиком, кандидатом технических наук Добрица Д. Б., ведущим математиком, кандидатом технических наук Котляровым Е. Ю. и утверждённым Марфиным Василием Васильевичем, генеральным директором АО «НПО Лавочкина», указала, что диссертационная работа Кочнева Кирилла Владиславовича «Математическая модель плавления лунного реголита» на соискание ученой степени кандидата технических наук выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научно-техническое исследование, посвященное актуальной теме. 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 технических наук, а ее автор, Кочнев Кирилл Владиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности: 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

За время работы над диссертацией Кочневым К. В. опубликовано 3 статьи в рецензируемом научном издании рекомендуемом ВАК при Минобрнауки России по специальности 1.3.14. — «Теплофизика и теоретическая теплотехника», сделано 6 докладов на конференциях.

Данные публикации посвящены исследованиям в области разработки технологии переработки лунного реголита в конструкционные материалы заданной формы посредством концентрированного солнечного излучения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Кочнев К.В., Ненарокомов А.В. Технологии обработки лунного реголита для последующего использования// Тепловые процессы в технике.

В работе Кочневым К. В. был проведен анализ результатов исследований по спеканию имитаторов лунного реголита концентрированным солнечным светом.

2. Кочнев К.В., Ненарокомов А.В. Моделирование теплообмена в симуляторе лунного реголита. Постановка задачи // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 6. С. 242–252. DOI: 10.34759/tpt-2021-13-6-264-268

В работе Кочневым К. В. проведена постановка задачи математического моделирования процесса плавления лунного реголита под действием концентрированного солнечного света.

3. Кочнев К.В., Ненарокомов А.В. Моделирование процесса спекания лунного реголита. Анализ расчетно-экспериментального метода идентификации математической модели теплопереноса // Тепловые процессы в технике. 2023. Т. 15. № 2. С. 51–61. DOI: 10.34759/tpt-2023-15-2-51-61

В работе Кочневым К. В. проведен анализ расчетно-экспериментального метода идентификации математической модели теплопереноса.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Деревича И. В., доктора технических наук, профессора, профессора кафедры прикладной математики факультета фундаментальных наук «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)» содержит следующие замечания:

По мнению оппонента в названии диссертации необходимо было подчеркнуть экспериментальную составляющую работы, которая выполнена на высокопрофессиональном уровне и заслуживает высокой оценки. Название «Математическая модель плавления...» не отражает уникальной методики экспериментальных исследований. В диссертации на основе решения

обратных задач теплопроводности представлена надежная методика прогноза теплофизических свойств и энтальпии плавления сыпучих материалов в процессе спекания. Экспериментальная часть работы не вызывает замечаний. В то же время по представлению теоретической части имеется ряд комментариев.

1. Уравнение (2.1) записано с опечатками. В операторе Лапласа все производные указаны для одной переменной. В уравнениях (2.1) и (4.1) $q_{пл} > 0$ (см. (2.3)) должно входить со знаком «минус». В том виде как записаны уравнения теплота плавления приводит к росту температуры.

2. В формуле (2.3) не ясен смысл функции $\beta(T)$. Фазовый переход имеет границу при температуре плавления, на которой происходит скачок энтальпии. В случае формулы (2.3) фазовый переход занимает существенный объем. Предложенная аппроксимация нуждается в комментарии.

3. В формуле (2.2) непонятна расхожимость при $z \rightarrow d$. В чем физическая причина такой расхожимости.

4. В формулах (2.12) и (2.14) присутствует давление P_0 . Это давление атмосферы или насыщенных паров?

5. Как оценивается энтальпия испарения в (2.12), (2.14)?

6. Процедура минимизации функционала в обратной задаче требует решения уравнений теплопроводности с переменными коэффициентами. Желательно пояснить какой алгоритм используется, явная или неявная схема расчета по времени.

7. На стр. 79 сказано, что «обратные задачи обладают физической некорректностью». Есть понятие некорректности по Адамару, которое никак не связано с физической интерпретацией.

8. Непонятна необходимость условий (3.10), (3.11) при реализации алгоритма обратной задачи. Это обычные условия непрерывности температуры и теплового потока.

9. В формулах (4.6), (4.18), (4.22) пропущен знак «минус» в экспоненте.

10. При описании итерационной процедуры (с. 133) начальное приближение не может быть нулевым. Нулевое начальное приближение не «запустит» итерационный процесс.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Семены Н. П., доктора технических наук, заведующего лабораторией астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» содержит следующие замечания:

По мнению оппонента, работа имеет два основных недостатка. Во-первых, излишне упрощена модель теплопереноса в плавящемся (спекаемом) материале. Во-вторых, методика эксперимента, результаты которого используются для решения обратной задачи, может привести к заметным ошибкам определения теплофизических параметров при решении обратной задачи. При этом имеется способ существенного сокращения этих ошибок.

Первый недостаток можно пояснить следующим образом. Модель теплопереноса в диссертации рассматривает сыпучий материал (далее вещество) как однородный слой с неизменными термооптическими характеристиками поверхности и теплофизическими характеристиками в его объеме. Это оправдано в случае либо тонкого слоя вещества, либо использования для решения обратной задачи только тех данных эксперимента, которые фиксируются после полного расплавления (спекания) слоя вещества под воздействием внешнего теплового потока.

Из работы следует, что ни одно из этих условий не соблюдается. Поэтому уточненная математическая модель должна учитывать несколько последовательных стадий теплового состояния вещества. На первой стадии при воздействии излучения на поверхность вещества меняется его термооптические свойства за счет плавления (спекания) поверхностного слоя.

Соответственно меняется как абсолютный поглощенный поток, так и соотношения поглощенного и излученного потоков. На второй стадии в толще материала перемещается фронт плавления от поглощающей поверхности к обратной поверхности. Модель должна учитывать, что этот фронт разделяет материал на два слоя с разными теплофизическими характеристиками. На завершающей стадии этот фронт доходит до тыльной стороны материала. Это должно служить критерием окончания процесса спекания (плавления). Данная модель все равно будет упрощенной, поскольку не учитывает постоянного изменения термооптических и теплофизических характеристик вещества при непрерывном изменении его температуры, а не только агрегатного состояния. Но она позволит получить гораздо более точные результаты, по сравнению с теми которые дает модель диссертанта.

Что касается второго недостатка, то его можно прокомментировать следующим образом. Для решения обратной задачи в диссертации используются результаты динамических экспериментов, в которых наблюдается постоянное изменение, как потоков, так и температур (при поддержании значения одной из температур на стационарном уровне с непонятной целью). На первый взгляд это позволяет получить большой объем данных для решения обратной задачи с целью одновременного восстановления, как теплопроводности, так и теплоемкости вещества. Однако такой подход приводит к практически неустраняемым ошибкам из-за невозможности полной синхронизации всех датчиков температуры по времени. Такие эксперименты требуют продолжительной начальной калибровки измерительной системы. При этом все равно сохраняется возможность неправильного определения теплофизических характеристик вещества при корректно решенной обратной задаче за счет взаимной компенсации ошибок определения теплопроводности и теплоемкости. Эта проблема устраняется при разделении эксперимента на две стадии. На первой стадии достигаются стационарные значения температур в веществе при стационарных воздействующих потоках, что позволяет достоверно определить теплопроводность вещества при нулевых значения производных

температур. На второй стадии при известной теплопроводности из динамических режимов достаточно точно восстанавливается теплоемкость за счет большого объема используемых избыточных данных при использовании методов максимального правдоподобия.

В оправдание диссертанту можно сказать, что и уточнение математической модели и усложнение методики эксперимента потребуют достаточно существенного увеличения, как расчетных ресурсов, так и продолжительности эксперимента, что на данной стадии работы возможно не вполне оправданно. Поэтому для предварительных усредненных оценок теплофизических характеристик вещества с подходом диссертанта можно согласиться.

Кроме содержательных недостатков имеются некоторые погрешности или спорные моменты, связанные со стилем изложения, а также некоторые описки.

Во введении неоправданно акцентируется внимание на привлечение к исследованию Луны частных компаний. Для целей и задач диссертации это не имеет никакого значения.

Диссертант употребляет некоторые термины либо неточно, либо придумывает новые термины при имеющихся общепринятых. В частности, термин «идентификация тепловой модели» целесообразно заменить термином «определение или восстановление параметров тепловой модели». А использованный в диссертации термин «тепловой эффект плавления» в классических источниках обозначается как «удельная теплота плавления».

Не расшифрованы некоторые аббревиатуры, в частности «ДСК» и «Тпр». На рисунке 4.13 ошибочно проставлено время 25 сек. вместо 500 сек.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – Акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» содержит следующие замечания:

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 происходит 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.

Отзыв на автореферат диссертации ПАО «РКК «Энергия», составленный главным научным сотрудником, доктором физико-математических наук, доцентом Алексеевым А. К., содержит следующие замечания:

1. Термопары, фиксирующие изменение температуры внутри прогреваемого образца, расположены по вертикальной оси источника. Учитывая трехмерность постановки задачи, кажется предпочтительной установка дополнительных термопар, смещенных от оси источника излучения, для контроля распространения тепла в объеме образца.

2. Из текста автореферата не ясно, с помощью каких средств были произведены вычисления.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», составленный заведующим кафедры «Физика», доктором технических наук, профессором Кудиновым И. В., содержит следующие замечания:

1. Рисунок 3, иллюстрирующий моделирование обработки, неинформативен.

2. Возникает ряд вопросов, связанных с тем, что в качестве симулятора реголита выбран кварцевый песок. Учитывая значительные отличия песка от лунного реголита по химическому, минералогическому и гранулометрическому составам, а также различия в морфологии, требуются пояснения о применимости экспериментальной методики для определения характеристик настоящего реголита.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБУН Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской

академии наук (ИТ СО РАН), составленный заведующим лабораторией низкотемпературной теплофизики, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук Павленко А. Н., содержит следующие замечания:

1. В качестве симулятора использован кварцевый песок, который обладает определенной прозрачностью, в отличие от пород, из которых состоит реголит. В тексте нет пояснения, учитывался ли этот эффект в расчетах;

2. В тексте автореферата указано, что в математической модели плавления не учтена конвекция, поскольку определение параметров модели предстоит делать в условиях вакуума. В то же время, эксперимент с лазерной установкой проводился в атмосферных условиях. Необходимо было бы дать пояснения на этот счет.

Отзыв на автореферат диссертации ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», составленный заведующим кафедрой СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции», доктором технических наук, профессором Резником С. В., содержит следующие замечания:

1. Предметом исследования, соответствующим специальности, по которой представлена диссертационная работа, являются процессы теплообмена в сыпучем материале, а не метод параметрической идентификации математической модели плавления сыпучих материалов.

2. Не ясно почему для проведения экспериментов автором был выбран некий «симулятор» – самостоятельно приготовленный дисперсный материал ПК-1, а не один из отечественных имитаторов лунного реголита ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН?

3. В автореферате отсутствуют сведения о структурных характеристиках и плотности «симулятора» ПК-1. Достоверность линейных температурных зависимостей эффективной теплопроводности образцов, испытанных на стенде ТВС-1М в вакууме и на воздухе, вызывает сомнения. В дисперсных материалах при температурах выше 600 К обычно начинается

проявляться радиационный теплоперенос.

4. В автореферате нет сведений об условиях останова итерационного процесса и погрешностях измерения температуры в экспериментальных образцах.

5. Формулы (2) и (3), описывающие соответственно, поглощение падающего потока теплового излучения и выделение теплоты при спекании, приведены без ссылок на первоисточники.

6. Имеются замечания по оформлению:

- Стр. 13, рисунок 3 плохого качества.
- Стр. 13, 14 в уравнении (1) C и $c_{эф}$ – *объемная* теплоемкость, а не теплоемкость.
- Стр. 13 В уравнении (1) время обозначено буквой τ , а пояснения приведены для t , ряд параметров приведен без объяснений.

Отзыв на автореферат диссертации АО ГНЦ «Центр Келдыша», составленный старшим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук Сафроновым А. А., содержит следующие замечания:

1. Не описана физическая модель, механизм теплопроводности в лунном реголите при его плавлении путем локального воздействия излучения. Не представлен характерный вид зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

2. Представленные в автореферате материалы не позволяют понять условия проведения тепловакуумных испытаний. Сообщается, что под воздействием лазерного излучения происходило испарение легкоплавких компонентов имитатора реголита. Каково было давление в вакуумной камере и в области нагрева? Могло ли наличие этих паров изменить механизм теплообмена в реголите?

3. В выводах отмечается, что в диссертации показана «целесообразность использования технологии послойного спекания лунного грунта с использованием концентраторов солнечной энергии». В автореферате не сообщается о толщине такого спеченного слоя, а также о том,

чем эта толщина определяется.

Отзыв на автореферат диссертации ФГАОУ ВО НИ Томского политехнического университета, составленный профессором научно-образовательного центра И.Н. Бутакова ТПУ, Инженерной школы энергетики, доктором технических наук Сыродоем С. В., содержит следующие замечания:

1. В автореферате на страницах 17-18 указано, что передача тепла за счет конвекции не учитывается, ввиду лунных условий среды. Образец считается теплоизолированным с пяти сторон, а потеря тепла происходит только с нагреваемой стороны за счет излучения и испарения. При этом, эксперимент по плавлению симулятора происходит в условиях земной атмосферы. Очевидно, что эксперимент был проведен таким образом ввиду естественных ограничений, однако, следовало бы указать, какие поправки были приняты в расчетах.

2. На странице 13 автореферата приведено дифференциальное уравнение теплопроводности (1), в правой части которого указан источниковый член, описывающий тепловыделения за счет проникновения излучения в слой пористого материала. Однако при плавлении последнего очевидно слой становится непрозрачный для лазерного луча. Из описания математической модели не ясно как учитывается этот эффект. Потому автору стоило бы рассмотреть этот вопрос.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБУН Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, составленный главным научным сотрудником, доктором физико-математических наук, профессором РАН Шишлениным М. А., содержит следующее замечание:

1. К числу недостатков работы можно отнести отсутствие информации о программных средствах и методах обработки экспериментальных данных.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится

диссертационная работа Кочнева К. В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор **Деревича И. В.**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры прикладной математики факультета фундаментальных наук «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах численного моделирования процессов теплопереноса при наличии фазовых переходов, построении расчётных методов и моделировании процессов сложного теплообмена. Деревич И. В. регулярно публикует статьи по тематике диссертации в рецензируемых журналах, в том числе в международных, имеет изданные монографии, а также участвует в конференциях высокого уровня.

Выбор **Семены Н. П.**, доктора технических наук, заведующего лабораторией астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» в качестве официального оппонента обосновывается его большим опытом в области численного моделирования процессов тепломассообмена в космосе, проведения экспериментальных исследований систем терморегулирования летательных аппаратов различных типов, а также исследований поведения летательных аппаратов в условиях сложного взаимодействия с различными видами течений. Семена Н.П. регулярно публикуется в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования, выступает на российских и международных конференциях. Его работы посвящены проблемам физического и математического моделирования процессов теплопереноса в КА, исследованиям особенностей и характеристик взаимодействия космического пространства с элементами летательного аппарата.

Выбор ведущей организации обусловлен тем, что АО «НПО Лавочкина» обладает уникальным многолетним опытом и компетенциями в области создания автоматических космических аппаратов для исследования Луны,

включая проектирование, испытания и эксплуатацию систем, работающих в условиях лунной поверхности. Тема диссертации, посвященная технологиям использования местных ресурсов (реголита) для строительства инфраструктуры, напрямую соотносится с перспективными направлениями деятельности предприятия, такими как разработка лунных миссий, робототехнических комплексов и систем жизнеобеспечения. Экспертность специалистов НПО Лавочкина обеспечила глубокий и содержательный анализ работы, что отражено в подробном и конструктивном отзыве, содержащем как оценку научной новизны, так и конкретные рекомендации по дальнейшему развитию методик.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** расчетно-экспериментальная методика идентификации параметров математической модели плавления сыпучих материалов для создания технологии переработки лунного реголита в конструкционные материалы;
- **предложен** новый метод определения параметров математической модели плавления сыпучих материалов на основании решения обратных задач теплопереноса;
- **разработан** алгоритм и программное обеспечение для решения обратной задачи идентификации параметров математической модели плавления сыпучих материалов;
- **доказана** перспективность использования метода решения обратных задач для повышения эффективности экспериментальных исследований применительно к созданию объектов лунной инфраструктуры.

Теоретическая и практическая значимость исследования обусловлена тем, что:

- впервые применены методы решения обратных задач теплообмена для исследования процесса плавления сыпучих материалов;
- предложена двухэтапная методика испытаний: сначала определяются теплофизические характеристики материала, а затем определяются параметры

математической модели плавления;

- созданы алгоритмические и методические средства расчетно-экспериментального исследования процессов плавления сыпучих материалов;

- разработана методика проведения тепловых испытаний для реализации разрабатываемого метода;

- разработано прикладное программное обеспечение, использованное для экспериментальной апробации метода.

- в работе предлагаются новые практические подходы, которые могут быть использованы для применения разработанных алгоритмов и экспериментальных методик к исследованию различных сыпучих материалов в технике, а также в геофизике.

- разработанная математическая модель плавления лунного реголита может быть использована для определения технических характеристик аппаратов, предназначенных для строительства объектов лунной инфраструктуры.

Оценка достоверности результатов исследования

Достоверность и обоснованность полученных результатов проведенных исследований основывается на корректности используемых общепринятых математических моделей плавления, строгости используемых математических методов обратных задач теплообмена, оценках их устойчивости и сходимости путём численного моделирования и по результатам сравнения экспериментальных данных с расчетными.

Личный вклад соискателя состоит в:

- сборе и анализе информации о лунном реголите, существующих технологиях его переработки, проводившихся ранее исследований его плавления и спекания;

- разработке стратегий тепловой обработки реголита и программирование их в ПО Ansys;

- постановке задач, формировании перечня экспериментальных исследований;

- разработке методики проведения тепловых испытаний и обработке полученных данных;

- разработке алгоритма и программного обеспечения для решения

17