

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Дудкин Константин Кириллович

**Тема диссертации:** Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта

**Специальность:** 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.**

На заседании 20 сентября 2021 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи по контактному измерению плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта, имеющей значение для дальнейших космических исследований, присудить Дудкину К.К. ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Лесневский Л.Н., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Чванов В.К.

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 212.125.08, д.т.н., профессор

Ю.В. Зуев



Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анискина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
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 20.09.2021 г. № 11

О присуждении Дудкину Константину Кирилловичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта» по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 28.06.2021 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета — № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Дудкин Константин Кириллович, 25.11.1990 года рождения, работал до августа 2021 года инженером-конструктором в акционерном обществе «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос». С декабря 2020 года, работает инженером 2 категории в федеральном



государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2014 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2018 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, академик РАН Алифанов Олег Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Космические системы и ракетостроение», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Деревич Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Прикладная математика», профессор;

Мионов Роман Александрович, кандидат физико-математических наук, акционерное общество «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А. Г. Ромашина», лаборатория комплексных исследований

конструкционных, керамических, стеклообразных и стеклопластиковых материалов, начальник сектора.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук», г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном Федоровой А.А., кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником, ученым секретарем отдела Физики планет и малых тел Солнечной системы, Семеной Н.П., доктором технических наук, заведующим отделом 524 и утверждённом Лутовиновым А.А., доктором физико-математических наук, профессором РАН, исполняющим обязанности директора ИКИ РАН, указала, что предлагаемые в работе оригинальные заглубляемые конструкции разделенного термозонда и термозонда с повышенным тепловым сопротивлением являются новыми. Они сформированы на основании анализа недостатков имеющихся конструкций и моделирования различных вариантов их тепловых состояний при нахождении в грунте Луны. Преимуществами данных конструкций перед имеющимися является то, что их применение в совокупности с предлагаемыми в работе методиками позволяют осуществить измерения теплового потока к поверхности Луны и теплофизических характеристик лунного грунта с более высокой точностью по сравнению с другими вариантами конструкции термозондов. Полученные результаты, безусловно, являются значимыми для перспективных лунных экспериментов, поскольку позволяют провести высокоточное измерение основных теплофизических свойств лунного грунта и теплового потока к поверхности Луны. Диссертация Дудкина Константина Кирилловича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по созданию методов и средств высокоточного измерения теплофизических характеристик лунного грунта и теплового потока к поверхности Луны. Полученные результаты являются актуальными, новыми, научно обоснованными, имеют высокую теоретическую и



практическую значимость. В целом диссертационная работа Дудкина Константина Кирилловича соответствует критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ общим объемом 8,2 п.л., все по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Из 10 научных работ: 5 – статьи в научных журналах, 1 – патент на изобретение, 4 – тезисы докладов конференций; 4 работы написаны автором единолично, 6 – в соавторстве.

Эти работы посвящены измерению теплофизических характеристик лунного грунта в естественных условиях; измерению плотности внутреннего теплового потока Луны проникающими термозондами; определению теплофизических характеристик лунного грунта при помощи солнечного тепла; использованию инерционных космических зондов-пенетраторов для научных исследований Луны; новой перспективной схеме термозонда. Личный вклад автора заключается в: имитационном анализе методов и схем как для измерения плотности внутреннего теплового потока Луны, так и для определения теплофизических характеристик грунта; разработке схемы перспективного термозонда, обеспечивающего повышенную точность измерений.

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

Наиболее значимые работы:

1. Дудкин К.К. Анализ возможности измерения внутреннего теплового потока Луны с помощью поверхностных термозондов // Тепловые процессы в технике. 2020. - Т. 12, №5. - С. 208–218.

2. Дудкин К.К., Алифанов О.М. Измерения плотности внутреннего теплового потока Луны проникающими термозондами // Тепловые процессы в технике. 2019. - Т. 11, №6. - С. 283–288.

3. Дудкин К.К., Алифанов О.М. Измерения теплофизических характеристик лунного грунта в естественных условиях // Тепловые процессы в технике. 2018. - Т. 10, №5. - С. 245-255.

4. Дудкин К.К., Алифанов О.М. Определение теплофизических характеристик лунного грунта при помощи солнечного тепла // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. - 2/44. - С. 74-80.

5. Дудкин К.К., Алифанов О.М., Макаров В.П. Определение теплофизических характеристик поверхностного слоя лунного грунта в естественных условиях // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. - 4/42. - С. 38-43.

6. Пат. 2714528 Российская Федерация, МПК G01K 13/00 (2006.01), E21B 47/07 (2012.01), B64G 4/00 (2006.01), G01N 25/18 (2006.01). Устройство для измерения теплофизических характеристик грунта / Дудкин К.К.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина». – № 2019119523; заявл. 24.06.2019; опубл. 18.02.2020, Бюл. № 5. – 26 с.

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

Отзыв на диссертацию официального оппонента Деревича И.В., доктора технических наук, профессора содержит следующие замечания:

1. В тексте часто указывается ошибка с точностью до десятых долей процента. В реальной ситуации это не имеет практического смысла. В указании ошибки в процентах можно ограничиться только целыми значениями, например, вместо 13.8% писать 14%.

2. При обсуждении точности расчетов, например, в пункте 3.3.3 температуры указаны с точностью четырех знаков после десятичной точки.

Это также не имеет практического смысла. Достаточно оценивать точность с двумя знаками после десятичной точки. Предел допускаемой основной погрешности измерений эталонного термометра  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ .

3. Выводы в диссертации слишком детализированы. Достаточно трех-четырёх крупных результатов, отражающих основные этапы решения проблемы.

4. Стр. 37 неудачные обозначения. Одной и той же буквой  $T$  обозначены температура и область моделирования. Нет необходимости также каждый раз приводить значение постоянной Стефана – Больцмана.

5. В граничном условии в постановке задачи 1.7.3 необходимо согласно гипотезе Фурье поставить правильный знак  $-\lambda_{\text{гр}} \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} + q_n = 0$ .

Тепловой поток пропорционален антиградиенту температуры. Аналогичное замечание и для текста автореферата.

6. В постановке задачи 2.5 необходимо записать тепловой поток в лунном грунте. Или объяснить, почему его можно не учитывать.

7. При расчете распределения температуры в слое грунта со ступенчатой аппроксимацией теплопроводности по высоте грунта Луны следовало бы решать задачу с переменной гладкой аппроксимацией коэффициента теплопроводности в уравнении. Это позволило бы обобщить возможные экспериментальные данные с более детальной картиной изменения свойств по высоте слоя грунта.

8. Метод решения обратной задачи путем «подбора» 2.7.2 является архаичным и чисто эмпирическим. Возможно, что решение обратной некорректной задачи можно было бы сформулировать в рамках минимизации функционала типа А.Н. Тихонова.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Миронова Р.А., кандидата физико-математических наук содержит следующие замечания:



1. Автор рассматривает различные конструкции датчиков теплового потока (пассивная система) и устройства-измерителя теплофизических характеристики (активная система). При постановке задачи отмечается, что рассматриваются конструкции «удобные» для использования в лунных условиях. При этом конкретные требования к весовым, габаритным и другим характеристикам не формулируются. Не понятно, какой критерий удобства рассматриваемых технических решений.

2. В работе обсуждается вопрос применения проникающего зонда стержневого типа для определения теплофизических характеристик. В качестве проверки его применимости автор сравнивает температуры в стержне и в грунте в точках, отстоящих на равное расстояние от нагревателя. Варьируя теплопроводность грунта, автор рассчитывает температуру на заданном расстоянии от зонда стержневого типа, при этом предполагается, что данная температура должна достичь значения температуры, измеряемой внутри зонда. Не ясна логика таких расчетов. Кажется, логичней было бы, варьируя теплопроводность, посмотреть ее влияние на температуру в стержне, чтобы оценить чувствительность такого датчика к варьированию теплопроводности грунта. Остается неясным, почему нельзя учесть наличие датчика в явном виде при решении обратной задачи.

3. Во второй главе диссертационной работы автор рассматривает измеритель теплофизических характеристик, основанный на нагреве поверхности грунта солнечным излучением. При этом для решения задачи было использовано представление грунта в виде набора слоев с теплофизическими свойствами, не зависящими от координат в границах каждого отдельного слоя. Для решения обратной задачи была использована процедура последовательного варьирования теплопроводности каждого из слоев, которая, вообще говоря, не обеспечивает единственность решения обратной задачи. При этом, согласно таблице 1.1. теплопроводность монотонно растет с глубиной. Поэтому более логичным кажется использовать аппроксимацию зависимости теплопроводности от координаты какой-либо



монотонной функцией с ограниченным набором варьируемых параметров (например, полиномиальной) и решать обратную задачу для однородного слоя с зависящей от координаты теплопроводностью.

4. Не ясно, почему нагрев солнечным излучением не учитывается в остальных задачах. Характерные времена колебаний величины теплового потока солнечного излучения могут быть сравнимы со временем, необходимым для установления стационарного теплового режима, при измерении теплового потока.

5. Во многих численных оценках автор опирался на данные по теплопроводности, измеренные в миссиях NASA, однако в главе 3 отмечается, что конструкция зонда, использованного для их получения, могла вносить существенные погрешности. Не логичней ли было сначала провести анализ данных погрешностей, внести возможные корректировки (или показать, что для оценок они не существенны), а потом уже использовать для анализа различных конструкций.

6. В большинстве оценок, приводимых в работе, не учитывается контактное термическое сопротивление, которое может играть существенную роль, особенно для контакта между металлом и сильнопористым материалом.

7. При анализе различных датчиков предполагается идеальность термометра, то есть не учитывались возможные погрешности, вносимые неточностью измерения температуры, особенно это актуально для методов измерения крайне малого теплового потока.

Отзыв на диссертацию ведущей организации — федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» содержит следующие замечания:

1. При разработке средств и методов измерения недостаточно использована имеющаяся информация о лунном грунте.

2. Схема и методика измерения требуют детализации и конкретизации.

3. Недостаточное внимание уделено влиянию контактного теплового сопротивления между поверхностью термозонда и грунтом при математическом моделировании. Хотя в выводах второй главы этот параметр упоминается, однако не совсем ясно, как он учитывается в моделях. Исходя из неопределенности этой характеристики, целесообразно было бы провести исследование зависимости погрешности измерения от ее уровня и, возможно, наметить пути его уменьшения при эксперименте.

4. Также целесообразно провести моделирование зависимости погрешности измерения от теплопроводности конструкции заглубляемого зонда при различной теплопроводности грунта. Это позволило бы ограничить требуемое тепловое сопротивление термозонда достаточным для решения задачи уровнем и, тем самым, дало возможность не переусложнить конструкцию термозонда.

Отзыв на автореферат диссертации Басова А.А., кандидата технических наук, начальника отделения систем терморегулирования ПАО «РКК «Энергия» содержит одно замечание:

К недостаткам приведенных в автореферате материалов следует отнести отсутствие оценки влияния вакуума на кондуктивный теплообмен грунта и зонда. Из текста реферата видно, что автор понимает проблему, но автореферат не содержит даже качественных оценок влияния фактора вакуума на конечный результат.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина», составленный Шабарчиным А.Ф., кандидатом технических наук, ведущим конструктором и утверждённый Кудрявцевым С.В., кандидатом технических наук, исполняющим обязанности генерального директора по научной работе, содержит следующие замечания:



Для более точного анализа предложенных автором схем термозондов целесообразно в продолжение выполненных исследований провести экспериментальные работы, в процессе которых необходимо:

- подтвердить работоспособность предложенных конструктивных решений;

- оценить воздействие термозонда на естественное распределение температуры в грунте и подтвердить полученные в результате численных экспериментов погрешности при определении теплофизических характеристик лунного грунта и плотности теплового потока из недр Луны.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный сотрудниками Обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН Леповым В.В., доктором технических наук, директором и Большевым К.Н., кандидатом технических наук, заведующим отделом №80 Теплообменных процессов, содержит следующие замечания:

1. В описании исследованных методов измерений разработанного автором метода не описаны используемые для определения измеряемых величин алгоритмы и способы решения обратной задачи теплопроводности.

2. Представленное исследование ограничивается численной оценкой влияния конструкции измерительных зондов на погрешность измерения, отсутствуют результаты экспериментальной проверки на эталонных дисперсных средах с известными теплофизическими свойствами. Проводились ли такие исследования, необходимые для подтверждения достоверности метода, а также оценки и подтверждения погрешности измерения?

3. Численное моделирование для определения эффективности разработанной автором конструкции термозонда представлено только результатами для модели грунта с однородными теплофизическими

характеристиками. Проводилась ли оценка эффективности разработанной конструкции для многослойной модели грунта?

4. В автореферате не приведено описание ограничений, накладываемых конструкцией измерительных модулей и условиями работы измерительных установок на Луне на применяемые методы измерения и конструкции термозондов, которое могло бы пояснить выбор конкретных предпочтений относительно указанных контактных методов измерения теплопроводности и плотности теплового потока.

5. Автореферат содержит ряд орфографических и грамматических ошибок, не затрудняющих, однако, понимание сути работы.

Отзыв на автореферат диссертации Старостина Н.П., доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Института проблем нефти и газа СО РАН - обособленного подразделения ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» содержит следующие замечания:

- На странице 32 автореферата сказано, что обратная задача по определению теплоемкости и теплопроводности грунта решалась методом подбора, что не совсем правильно отражает суть таких методов минимизации. Вероятнее всего, применялся метод последовательного анализа;

- Из автореферата неясен уровень погрешности, накладываемой на «измеренные» температурные данные при решении коэффициентной и граничной обратных задач теплообмена.

Отзыв на автореферат диссертации Завершинского И.П., доктора физико-математических наук, профессора, директора естественнонаучного института, заведующего кафедрой физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» содержит следующие замечания:



1. Количество выносимых на защиту результатов, число решаемых задач и количество основных результатов не совпадает друг с другом. Это, конечно, не критично, но можно было бы быть поаккуратнее.

2. Автореферат довольно раздут, текст занимает 36 страниц.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов», составленный Алексеевым В.А., доктором технических наук, профессором, действительным членом Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, начальником лаборатории – заместителем главного конструктора АО "НИИ ТП" и утвержденный Кострюковым В.Ф., доктором технических наук, доктором военных наук, профессором, исполняющим обязанности заместителя генерального директора по науке, содержит следующие замечания:

1. Замечание к главе 2 (стр. 19 автореферата). Наверно, посыл об использовании метода измерения ТФХ лунного грунта с помощью непосредственно солнечного тепла, как вспомогательного, недостаточно обоснован.

2. В начале автореферата автор упоминает о работах некоторых ученых по проблемам теплового состояния Луны. Однако, в этом направлении полезно было бы показать результаты достижений известных ученых и специалистов в нашей стране, особенно в части углубления положений закона Фурье применительно к естественным условиям на Луне. При этом было создано соответствующее математическое обеспечение и разработаны конкретные мероприятия для выполнения поставленных целей. Примером этого служат результаты комплексного изучения ее поверхности, выполненные изделиями Луна-16 и Луна-20 значительно ранее посещения Луны астронавтами США в 1969 году.

Отзыв на автореферат диссертации Дроздова С.М., доктора физико-математических наук, начальника НИО-8 ФГУП «Центральный

аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» содержит следующие замечания:

1. В автореферате не продемонстрирована адекватность численной модели (достаточная подробность сетки, порядок аппроксимации и тп.) сформулированной математической задаче, поскольку в расчетной области присутствуют тела с сильно (на 2-4 порядка) различающейся теплопроводностью. Некоторую неудовлетворенность вызывает и полнота анализа полученных результатов – искомая плотность теплового потока рассчитывается по показаниям виртуальных датчиков температуры без учета искажений поля температуры от зонда. Но результаты численного моделирования позволяют сделать больше - определить поправочные зависимости, которые в главном порядке способны устранить погрешность вызванную искажениями поля температуры. Если автор сумеет найти такие поправочные зависимости и определить границы их применения ценность данной диссертационной работы для практики значительно возрастет.

2. В автореферате не показано, почему проблема контактного теплового сопротивления не возникает для проникающего термозонда?

3. Вопрос эффективности контактного измерения ТФХ лунного грунта термозондами рассматривается в диссертации только с точки зрения возмущений температурного поля элементами конструкции зондов. С моей точки зрения очень сложно добиться пренебрежимо малого возмущения поля температуры путем вариации конструкции зонда при такой колоссальной разнице теплопроводности грунта и зонда. Конечно, конструкция зонда важна и предложенные автором варианты полезны (особенно вариант разделенного термозонда). Однако, как мне представляется, главная задача численного моделирования - определить поправочные зависимости, которые способны расчетным образом устранить основную долю погрешности, вызванную искажениями поля температуры.

4. Из реферата не вполне понятно, как конкретно определялись ТФХ грунта? Представленный на стр.32 алгоритм фактически описывает только



способ подбора коэффициентов теплопроводности и теплоемкости для согласования “измеренных” показаний виртуальных термодатчиков со значениями температуры в местах их установки при расчете на моделях с изолированными нагревателями. По моему мнению, таким образом получаются лишь оценки погрешности определения ТФХ грунта, вызванные предположением об отсутствии искажений температурного поля конструктивными элементами зонда. И здесь предсказуемо выигрывает конструкция разделенного термозонда. В физическом эксперименте, когда известны только температуры в нескольких точках, можно определить ТФХ по полной математической модели разработанной автором, с учетом всех перетеканий тепла, причем даже для обычного - проникающего термозонда (конструкция которого значительно проще и надежнее). В этом, по моему мнению, и заключается важный результат диссертации – математическое моделирование способно учесть основные факторы влияния измерительного устройства на результаты измерений. Имея достаточно точную матмодель можно не пытаться подогнать конструкцию датчика к одному из классических решений уравнений теплопроводности (линейный градиент температуры, точечный источник тепла и т.п.), а численно получать частные решения с учетом всех факторов и находить неизвестные ТФХ из условия минимального отклонения расчетных температур от измеренных. Советую автору обратить внимание на этот аспект его работы.

Отзыв на автореферат диссертации Павлюкевича Н.В., доктора физико-математических наук, члена-корреспондента НАН Беларуси, главного научного сотрудника Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации Сенюшкина Н.С., кандидата технических наук, исполняющего обязанности заведующего кафедрой «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Уфимский

государственный авиационный технический университет» содержит следующие замечания:

1. Объем автореферата превышает объем, рекомендованный для авторефератов кандидатских диссертаций;
2. Из работы не ясно, как учитывается и как влияет тепловое сопротивление на стыке грунт-термозонд;
3. Не ясен тип датчиков температуры, предлагаемых для термозонда;
4. Не ясно не будет ли деформация грунта для установки термозонда влиять на результаты замеров.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Самарского государственного технического университета Кудинова В.А., доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Теоретические основы теплотехники и гидромеханики» и Еремина А.В., кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации Кузнецова В.В., доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН» содержит следующее замечание:

- При проведении численных расчетов тепловых полей автор полагал равенство температур в грунте и на поверхности зонда. В действительности, при проникновении и размещении зонда существенное влияние на поле температур может оказать тепловое контактное сопротивление на границе зонд-порода, которое не позволяет использовать данное граничное условие.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Дудкина К.К., что подтверждается их научными публикациями в данной области.



Выбор Деревича И.В., доктора технических наук, профессора, в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах теплообмена. Деревич И.В. регулярно публикует статьи по теплообмену, математическим моделям теплопереноса, решению некорректных задач при нестационарных режимах теплообмена в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования.

Выбор Миронова Р.А., кандидата физико-математических наук, начальника сектора, обосновывается его большим опытом в области комплексных исследований различных свойств материалов. Миронов Р.А. проводит научные исследования в области моделирования нестационарного радиационно-кондуктивного теплообмена, а также оптических свойств материалов. Материалы этих исследований отражены в большом количестве опубликованных статей в рецензируемых российских и международных научных журналах.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук» выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений и огромным опытом в области разработки различной аппаратуры для научных исследований в космических условиях. Институт занимается разработкой различных устройств для работы с грунтом непосредственно на поверхности Луны. Коллектив института имеет большое количество учебных пособий и трудов в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом изучения тепло- и массообмена, разработки аппаратуры и различных конструкций для обеспечения проведения экспериментов на поверхности Луны.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан метод контактного определения теплофизических характеристик лунного грунта и плотности внутреннего теплового потока Луны с учетом минимизации погрешности от конструкции термозонда за счет создания высокого теплового сопротивления между нагревателем и термодатчиком;

- предложена схема перспективного термозонда, которая позволяет определять как теплофизические характеристики лунного грунта, так и плотность внутреннего теплового потока Луны; при этом погрешности от влияния термозонда сведены к минимуму, что доказано результатами имитационного численного моделирования;

- сформулированы критерии выбора схем термозондов для определения как теплофизических характеристик лунного грунта, так и плотности внутреннего теплового потока Луны;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- получены численные результаты, согласующиеся с экспериментальными данными, доказывающие важность такого фактора, как влияние термозонда на естественное распределение температуры.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработана модель перспективного термозонда высокого теплового сопротивления для измерения как теплофизических характеристик лунного грунта, так и плотности внутреннего теплового потока Луны.

- представлен сравнительный анализ различных схем термозондов, который можно использовать при дальнейшем проектировании таких приборов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:



– предложенный подход корректно согласуется с математическими моделями теплообмена и с общепринятыми методами теории теплопроводности;

– метод определения теплофизических характеристик лунного грунта и плотности внутреннего теплового потока Луны базируется на имитационном моделировании тепловых процессов; для этого использовались апробированные методики на основе метода конечных элементов; численное моделирование проводилось как в стационарной, так и в нестационарной постановке с использованием детализированных моделей изделий и высокоплотной сетки; необходимая точность численных расчетов оценивалось путем варьирования размера конечно-элементной сетки;

– достоверность предлагаемого подхода подтверждена результатами вычислительных экспериментов;

Личный вклад соискателя состоит в:

– имитационном анализе методов и схем как для измерения плотности внутреннего теплового потока Луны, так и для определения ТФХ грунта;

– разработке схемы перспективного термозонда, обеспечивающего повышенную точность измерений.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания: метод решения обратной задачи путем «подбора» является архаичным и чисто эмпирическим; возможно, что решение обратной некорректной задачи можно было бы сформулировать в рамках минимизации функционала типа А.Н. Тихонова.


Соискатель Дудкин К.К. ответил на задаваемый вопрос, приведя следующую аргументацию: в дальнейших исследованиях планируется использовать итерационную регуляризацию, которая дает аналогичные точностные характеристики, как и вариационный метод Тихонова.

На заседании 20 сентября 2021 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи по контактному измерению плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта, имеющей значение для дальнейших космических исследований, присудить Дудкину К.К. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель  
диссертационного совета  
д. техн. наук, профессор



  
Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
д. техн. наук, профессор

  
Зуев Юрий Владимирович

20 сентября 2021 г.