



**НПО  
ЛАВОЧКИНА**

Акционерное общество  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»  
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566  
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspace.ru, www.laspace.ru

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Учёному секретарю диссертационного совета  
ДС 212.125.08 при ФГБОУ ВО «Московский  
авиационный институт» (национальный  
исследовательский университет)  
доктору технических наук, профессору  
Ю.В. Зуеву  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4, МАИ

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель генерального директора  
по научной работе,  
доктор технических наук, профессор



С.Н. Шевченко

« 11 » 12 2020 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зубко Анны Александровны «Тепло – и массообмен на каталитически активной поверхности высокоскоростного летательного аппарата планирующего класса», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Обеспечение теплового режима высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА), движущихся в плотных слоях атмосферы, является сложной научно-технической задачей, решение которой при больших скоростях полета обусловлено сложностью физико-химических процессов,

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 18 » 12 2020

протекающих у поверхности аппарата в высокотемпературном ударном слое.

Тепловая защита таких ЛА функционирует при обтекании газовым потоком при значительных величинах давления и температуры газовой среды. Физико-химические процессы, протекающие возле аппарата, сопровождаются значительным уносом массы с поверхности теплозащитного материала, что приводит к изменению формы и аэродинамических характеристик аппарата. Поэтому необходимы разработка соответствующих методик и программ расчета, экспериментальных методов, позволяющих исследовать совокупность процессов, протекающих на поверхности обтекаемых газом конструкций ЛА.

В связи с вышесказанным тема диссертации А.А. Зубко, посвященной расчетно-экспериментальному исследованию процессов тепло – и массообмена в высокотемпературных газовых средах, проходящих на каталитически активной поверхности ЛА является актуальной.

В диссертации Зубко А.А., судя по автореферату, разработана математическая модель гетерогенного взаимодействия реагирующих газовых смесей с поверхностью ЛА, учитывающая процессы тепломассообмена в рамках теории пограничного слоя, возникающего возле обтекаемой поверхности аппарата. В рамках предложенной модели в сложной комплексной постановке учтены особенности и специфика протекания высокотемпературных физико-химических процессов в пограничном слое у поверхности. Модель позволяет определять тепловые нагрузки к каталитически активной поверхности ЛА как для ламинарного, так и для турбулентного режимов течения газа, что свидетельствует о практической значимости диссертации при решении задачи тепловой защиты высокоскоростных ЛА.

В рамках предложенной математической модели для конкретных, практически значимых условий в набегающем потоке (высоты ~ 60 и 75 км, скорости полета в пределах от 2.4 до 7.8 км/с) для ЛА конической формы со сферическим затуплением исследован широкий диапазон скоростей

гетерогенных реакций в пределах от 0.01 до 100 м/с, характеризующих каталитическую активность материала поверхности ЛА. Представлен подробный газодинамический и тепловой анализ полученных результатов, выявлены важные для практического применения особенности влияния на теплообмен у поверхности значений высоты и скорости полета ЛА, а также каталитической активности обтекаемой поверхности.

Проведена коррекция известных, применяемых в практике расчетов тепловых нагрузок на ЛА инженерных моделей, позволяющая уточнить значения тепловых потоков в точке полного торможения газового потока и по обводу поверхности аппарата. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с привлечением экспериментальных данных, подтвердивший правильность разработанного подхода, полученных результатов и выводов.

Важными, на наш взгляд, для практики проектирования тепловой защиты ЛА являются представленные в работе результаты, относительно улучшения свойств теплозащитных материалов путем нанесения на их поверхность тонких термостойких покрытий с заданными каталитическими свойствами. Это показано на примере широко применяемых в космической технике углерод-углеродных композиционных материалов.

Приведен методический подход к исследованию каталитических свойств теплозащитных систем с применением экспериментальных установок с высокочастотными плазмотронами. Показаны возможности экспериментального решения ряда газотермодинамических задач при испытании теплозащитных материалов с определением их каталитических свойств.

Представленные в диссертации теоретические и экспериментальные исследования характеризуются как научно обоснованные, обеспечивающие решение сложной научно-технической задачи в космической технике.

Достоверность полученных в диссертации результатов, судя по автореферату, подтверждается строгостью физико-математической

постановки решаемых задач, апробацией работы на научно-технических конференциях, публикацией результатов работы в известных, в том числе рецензируемых научных изданиях, удовлетворительным соответствием результатов, полученных в диссертации, с результатами, полученными по другим расчетно-экспериментальным методам.

По материалам, представленным в автореферате, имеются следующие замечания:

1. В разработанной в рамках теории пограничного слоя математической модели было бы полезно, наряду с рассматриваемыми процессами, учесть перенос тепла излучением в газовой среде, учитывая высокие температуры, достигаемые в ударном слое у поверхности аппарата, реализуемые, например, для скоростей входа ЛА порядка 2-й космической.

2. В диссертации подробно рассмотрена и исследовалась воздушная газовая смесь. Вместе с тем, наряду с этой газовой средой было бы полезно рассмотреть газовую смесь, состоящую в основном из двуокиси углерода, соответствующей атмосферам Марса и Венеры. Это придало бы работе большую практическую значимость.


3. Материал автореферата диссертации представлен излишне лаконично. Нет информации о численном методе, используемом при проведении расчетов, особенностях вычислительного алгоритма, не приведены данные об используемых ресурсах ЭВМ и среде разработки программы, времени счета конкретных вариантов и др. Мало информации об экспериментальной части работы, отсутствуют данные о методике экспериментов, используемых экспериментальных установках.

Отмеченные недостатки не снижают научный уровень работы.

На основании материалов, представленных в автореферате, следует вывод о том, что диссертационная работа А.А. Зубко «Тепло – и массообмен на каталитически активной поверхности высокоскоростного летательного аппарата планирующего класса» выполнена на высоком научном уровне, содержит решение актуальной научной задачи – разработки математической

модели, методов и средств расчетно-экспериментального исследования процессов тепло – и массообмена, протекающих на каталитически активной поверхности ЛА, необходимых при разработке тепловой защиты ЛА. Диссертация соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Зубко Анна Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Начальник отдела 516  
АО «НПО Лавочкина»



С.Н. Устинов

Ведущий научный сотрудник  
отдела 516  
АО «НПО Лавочкина»,  
доктор технических наук



А.А. Иванков


Устинов С.Н. – тел. 8(916)333-39-87, email: [ust@laspace.ru](mailto:ust@laspace.ru)

Иванков А.А. – тел. 8(915)118-02-62, email: [ival@laspace.ru](mailto:ival@laspace.ru)

Персональные данные С.Н. Устинова и А.А. Иванкова заверяю.

Заместитель генерального директора  
по персоналу и общим вопросам



 И.В. Шолохова  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.