



Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е.Жуковского
ФГУП «ЦАГИ»**

Жуковского ул. д 1, г. Жуковский, Московская область, 140180
тел.: +7 495 556-4303, факс: +7 495 777-6332, info@tsagi.ru, www.tsagi.ru
ОГРН 1025001624471, ИНН 5013009056, КПП 504001001, ОКПО 07542112

30.08.2021 № АМ 40/8-10-7296

На № _____ от _____



Ученому секретарю
Диссертационного совета
Д 212.125.08
д.т.н, профессору

Зуеву Юрию Владимировичу

Уважаемый Юрий Владимирович!

В ответ на Ваше обращение (письмо исх. 08-2021-10 от 28.06.2021) направляю, подготовленный начальником НИО-8 ФГУП «ЦАГИ», д.ф.-м.н. Дроздовым С.М., отзыв на автореферат диссертации Дудкина Константина Кирилловича - «Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Первый заместитель
Генерального директора ФГУП «ЦАГИ»

Медведский А.Л.

000659

Исп. Дроздов С.М.
Тел.: 8 (495) 556-49-21

Отдел документационного
обеспечения МАИ

« 17 » 09 2021 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дудкина Константина Кирилловича - «Контактное измерение плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Поставленная в диссертационной работе цель «Разработка методов, принципов и схем измерения плотности внутреннего теплового потока Луны и теплофизических характеристик лунного грунта» представляет собой актуальную задачу, позволяющую повысить информативность и достоверность результатов очень сложных и дорогих экспериментов по зондированию поверхности Луны, Марса и других планет (включая Землю).

К.К. Дудкин выполнил комплексную расчетно-методическую и конструкторскую работу. На основе численного моделирования теплопереноса в твердой среде с различной теплофизикой получены оценки влияния схем и конструктивных решений термозондов на результаты измерений внутреннего теплового потока Луны и ТФХ лунного грунта.

В первой главе программным комплексом Ansys проведено математическое моделирование работы термозондов различной конструкции в двух вариантах грунта - с однородными теплофизическими характеристиками и ТФХ изменяющимися по глубине. Постановка задачи для трехмерного стационарного уравнения теплопроводности выполнена традиционно и корректно. Полученные результаты физически не противоречивы и важны для практики измерений не только на Луне, но и в любом грунте, удовлетворяющем изотропной модели теплопередачи. Однако 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.

Во второй главе, с помощью имитационного численного моделирования программным комплексом Ansys, рассмотрен вопрос эффективности контактного измерения ТФХ лунного грунта термозондами двух типов -

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«17» 09 2021г.

заглубляемыми и незаглубляемыми. В автореферате подробно рассмотрены только проникающие термозонды, а незаглубляемые остывающие термозонды забракованы по причине неизвестного теплового сопротивления на контакте термозонда и грунта. Однако в автореферате не показано, почему проблема контактного теплового сопротивления не возникает для проникающего термозонда? Вообще вопрос эффективности контактного измерения ТФХ лунного грунта термозондами рассматривается в диссертации только с точки зрения возмущений температурного поля элементами конструкции зондов.

Так возмущение температуры для термозонда с отделяемым нагревателем оказалось 3.1°C , а с неотделяемым 4.3°C (замечу, что применение размерных величин не позволяет делать общие выводы для другой комбинации параметров задачи). Выигрыш 1.2°C не впечатляет, и понятно почему – разрыв прямой связи датчиков с нагревателем не устраняет влияния оставшейся части зонда на поле температуры в грунте. 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.

В главе-3 предложена и численно исследована конструкция разделенного термозонда, основная идея которой – создать настолько высокое тепловое сопротивление между нагревателями и термометрами, чтобы исключить их влияние друг на друга. Результаты численного моделирования показали, что заявленная цель почти достигнута с помощью весьма сложной конструкции термозонда. Это несомненное достоинство защищаемой автором конструктивной схемы. Однако имеются вопросы по адекватности численной модели физической реальности. Например, используются адиабатические граничные условия на стенках расчетной области (что эквивалентно периодическому продолжению решения), но как тогда решать задачу об определении внутреннего теплового потока Луны не удовлетворяющего принципу периодичности? Используемые неструктурированные сетки (рис.13) очень грубые, особенно с учетом огромной разницы теплопроводности тел входящих в задачу.

Из автореферата 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 получают 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 подгонять 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.

В целом представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, соответствует требованиям ВАК, а ее автор достоин присуждения звания кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Начальник НИО-8 ФГУП «ЦАГИ»,
д.ф-м.н.
т.84955564921

Сергей Михайлович Дроздов

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е.
Жуковского»; ФГУП «ЦАГИ»
140180 Московская обл., г. Жуковский,
ул. Жуковского, д. 1
(495) 556-40-00, факс: (495) 777-63-32, e-mail: info@tsagi.ru

Подпись Дроздова Сергея Михайловича заверяю:

Первый заместитель
генерального директора
ФГУП «ЦАГИ»



Медведский А.Л.