

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук Миронова Романа Александровича на диссертационную работу Дудкина Константина Кирилловича «Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Работа посвящена разработке методов, принципов и схем устройств измерения плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта. Значительное внимание автор уделяет минимизации погрешностей, связанных с влиянием зонда на тепловые поля. В настоящее время наблюдается повышенный интерес российской науки к изучению Луны, поэтому данная тема является своевременной и **актуальной**.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые рассмотрена такая научная проблема, как влияние погрешности, возникающей в результате воздействия конструкции термозонда на распределение температуры при измерении теплофизических характеристик грунта и внутреннего теплового потока Луны. Также в работе предложены варианты решения данной проблемы в виде конструкций термозондов, позволяющих значительно уменьшить эти погрешности .

Практическая значимость научного исследования заключается в том, что проведенный автором глубокий анализ различных схем термозондов, а также предложенные новые схемы можно использовать в дальнейшем при проектировании подобных систем. Это, в свою очередь повысит точность измерений, как плотности внутреннего теплового потока Луны, так и теплофизических характеристик грунта, что необходимо как при фундаментальном изучении Луны, так и для дальнейшего ее освоения, например при строительстве лунных баз.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«31» 08 2021г.

Достоверность и обоснованность результатов, полученных в работе, подтверждается проведенным численным имитационным моделированием. В проведенных расчетах использовались строгие методы теории теплопроводности. Численное моделирование проводилось в системе Ansys Workbench. Расчеты проводились с использованием стандартных апробированных методик на основе конечно-элементного метода. При проведении расчетов проводилось исследование сеточной сходимости моделей. Привлекаемые для расчета сторонние данные по свойствам лунного грунта и условиям постановки задачи обоснованы доступными экспериментальными данными, описанными в литературе.

К **основным научным результатам работы** можно отнести следующее:

Путем численного моделирования различных вариантов конструкций показана актуальность разработки термозондов, конструкция которых позволяет минимизировать влияние измерительного устройства на определяемые теплофизические свойства и тепловой поток. Проведенное исследование показало, что данная задача является следствием необходимости измерения малых значений теплового потока и теплопроводности, характерных для лунного грунта.

Для решения данной проблемы в работе предложено несколько схем конструкций термозондов. В частности, предложена схема с высоким тепловым сопротивлением между термодатчиком и нагревателем, которое уменьшает их взаимное влияние друг на друга. Подобная схема позволяет с более высокой точностью не только находить теплофизические характеристики лунного грунта, но и определять плотность внутреннего теплового потока Луны. Важным достоинством описанной конструкции термозонда является совмещение в одном устройстве и датчика теплового потока и устройства для измерения теплопроводности.

В целом, считаю, что представленные в работе результаты численного моделирования убедительно подтверждают состоятельность идеи,

предлагаемой диссертантом. Однако работа не лишена недостатков. В качестве таковых можно выделить следующие составляющие диссертации.

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.

Отмеченные недостатки не снижают ценности и практической значимости работы. Результаты научного исследования имеют значение для дальнейшего изучения не только Луны, но и других планет, и могут найти широкое применение при проектировании подобных термозондов.

По объему проведенной работы, значимости и уровню полученных результатов диссертация К.К. Дудкина представляет собой законченное исследование, посвящённое актуальной теме. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 — теплофизика и теоретическая теплотехника, а её автор, Дудкин Константин Кириллович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Начальник сектора лаборатории
комплексных исследований
конструкционных, керамических,
стеклообразных и
стеклопластиковых материалов
АО «ОНПП «Технология» им.
А.Г. Ромашина», к. ф.-м. н.


27.08.2021


Миронов Роман Александрович

Подпись Миронова Р.А. заверяю.
Начальник ОКА
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»



Р.А. Чуканова

Акционерное общество «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А. Г. Ромашина». 249031, г. Обнинск, Киевское шоссе, 15. Тел.: +7 484 399 68 68, E-mail: info@technology.ru.

С отзывом ознакомлен 
31.08.212.