

**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, 555-0877, 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, 555-08-77

29.11.2019 № 033/01-1966

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю диссертационного  
совета

Д 212.125.08 на базе Московского  
авиационного института  
(национального исследовательского  
университета)  
доктору технических наук,  
профессору  
Равиковичу Ю.А.

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв ведущей организации АО ТМКБ «Союз» на диссертационную работу Платонова Ивана Михайловича на тему «Тепло-массообмен при взаимодействии струй в режиме газодинамического управления летательным аппаратом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Диссертационная работа и отзыв на неё обсуждены на научно-техническом совете предприятия АО ТМКБ «Союз», протокол № 4/2019 от 28.11.2019г..

Приложение: 1. Отзыв, 2 экз. на 7л. Каждый,  
2. Диссертация, 1 книга.

Генеральный директор  
АО ТМКБ «Союз»

Шульгин А.Ф.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
11 12 2019



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор АО ТМКБ «Союз»

А.Ф. Шульгин

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

АО Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз»  
на диссертационную работу Платонова Ивана Михайловича, на тему  
**«Тепло-массообмен при взаимодействии струй в режиме  
газодинамического управления летательным аппаратом»,**  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертационная работа Платонова И.М. посвящена решению одной из важнейших научно-технических проблем авиационной и ракетной техники – проблеме повышения эффективности управления летательными аппаратами в широком диапазоне скоростей полёта.

Рост скоростных характеристик авиационных управляемых ракет, повышение требований к времени выполнения маневра в результате управляющего воздействия в значительной степени повышает уровень требований к аэродинамическому облику летательного аппарата, расположению и размерам аэродинамических рулей, механической составляющей их приводов. Аэродинамические методы управления уже не могут в полной мере соответствовать предъявляемым требованиям. Альтернативой аэродинамическим методам управления летательными аппаратами становятся методы газодинамического управления.

Существующие методы оценки эффективности методов газодинамического управления носят достаточно фрагментарный характер и привязаны к конкретным объектам и условиям их применения. Создание

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

11 12 2019

универсальной математической модели и методики расчёта газодинамических и тепловых параметров течений при полете атмосферного летательного аппарата в режиме газодинамического управления представляет собой актуальную задачу современной авиационной и ракетной техники.

Актуальность темы представленной работы определяется востребованностью в углублении знаний о процессах, сопровождающих изменение траектории полета летательного аппарата в атмосфере в результате газодинамического управления, которые позволят с высокой степенью достоверности определять термо-газодинамические параметры потока у его поверхности, рассчитывать локальные значения давления и температуры в элементах конструкции и окружающем летательный аппарат пространстве, оптимизировать выбор метода газодинамического управления.

Задачи, сформулированные в работе Платонова И.М. решаются в целях дальнейшего совершенствования разрабатываемой авиационной и ракетной техники. К таким задачам, решаемым в диссертации можно отнести:

- составление математической модели процессов тепло-массообмена и газовой динамики, характерных для полета летательного аппарата при обтекании сверхзвуковым потоком;
- разработка методики численного решения основных уравнений, проведение исследования сеточной независимости решаемой задачи;
- исследование влияния модели турбулентности на достоверность получаемых результатов;
- проведение верификации разработанной математической модели по результатам стендовых экспериментов, расчётным данным других авторов, полученным при прочих равных условиях;
- численные исследования параметров тепло-массообмена и аэродинамических характеристик летательного аппарата для различных способов управления вектором тяги;

- анализ эффектов, возникающих в результате сложного взаимодействия струйных течений при выдуве управляющей струи в набегающей поток при работающей двигательной установке.

Успешное решение подобных задач неразрывно связано с изучением характера сложнейших процессов газовой динамики турбулентных течений и тепло-массообмена.

Актуальность представленной работы определяется также и необходимостью разработки высокоманевренных гиперзвуковых летательных аппаратов. При этом необходимо решить принципиальный вопрос формирования необходимых управляющих воздействий при маневрировании, определения аэродинамического облика аппарата, который будет оптимален с точки зрения минимизации лобового сопротивления и не будет накладывать существенных ограничений на маневренные характеристики во всем диапазоне скоростей полета.

Всё указанное подчёркивает своевременность и актуальность рассматриваемой работы, а поставленная в ней цель, направлена на решение важнейшей научно-технической проблемы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа представлена на 127 страницах основного текста, включающего 66 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 81 наименования. Положения диссертации изложены ясно, чётким и доступным языком. Качество оформления высокое и отвечает требованию ВАК. Выводы отражают содержание работы.

Цель представленной работы сформулирована автором следующим образом: исследование процессов тепло-массообмена и газовой динамики в результате сложного взаимодействия струи ракетного двигателя, управляющей струи системы газодинамического управления и сносящего потока.

В представленной автором работе использован обширный опыт исследований, проведенных разными авторами при решении

многопараметрических задач газодинамики и тепло-массообмена применительно к проблеме газодинамического управления полётом. Результаты численного моделирования подобных задач и тестовых испытаний натуральных объектов заимствованы автором из публикаций ряда отечественных и зарубежных исследователей.

Разработанная автором математическая модель основана на решении системы уравнений Навье–Стокса, а также модели турбулентности (Спаларта–Алмараса), решаемых методом конечных объёмов на неструктурированных расчётных сетках с помощью программного комплекса ANSYS FLUENT. Следует отметить, что стандартные программные комплексы (ANSYS CFX, FLUENT и т.п.) в целом не предназначены для решения задач, рассмотренных в диссертации, и требуют некоторой адаптации, выполненной автором.

Удовлетворительное соответствие результатов расчёта с экспериментальными данными позволили автору сделать выводы о достоверности математической модели и её пригодности для исследования процессов на поверхности и в окрестностях высокоскоростных ЛА при маневрировании.

Научная новизна работы заключается в:

- проведении сравнительного анализа различных методов газодинамического управления летательных аппаратов;
- получении расчетных данных по величине управляющих моментов и характере изменения аэродинамического качества при маневрировании;
- исследовании параметров процессов тепло-массообмена и газовой динамики в результате сложного взаимодействия струи ракетного двигателя и управляющей струи системы газодинамического управления под воздействием сносящего потока.

Достоверность и корректность представленных к защите основных результатов работы, полученных с использованием составленной математической модели, не вызывает сомнения, так как они являются

следствием обобщения расчётных и экспериментальных данных, полученных путем применения современных методов и средств исследования (главы 3, 4, 5). В частности, достоверность полученных результатов подтверждается:

- использованием в работе фундаментальных законов сохранения энергии, количества движения, апробированных методов численного анализа;
- масштабным тестированием разработанных численных методов и алгоритмов, что обеспечило устойчивость и сходимость решений на всей последовательности сгущающихся расчётных сеток;
- сравнением результатов численного эксперимента с реальными экспериментальными данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель, описывающая внутренние и внешние течения, сопровождающие полет летательного аппарата при маневрировании в плотных слоях атмосферы со сверхзвуковой скоростью при включенной силовой установке;
- сравнительный анализ эффективности различных методов газодинамического управления;
- рекомендации по организации использования продуктов сгорания в качестве рабочего тела при применении метода газодинамического управления.
- анализ сложных трехмерных структур, образующихся при взаимодействии управляющей струи со струей ракетного двигателя и под воздействием сносящего потока.

Практическая ценность данной работы состоит в выработанных рекомендациях по выбору метода газодинамического управления при разработке перспективных и модернизации существующих образцов ракетной и авиационной техники, в сокращении объёмов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании, производстве и эксплуатации изделий авиационной и ракетной техники нового поколения;

Указанные научные и практические результаты диссертационной работы без сомнения могут найти широкое применение в разработках новых образцов авиационной и ракетной техники. Результаты работы могут быть использованы: АО «ГосМКБ «Вымпел им. И.И. Торопова», АО «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка», АО «ГНПП «Регион», АО «МКБ «Искра» им. И. И. Картукова», НПО им. С.А. Лавочкина, ПАО «Салют», ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова, АО «ВПК «НПО машиностроения», ФГУП «Московский институт теплотехники» (МИТ), АО «Конструкторское бюро машиностроения», а также в ряде других НИИ и КБ ОПК.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в пяти научных работах в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Основные научные результаты работы докладывались на отечественных и международных научно-технических конференциях. В частности, на конференции «Инновации в авиации и космонавтике – 2015», 14-й международной конференции «Авиация и космонавтика – 2015», 42-ой Международной молодежной конференции «Гагаринские чтения – 2016», XX Юбилейной международной конференции по вычислительной механике и современным программным системам – 2017, 43-ей Международной молодежной конференции «Гагаринские чтения – 2017», XXI Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам – 2019.

По сути диссертационной работы и ее оформлению можно сделать следующие замечания:

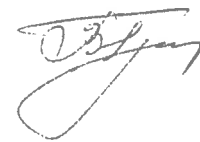
- в диссертации недостаточно подробно описаны условия проведения экспериментальных исследований, на которые ссылается автор;
- в задачах, решаемых в диссертации, для достижения поставленной цели указана разработка математической модели химической кинетики в камере сгорания, хотя далее никаких упоминаний о решении уравнений химической кинетики упоминаний нет;

- в главе 1 часть рисунков, иллюстрирующих данные из зарубежных источников, содержит данные об условиях экспериментов на английском языке;
- в математической модели описаны реакции диссоциации воздуха, хотя при тех скоростях, которые реально рассматриваются в работе, эти реакции не могут происходить;
- в тексте диссертации имеется ряд опечаток.

Указанные недостатки в целом не снижают общего положительного мнения о работе. Диссертация Платонова И.М. является целостной и завершённой научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научно-технической задачи, написана автором самостоятельно и содержит новые данные по тепло-массообмену взаимодействия струй. Она выполнена на высоком научно-техническом уровне и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» в редакции Постановления Правительства РФ от 01.10.2018 г. № 1168, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а автор диссертации Платонов Иван Михайлович заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертационная работа обсуждена на НТС предприятия АО Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз», протокол № 4/2019 от 28.11.2019г.

Заместитель генерального директора по  
экспериментально-исследовательской  
работе и испытаниям, к.т.н.



В.М. Гусев

Учёный секретарь НТС, к.т.н.



В.М. Петренко