

## ОТЗЫВ

о диссертации Г.Н. Середы "Физическое и математическое моделирование теплообмена в керамических конструкционных материалах"

Актуальность темы диссертации Г.Н. Середы обусловлена, с одной стороны, возросшими потребностями авиационной и ракетной техники в расширении исследований теплопереноса в новых керамических материалах радиопрозрачных антенных обтекателей в сторону высоких температур, а с другой – очень малым количеством работ, в которых подобные исследования могут быть выполнены вплоть до 1700 К. Диссертационная работа проводилась в соответствии с тематическими планами НИР, выполняемых в ОНПП "Технология" в период с 2000 по 2014 год при поддержке Росавиакосмоса и Минобрнауки РФ.

Сложность решаемой диссертантом задачи состояла не только в существенном расширении температурного интервала исследований. Дополнительными проблемами являлись необходимость проводить исследования на образцах, изготовленных из припусков антенных обтекателей или из образцов-свидетелей, что накладывало большие ограничения на форму и размеры. Кроме того, метод исследований должен был обеспечивать кратковременное проведение эксперимента для предотвращения изменения структуры керамик, осуществляться с минимальными затратами по стоимости и продолжительности подготовки образцов при сохранении высоких требований к достоверности получаемых результатов.

Со всеми этими проблемами диссертант успешно справился. Научная новизна работы заключается прежде всего в том, что впервые разработан оригинальный метод исследования коэффициента теплопроводности на основе быстрого одностороннего нагрева плоского образца в условиях линейного по времени изменения температуры нагреваемой поверхности и решения обратной коэффициентной задачи теплопереноса. Несмотря на то, что при создании нового метода диссертант воспользовался программой решения обратной задачи теплопроводности, созданной в МГТУ им. Н.Э. Баумана, детальная разработка метода исследований потребовала от него больших усилий по выработке подходов к использованию этой программы в конкретных условиях выбора оптимального режима нагрева, размера образцов, темпов нагрева и других параметров эксперимента. Важное значение имеет разработанная диссертантом модель сопряженного радиационно–кондуктивного теплообмена в созданном им стенде радиационного нагрева, позволившая выбрать наиболее подходящие режимы исследований с учетом возможностей испытательного оборудования.

Стенд не только дал возможность расширить температурный диапазон исследований в область от 1100 до 1700 К. При его создании был разработан и реализован ряд новых технических решений. Среди них необходимо отметить оригинальный образец для исследований, представляющий собой набор стержней сечением  $7*7$  мм<sup>2</sup>, и размещение термопар в тонких горизонтальных пазах.

С помощью разработанной методики и созданного стенда в работе исследован коэффициент теплопроводности трех видов новых керамик для антенных обтекателей на основе оксида и нитрида кремния.

Значительное внимание уделено в работе анализу достоверности получаемых результатов. Разработаны модели и алгоритмы определения погрешностей измерения температуры термопарами, и проведен большой комплекс расчетов, позволивших найти оптимальные условия измерений и повысить точность определения параметров теплопереноса за счет правильного выбора количества термопар и мест их установки. Достоверность получаемых результатов подтверждена их хорошим согласием с имеющимися результатами, полученными традиционными методами в доступной для них температурной области.

Разработанный новый метод измерений и полученные результаты имеют не только важное научное, но и большое практическое значение. Существенное (более чем в 100 раз) сокращение времени эксперимента обеспечивает сохранение структуры и состава исследуемых керамик в том виде, как это необходимо по условиям их работы, и тем самым дает возможность конструкторам надежно выполнять тепловые расчеты.

К сожалению, в диссертации Г.Н. Середы имеются некоторые недоработки и неточности.

В частности, в диссертации отсутствуют сведения об использованных данных по температурной зависимости теплоемкости и плотности изучаемых керамик, которые нужны для определения коэффициента теплопроводности. Не сделано оценки влияния погрешности в таких данных на результаты расчета коэффициента теплопроводности. Отсутствуют также данные по составу, структуре и пористости исследованных образцов керамик.

В разработанном методе исследований молчаливо предполагается, что перенос тепла излучением внутри керамик можно описать с помощью приближения радиационной теплопроводности и тем самым получить данные по суммарному (кондуктивному и радиационному) коэффициенту теплопроводности. Это предположение может быть справедливо только при наличии сильного рассеяния в области полупрозрачности. Вопрос о величине коэффициента рассеяния в исследованных материалах в диссертации не рассмотрен.

В работе мало информации о работе системы сбора данных при получении результатов для трех исследованных материалов. Следовало бы привести количество используемых датчиков, частоту переключения каналов, характеристику АЦП, подготовку полученных данных для проведения расчетов и другие подробности.

В оформлении диссертации и автореферата имеется ряд досадных неточностей.

Указанные неточности и недоработки, однако, не меняют общей высокой оценки диссертации. Оценивая диссертацию в целом, можно считать, что она является завершенной научно-исследовательской работой, в которой впервые детально, достаточно полно, на современном уровне осуществлено физическое и математическое моделирование теплопереноса в керамиках антенных обтекателей при нагреве их поверхности в условиях линейного изменения температуры и на основе решения обратной задачи уравнения теплопроводности разработан новый оригинальный метод измерения коэффициента теплопроводности.

Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на отечественных и международных конференциях, достаточно полно опубликованы в научной печати и получили одобрение специалистов.

Автореферат правильно отражает основное содержание и выводы диссертации.

Считаю, что работа Г.Н. Середы "Физическое и математическое моделирование теплообмена в керамических конструкционных материалах" по своей новизне, научной и практической значимости, обоснованности основных выводов и рекомендаций соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14-"Теплофизика и теоретическая теплотехника".

Официальный оппонент

д.т.н., проф.



21.04.2015

Петров В.А.

Сведения об официальном оппоненте:

Петров Вадим Александрович, профессор Московского государственного университета информационных технологий, радиотехники и электроники 119454, Москва, проспект Вернадского, 78, тел. 8-495-434-94-54, E-mail: vapetrov@mirea.ru

Подпись В.А. Петрова удостоверяю:

Ученый секретарь МИРЭА



Булгаков С.В.