



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ТУРАЕВСКОЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «СОЮЗ»

Промзона Тураево, стр. 10, г. Лыткарино, Московской области, Россия, 140080.  
Тел.: (495) 552-1543, тел./факс: (495) 555-0281, 552-5700, E-mail: info@tmkb-soyuz.ru  
ОКПО 07537312 ОГРН 1035004901700 ИНН/КПП 5026000759/502701001

JOINT-STOCK COMPANY TURAEVO MACHINE-BUILDING DESIGN BUREAU «SOYUZ»

10, st.Turaevo, Lytkarino, Russia 140080

Phone.: (495) 552-1543

Fax: (495) 555-0281, 552-5700

26.11.2020 № 033/1-2-980

от \_\_\_\_\_

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ИНСТИТУТ

Г \_\_\_\_\_ Г (национальный исследовательский университет)  
(МАИ)

Ученый совет

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, 4.



ПОТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального  
директора – главный конструктор

*И.И.Костенко* И.И.Костенко

### ОТЗЫВ

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

В диссертации рассмотрен актуальный вопрос расчета тепло- и массообмена  
на поверхности высокоскоростного летательного аппарата (ВЛА).

Автором работы проведен анализ протекающих при полете в плотных слоях  
атмосферы процессов в пограничном слое. Описаны механизмы и законы  
перераспределения энергии при движении ВЛА на разных скоростях. Показана  
необходимость учитывать химический состав, определяющий каталитическую  
активность поверхности при движении летательного аппарата на скоростях,  
многократно превышающих скорость звука, так как помимо реакций диссоциации  
и рекомбинации компонент воздуха в пограничном слое происходят обменные  
реакции между поверхностью ВЛА с атомами и молекулами в пограничном слое.  
Показано, что такие обменные реакции протекают с выделением и поглощением  
большого количества тепловой энергии, в результате чего возникают очаги  
перегрузки, негативно влияющие на прочность конструкции ВЛА.

Уддел документационного  
обеспечения МАИ

04 12 2020

*Губко*

Проведенный в работе анализ физико-химических факторов, влияющих на интенсивность тепло- и массообмена в химически активном пограничном слое на каталитически активной поверхности, а также предложенная по его результатам математическая модель, описывающие процессы тепло- и массообмена при диссоциации и рекомбинации компонент воздуха в пограничном слое, является новыми и представляют научный интерес.

Положительной чертой работы является проведение автором на базе МАИ собственного эксперимента, что является большой редкостью в наши дни и подтверждает достоверность полученных автором результатов расчетов по разработанным методикам.

Автор в работе не остановился только на разработке новых математических моделей, что безусловно является положительной чертой диссертационной работы, но также доработал существовавшие ранее эмпирические формулы и зависимости. Так, в автореферате представлено сравнение экспериментальных значений теплового потока в передней критической точке (ПКТ) ВЛА при различной каталитической активности поверхности с результатами расчетов как по известным ранее методикам, так и по предложенным автором их модификациям. Результат сравнения показывает большее соответствие результатов по модифицированной автором методике эксперименту и говорит о высоком качестве и значительном объеме проделанной автором работы в этом направлении.

Критический анализ проблемы тепло- и массообмена в пограничном слое и методы её решения распространены автором на разработку подходов к обеспечению надежной тепловой защиты перспективных ВЛА с применением современных композиционных материалов.

Достоинства диссертационной работы:

- 1) Разработана математическая модель, позволяющая с высокой точностью рассчитывать процессы тепломассообмена на поверхности элементов конструкции ВЛА при учете гетерогенного катализа на поверхности.
- 2) Показано улучшение соответствия эксперименту получаемых результатов при применении модифицированных автором широко применяемых на практике уравнений Р. Гулларда.
- 3) Предложены способы улучшения каталитических свойств термостойких композиционных материалов теплозащитного назначения.
- 4) Комплексно рассмотрен вопрос тепло- и массообмена, как экспериментально, так и теоретически: численными методами и путем анализа эмпирических зависимостей.

Следует отметить следующие недостатки:

- 1) Представленные данные о величине теплового потока относятся к передней критической точке. Однако в названии диссертации указывается на планирующий характер движения ВЛА, что может подразумевать отличие геометрии аппарата от простого тела вращения. При наличии более сложной геометрии зоны высокого теплового потока, помимо передней критической точки, могут возникать и в других частях конструкции ВЛА, например, на крыльях и других выступающих элементах конструкции, в частности, на их тыльной стороне.

- 2) В уравнениях представленной математической модели не показан учет каталитической активности поверхности ВЛА.
- 3) Автором утверждается, что полученные эмпирические зависимости величины теплового потока на каталитически активной поверхности применимы к ламинарному пограничному слою. Однако при большой скорости набегающего потока в пограничном слое происходит ламинарно-турбулентный переход и может иметь место развитое турбулентное течение. При таких условиях возникают новые источники тепловой энергии и расчет тепло- и массообмена должен претерпевать значительные изменения, о чем не сказано в работе.
- 4) При проведении математического моделирования делается ссылка на сокращенные расчеты, проведенные лишь в нескольких точках в целях экономии ресурсов. При этом сравнение результатов численного моделирования и расчетов по эмпирическим формулам в автореферате не представлено.

Несмотря на указанные замечания, выполненная работа является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью. Работа соответствует требованиям п.9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям», а её автор, Зубко Анна Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Главный научный сотрудник  
АО ТМКБ «Союз»  
к.ф.- м.н.



Яковлев  
Николай Николаевич

«26» ноября 2020г.