

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Зубко Анны Александровны на тему «Тепло – и массообмен на каталитически активной поверхности высокоскоростного летательного аппарата планирующего класса», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 (Теплофизика и теоретическая теплотехника)

В настоящее время создание высокоскоростных летательных аппаратов планирующего спуска относится к числу приоритетных проблем проектирования изделий ракетно-космической техники. При этом важное место в процессе решения этой задачи занимают вопросы, связанные с точностью определения интенсивности тепловой нагрузки, подводимой к поверхности изделия данного класса, так как от повышения качества решения этой задачи напрямую зависит оптимизация массовых характеристик изделия. В связи со сказанным, вопросам, исследованию которых посвящена диссертация, уделяется повышенное внимание в большинстве организаций, связанных с созданием современных и перспективных изделий ракетно-космической техники.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих в процессе проектирования изделий указанного класса, является изучение возможности снижения тепловой нагрузки, подводимой к поверхности изделия, за счет использования теплозащитных материалов, поверхность которых, обтекаемая потоком воздуха, обладает достаточно низкими каталитическими свойствами. В этой связи актуальность диссертационных исследований, выполненных А. А. Зубко, не вызывает никаких сомнений.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

03 12 2020

Данная диссертация содержит в своем составе введение, 5 глав и заключение.

Во введении подробно излагаются вопросы, связанные с актуальностью исследований, проведенных в данной диссертации. Здесь четко формулируются все основные атрибуты помещенных в диссертацию результатов исследований,

которые позволяют рассматривать эту работу как законченное научно-техническое исследование:

- цель проведения исследований и задачи, которые решены для ее обеспечения;
- объект, предмет и методы исследований;
- научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы,
- степень ее апробации.

Здесь же формулируются основные положения, выносимые на защиту, приведен список публикаций автора по теме диссертационных исследований и подробно описана структура диссертации.

Первая глава диссертации посвящена аналитическому обзору проблемы, связанной с качественным определением интенсивности теплового нагружения поверхности высокоскоростного летательного аппарата, летящего длительное время в плотных слоях атмосферы Земли.

Здесь подробно рассмотрен весь круг сложных физико-математических и физико-химических проблем, стоящих при проведении исследований рассматриваемого класса, включая физико-математическое описание:

- термодинамического и химического состояния высокотемпературного воздуха в химически активном пограничном слое;
- тепло – и массообмена в пограничном слое на стенке, характеризующейся конечной каталитичностью;
- влияния турбулентности на теплообмен в химически активном пограничном слое.

Материал, помещенный в первую главу диссертации, свидетельствует о глубоком понимании автором всего круга основных проблем, изучаемых в диссертации.

Вторая глава диссертации посвящена изложению основных аспектов проблемы, связанных с исследованием гетерогенного катализа, протекающего на поверхности тепловой защиты, обладающей конечной каталитичностью.

Здесь приводится подробное изложение:

- основных физико-химических факторов, от которых зависит скорость протекания гетерогенных каталитических процессов:
- механизма протекания гетерогенных каталитических реакций;
- влияния, оказываемого на каталитические свойства тепловой защиты микронеровностью ее поверхности;
- влияния, оказываемого условиями эксплуатации тепловой защиты на степень снижения теплового потока, проходящего в стенку, за счет конечной скорости протекания гетерогенных каталитических реакций.

По материалам, изложенным в двух первых главах рецензируемой диссертации, необходимо сделать ряд замечаний.

Современное состояние науки, связанной с изучением гомогенных химических реакций и ламинарного режима течения газа в ударном слое, характеризуется достаточно высоким уровнем, которому, в частности, соответствует данная диссертация.

В то же время пока не существует качественного научного описания ни гетерогенных физико-химических превращений, ни турбулентного теплопереноса. Вследствие этого на практике приходится использовать некоторые гипотезы и соответствующие им полуэмпирические модели расчета, описывающие протекание этих процессов и использующие некие произвольные константы, значения которых устанавливаются на базе некоторого круга экспериментальных исследований.

В этих условиях, конечно, утверждения автора о том, что скорости протекания гетерогенных физико-химических превращений могут быть определены в рамках теории твердого тела, на наш взгляд представляются необоснованными.

Третья глава диссертации посвящена изложению используемой автором постановки задачи о тепло – и массообмене на головной части высокоскоростного летательного аппарата, поверхность которого обладает конечной каталитичностью, и включает в себя описание:

- уравнений сохранения массы, количества движения, полной энергии, массы отдельных веществ и энергии поступательных движений частиц различных мод;
- уравнения состояния;
- подхода к расчету вязких напряжений, тепловых и диффузионных потоков, сформулированного для течения ньютоновской жидкости в рамках гипотезы Стокса и модифицированной формулы Фика, обеспечивающей равенство нулю суммы диффузионных потоков массы всех веществ газовой смеси, обладающих различными коэффициентами диффузии;
- подхода к расчету переносных свойств газовой смеси, допускающего применение как метода решения данной задачи, основанного на литературных данных по свойствам отдельных веществ в совокупности с методом Уилке, так и метода Гупта, представляющего собой приближение к методу Чепмена - Энскога первого порядка;
- подхода к расчету конечных скоростей гомогенных химических реакций, протекающих в неравновесном пограничном слое;
- подхода к расчету обмена энергии между различными модами;
- формирования граничных условий на стенке, обладающей конечной каталитичностью.

Здесь также приводится пример решения типичной задачи, выполненной в рамках сформулированной постановки задачи для головной части высокоскоростного летательного аппарата, поверхность которого обладает конечной каталитичностью.

Оценивая материалы, помещенные в данную главу рецензируемой диссертации, отметим, что в целом сформулированная автором физико-математическая постановка задачи соответствует сегодняшнему уровню развития данного научного направления. В частности, это относится к использованию в работе описанного в литературе подхода к учету процессов обмена энергией между различными степенями свободы. Вследствие этого результаты рас-

четных исследований, полученные с ее использованием, представляют значительный интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

В качестве замечаний к материалам третьей главы отметим следующее:

- автором не использована возможность расчета переносных свойств воздушной газовой смеси методом Гиршфельдера, который соответствует второму приближению теории Чепмена – Энскога и расчета диффузионного массопереноса в рамках уравнений Стефана - Максвелла;
- отсутствует четкое изложение вычислительного алгоритма, используемого автором для получения решений сформулированной крайне сложной в вычислительном плане задачи.

Четвертая глава диссертации посвящена формулировке приближенной модели расчета теплообмена на стенке, обладающей конечной каталитичностью, основанной на использовании алгебраических критериальных зависимостей.

Здесь отмечается, что необходимость создания указанной модели расчета была связана с тем, что:

- наличие расчетной модели, позволяющей оперативно получать информацию о роли, которую играет степень каталитичности стенки в проникающем в нее тепловом потоке, исключительно важно с точки зрения практических приложений;
- проведенный с участием автора критический анализ вывода широко используемой для этих целей на практике алгебраической критериальной зависимости Р. Гуларда показал недопустимость использования лежащего в ее основе допущения;
- создание модификации этой модели имеет большое прикладное значение.

В этой связи в четвертой главе диссертации приведены результаты исследований, связанных:

- с критическим анализом вывода соотношения Р. Гуларда;

- с модификацией этого соотношения;
- со сравнением результатов расчетов, полученных различными авторами, с результатами соответствующих экспериментальных исследований, которое показало как удовлетворительное согласование результатов расчетных и экспериментальных исследований, соответствующее применению предложенной модификации соотношения Р. Гуларда, так и существенное повышение точности расчетов, достигнутого благодаря этой модификации.

Оценивая результаты приведенных в этой главе исследований, можно констатировать:

- важность предложенной модификации соотношения Р. Гуларда с точки зрения практических приложений;
- создание данного инженерного метода расчета придает замкнутый характер материалам исследований, проведенных автором в части создания эффективных методов расчета теплообмена на поверхности высокоскоростных летательных аппаратов, поверхность которых характеризуется конечной каталитичностью.

Пятая глава диссертации посвящена изучению важной с практической точки зрения проблемы, связанной с возможностью повышения стойкости углеродных композиционных материалов по отношению к аэродинамическому нагреву, термохимической и механической эрозии.

Эта глава диссертации содержит в своем составе описание:

- прогноза разработки термостойких систем тепловой защиты высокоскоростных летательных аппаратов на основе углеродных композиционных материалов, которые на сегодняшний день наиболее широко используются в ракетно-космической технике для изготовления наиболее теплонапряженных элементов конструкции высокоскоростных изделий;
- анализа влияния химического состава набегающего потока на каталитические свойства тепловой защиты;

- предложенного и запатентованного МАИ метода формирования на поверхности УУКМ термостойких композиционных покрытий с необходимыми каталитическими свойствами;

- методов исследования гетерогенного катализа.

Здесь же приведены полученные результаты экспериментального определения каталитических свойств, которыми обладает ряд созданных по методике МАИ высокотемпературных покрытий различного химического состава.

Материалы исследований, приведенные в этой главе диссертации, бесспорно представляет значительный интерес для предприятий, создающих современные углеродные материалы различного применения. В то же время необходимо отметить следующие обстоятельства.

Во-первых, в связи с малым размером на стендах высокотемпературного набегающего потока, в процессе проведения экспериментов в струях газодинамических установок практически невозможно воспроизведение характера распределения силовых и тепловых нагрузок по поверхности летательного аппарата.

В процессе проведения таких экспериментов можно решать задачу обеспечения локального моделирования указанных нагрузок, да и то лишь для отдельных крайне ограниченных зон поверхности летательного аппарата. В то же время стойкость противоокислительных пленок к тепловым и силовым нагрузкам существенно зависит от их пространственного распределения по поверхности изделия.

Во-вторых, использование рассмотренной в диссертации технологии весьма проблематично с точки зрения возможности ее применения при создании современных высокоскоростных летательных аппаратов, имеющих большие геометрические размеры.

Я полностью согласен со сформулированным автором заключением к диссертации.

Обоснованность возможности применения созданных автором методов расчета теплообмена на каталитической стенке базируется на большом объеме проведенных расчетных и экспериментальных исследований.

Данная диссертация, конечно, не лишена определенных отмеченных в данном отзыве недостатков.

Несмотря на высказанные замечания, считаю, что данная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Зубко Анна Александровна, бесспорно заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 (теплофизика и техническая теплотехника).

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации

Главный научный сотрудник, д.т.н., профессор  В. В. Горский

02.12.2020

Подпись Горского Валерия Владимировича заверяю

Ученый секретарь НТС предприятия



Л. С. Точилон

С отрывком официального оппонента ознакомлена.

Проф. Зубко А.А.1
02.12.2020