

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Рулёвой Евгении Валерьевны

«Теоретическое и экспериментальное исследование влияние массового уноса

на тепловую защиту при пульсации газового потока»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертационная работа Рулёвой Е.В. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию влияния малых энергетических возмущений (МЭВ) на тепловую защиту при периодических возмущениях газового или жидкого потока. С экспериментальной стороны исследования касаются разработки установок и методик исследования влияния колебаний параметров в газе или жидкости, являющимися либо пульсациями во вдуваемом охлаждающем потоке, либо вызванных вибрацией самого теплозащитного покрытия. С теоретической стороны исследования представляют собой модификацию физико-математических моделей (модели Гришина-Якимова для неразрушающегося теплозащитного покрытия при пульсациях газа и модели Гришина для разрушающегося теплозащитного покрытия при пульсациях газа и вибрации самого покрытия). Модификации включают в себя учет пульсаций газового потока. Численные исследования, проведенные на основе модифицированных физико-математических моделей, имеют своей целью выявление базовых физических механизмов процессов, что производится автором диссертации методом сравнения экспериментальных и численных данных. Акцент сделан на изучение влияния малых энергетических воздействий (МЭВ), на качественное сравнение поведения экспериментальных и численных кривых, отдельные участки которых могут быть объяснены рассматриваемыми физическими механизмами. Проблематика диссертации связана с задачей обеспечения безопасного спуска летательного аппарата, движущегося с космической скоростью, которая включает задачу обеспечения теплозащиты аппарата. Данная проблематика находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (п. 7.

Транспортные и космические системы) и связана с разработкой критических технологий РФ (24. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения). Поэтому данная работа, несомненно, является актуальной.

Научная новизна работы обоснована. Однако оппоненту особо хочется отметить следующие пункты.

1. Разработаны экспериментальные стенды с прилагающимися к ним методиками проведения испытаний как для продольных, так и для тангенциальных вибраций.

2. Получены новые экспериментальные результаты, позволяющие повысить степень тепловой защиты при различных режимах пульсаций в газовом потоке.

3. Экспериментально исследованы случаи ламинарного, переходного и турбулентного режимов.

4. Модифицированы две модели (Гришина и Якимова-Гришина) для описания влияния пульсаций газа и вибрации покрытия на процессы теплозащиты. Модификация заключается в учете периодических возмущений в газа в виде аналитических выражений для различных физических параметров.

5. С помощью модифицированных моделей показано, что заложенные в них физические механизмы, имеющие в основном газодинамическую природу, качественно определяют картину процессов теплозащиты.

Практическая значимость работы связывается, прежде всего, с новыми конструктивными особенностями перспективных летательных аппаратов, обоснованием способов теплозащиты в процессе их взлета и посадки, при их маневрировании. Особую практическую значимость имеет экспериментальная часть работы, касающаяся разработанных стендов и методик для проведения экспериментальных испытаний.

Апробация работы. Результаты работы опубликованы в 4 статьях из списка ВАК и 4 патентах.

Структура диссертации состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 123 наименований, титульных листов патентов (всего 134 стр. текста). Введение (10 стр.) содержит краткое изложение выносимых на защиту положений. Первая глава (22 стр.) обзорная, отмечается важность пористых разрушающихся и неразрушающихся материалов в качестве средств тепловой защиты, акцентирует внимание на значительном влиянии МЭВ на качество теплозащиты. Вторая глава (32 стр.) посвящена описанию разработанных диссертантом физико-математических моделей, а также полученных на их основе результатам. Третья глава (38 стр.) посвящена описанию разработанных экспериментальных стендов для исследования влияния МЭВ и методик определения характеристик теплообмена. Четвертая глава (11 стр.) посвящена изучению эффективности охлаждения головной части при воздействии тангенциальных вибраций. Заключение на двух страницах суммирует выводы по работе.

Представленная диссертационная работа, судя по перечисленным фрагментам, достаточно результативная. Результативные части (2-4 главы) преобладают по объему над обзорной главой.

Достоверность полученных результатов обоснована применением математически обоснованных численных методов; тестированием результатов вычислений на различных сетках, учетом широкого спектра физических явлений, сопоставлением теории и эксперимента, грамотными инженерными решениями при разработке экспериментальных стендов.

Важно подчеркнуть, что работа Рулёвой Е.В. занимает «*определенную нишу*» в данной области среди "теоретиков" и "экспериментаторов": работа характеризуется союзом теории и эксперимента. Несмотря на относительную упрощенность предлагаемых теоретических моделей, они позволяют качественно описывать экспериментальные данные и формировать дальнейшие задачи экспериментального исследования для широкого класса МЭВ.

В целом данная работа разбивается на две концептуальные части. Первая часть содержится во второй главе и имеет своей целью выявление базовых

физических процессов, связанных с влиянием МЭВ в виде пульсаций газового потока. В качестве исходных математических моделей для пористых покрытий используются модели Полежаева, Гришина-Якимова (для неразрушающегося покрытия) и модель Гришина (для разрушающегося покрытия). В исходных моделях не учитывается периодичность физических процессов. В математической модели Полежаева диссертант учитывает аналитические гармонические зависимости для коэффициента теплопроводности и скорости пульсаций газа охладителя, в модели Гришина-Якимова включает аналитическое выражение для дополнительного переноса тепла в пронизываемом теле при пульсациях газового потока, а также учитывает пульсации в выражении для вязкости; в математическую модель Гришина, применимую к случаю с наличием пульсаций в потоке газа охладителя и вибрации стенки, аналогичным образом задает выражение для вязкости с учетом возмущений, а также - пульсирующий конвективный тепловой поток с модификацией для вибрационного течения в пограничном слое. В качестве давления используются экспериментальные значения показаний датчиков на защищаемой поверхности. В результате расчетов получается поле температур на защищаемой поверхности, которое диссертант сравнивает с экспериментом. Наблюдается качественное совпадение с экспериментальными кривыми в смысле немонотонного поведения внешней температуры поверхности от частоты МЭВ. Количественное отклонение, как сказано в работе [2] автореферата (из списка работ, опубликованных по теме диссертации), составляет 20-30%. Достоинством данных моделей является учет широкого спектра явлений – химических реакций, термовязкости, газодинамики, уноса массы и т.д. Модифицированные модели представляют ценность как в качестве позволяющих выявить управляющие физические процессы.

Вторая часть работы является экспериментальной, при этом содержит как описание разработанных экспериментальных стендов и методик, так и результаты экспериментальных измерений. Показано, что степень влияния пульсаций газа на относительную тепловую функцию выше, чем вибраций стенки, и существенно зависит от расхода газа- охладителя. Созданные стенды позволяют осуществлять как нормальные, так и тангенциальные вибрации. Несомненным достоинством разработанных стендов является их многофункциональность. Показано, что

вибрации покрытия могут как интенсифицировать, так и ослаблять процесс теплообмена, исследовано влияние различного типа вибраций для различных материалов.

Перед критическими замечаниями хотелось бы выделить несколько наиболее важных выводов в данном исследовании.

1. Методом численного моделирования на основе модифицированных моделей показана определяющая роль газодинамических механизмов, действие которых инициировано МЭВ, для качества теплозащитного пористого покрытия; объяснен немонотонный характер зависимости температуры покрытия от частоты пульсаций.

2. Разработаны многофункциональные экспериментальные стенды и методики, прилагающиеся к ним, по изучению вибраций в различных направлениях.

3. Экспериментально изучены конкретные случаи при различных МЭВ. В частности, исследованы эффективность покрытий из материалов "стеклопластик" и "углепластик"; показана эффективность воздействия тангенциальных вибраций при воздействии на головную часть ЛА.

По диссертации следует сделать ряд замечаний.

1. Замечание вызвано наличием материала обзорного характера, раскиданного в главах, посвященных результатам диссертанта. Было бы неплохо весь его вынести в обзорную главу. Кроме того, хотя список работ, в которых опубликованы основные результаты, присутствует в диссертации, имело бы смысл в каждой главе указать, в каких именно работах опубликованы результаты данной главы.

2. Вопрос к первому и второму параграфу второй главы. Каким образом определялась частота пульсаций при расчетах по модели Полежаева в первом параграфе и их интенсивность при расчетах по модели Гришина-Якимова во втором параграфе и с какими погрешностями? Имеются в виду нумерованные

формулы на стр. 40 диссертации перед формулой (2.1.10) и формула для частоты на стр. 50, в которую входит интенсивность.

3. Многие детали не объяснены и не конкретизированы должным образом. Нет количественного сравнения результатов расчета по исходным моделям с их модификациями, нет количественного сравнения результатов, полученных по модифицированным моделям, с экспериментальными данными ни в виде линий на одной координатной плоскости, ни в виде таблиц. Для того, чтобы понять, в чем именно заключались эти модификации, диссертант предлагает изучить работы в списке литературы и все. Из этих работ следует, что модификации диссертанта заключались в основном во введении аналитических гармонических зависимостей в выражения для тепловых потоков и вязкости. Кроме того, число 20-30%, характеризующее отличие от экспериментальных данных, приведено в публикации автора [2] (из автореферата), но не в автореферате и не в диссертации. На чертежах экспериментальных стендов не указан пространственный масштаб.

4. Напрашиваются сравнения с расчетами и моделями других авторов, кроме научных руководителей. Кроме того, нет аналогичного сравнительного анализа для разработанных экспериментальных стендов.

5. Есть методические погрешности. Так, некоторые выводы по главам излишне общи, например, на стр.69 «2. Модифицирована математическая модель Гришина–Якимова[14] для идентификации данных эксперимента в системах пористого охлаждения при наличии пульсаций газа-охладителя.» явно требует конкретизации. Также нехорошо, что математические модели в автореферате сплошь и рядом появляются без предварительного описания моделируемой системы и ее состава. Мы привыкли, что сначала описывается моделируемая система и ее физические свойства, а не математическая модель, применяемая неизвестно к чему.

Автореферат соответствует диссертации и достаточно полно отражает ее содержание.

Несмотря на сделанные замечания, представленная диссертационная работа Рулёвой Евгении Валерьевны «Теоретическое и экспериментальное исследование влияния массового уноса на тепловую защиту при пульсации газового потока»

заслуживает общей положительной оценки. Представленная диссертация является законченным научным исследованием, позволяющим с помощью численного исследования выявить управляющие физические механизмы для разрушающихся и неразрушающихся покрытий, содержит новые данные, полученные экспериментальными и численными способами, обладает научной новизной и актуальностью. Представленная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

Официальный оппонент – старший научный сотрудник лаборатории 4. Физика быстропротекающих процессов, Научно-исследовательский сектор «Горение в газовых потоках» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук

Доктор физико-математических наук
(01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы)

Доцент

Калинина Анна Павловна

Служебный адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук

e-mail: kalinina@itam.nsc.ru,

сайт организации: <http://www.itam.nsc.ru>

служебный телефон: (383) 330-42-68

Подпись А.П. Калининой заверяю:



А.П. Калинина
21.03.2016