

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735
ИНН/КПП 7729138338/772901001

08.02.2024 № Н504/01-2121.1-72

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора
ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН
член-корр. РАН

« 08 » 02 2024 г.
С.Е. Якуш



**ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ О НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ
ДИССЕРТАЦИИ**

Ханхасаевой Яны Владиславовны

**на тему «Влияние вложения энергии в поток на трехмерное обтекание
летательных аппаратов»**

**на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Актуальность избранной темы.

Актуальность работы связана с фундаментальными аэротермодинамическими и практическими задачами, связанными с разработкой аэрокосмической техники и перспективных летательных аппаратов (ЛА). В целом эти задачи характеризуются сложностью физико-математических моделей и, как правило, требуют для своего решения значительных вычислительных ресурсов. При этом важен поиск и разработка новых эффективных средств, позволяющих обеспечить необходимые его аэродинамические характеристики, контролировать передачу тепла и массоперенос в пограничном слое, снижать поверхностное трение, управлять отрывом потока и многое другое, что обеспечивает совершенствование его формы. В рассматриваемой диссертации представлено исследование возможностей и эффективности вложения энергии в различные области потока, образующегося при сверхзвуковом обтекании ЛА различной формы.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

В ходе выполнения диссертационной работы автором диссертации показано, что вложение энергии перед носовой частью объекта не приводит к росту донного сопротивления. Проведено комплексное исследование влияния вложения энергии в различных областях потока на трехмерное обтекание летательного аппарата сложной формы. Проведен анализ результатов моделирования и получены рекомендации о рациональном выборе параметров источников энергии при проектировании ЛА различных компоновок и показано, что рациональное расположение источника энергии позволяет увеличить расход и полное давление на входе в возду-

хозаборник прямого двигателя. В целом диссертационная работа соответствует созданию перспективных сверхзвуковых ЛА.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна исследования и полученных результатов определяется:

- исследованием влияния энергозатрат в область перед телом и в его окрестности на донное течение;
- показано, что вложение энергии перед носовой частью объекта не приводит к росту донного сопротивления;
- проведено комплексное исследование влияния вложения энергии в различных областях потока на трехмерное обтекание ЛА сложной формы;
- проведен анализ результатов моделирования и получены рекомендации о рациональном выборе параметров источников энергии при проектировании ЛА различных компоновок;
- показано, что рациональное расположение источника энергии позволяет увеличить расход и полное давление на входе в воздухозаборник прямого двигателя.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов.

Теоретическая значимость работы состоит в исследовании различных явлений существенной перестройки течения в результате относительно малых возмущениях набегающего потока при рациональном расположении источников энергии при проектировании ЛА различных компоновок. Практическая значимость работы может быть использована при проектировании сверхзвуковых летательных аппаратов в ведущих организациях России.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Обоснованность и достоверность обеспечивается проведением тестирования и верификации всех изложенных алгоритмов, и сравнением численных результатов моделирования относительно экспериментальных и расчетных данных.

Оценка содержания диссертации: ее завершенность, достоинства и недостатки диссертации по содержанию и оформлению замечания по оформлению, мнение о работе в целом.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 107 страниц, включая 63 рисунка и 12 таблиц. Список литературы содержит 104 наименований.

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы, формулируются её цели и задачи, показаны научная новизна и практическая ценность работы. Представлен обзор проведенных к настоящему времени исследований по теме диссертации.

В первой главе приведена математическая модель, описывающая течения вязкого теплопроводного газа с вложением энергии в поток, основанная на простой модели, состоящей во включении источника конечных размеров в правую часть уравнения баланса энергии. Описаны подходы, основанные на решении нестационарных осредненных по Фавру и Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса

(URANS) с использованием моделей турбулентности Спаларта-Аллмараса и SST Ментера с учетом вложения энергии. Изложен численный метод решения. Приведены результаты верификации и валидации на основе численного решения тестовых задач и проведено сравнение полученных результатов с опубликованными экспериментальными и численными данными других авторов.

Во второй главе проведено параметрическое исследование свойств теплового следа за источником энергии. Выявлены основные закономерности зависимости параметров следа за энергоисточником от его формы и размеров, мощности вложения энергии, числа Маха набегающего потока.

В третьей главе проведено численное исследование влияние энерговклада на обтекание типовой модели ЛА в области перед телом, на боковой поверхности и в области донного среза на структуру течения, аэродинамические характеристики и донное давление. Выявлено, что вложение энергии перед телом приводит к существенному снижению сопротивления, но при этом не приводит к росту донного сопротивления. Вложение энергии в области вблизи боковой поверхности и в области донного среза повышают донное давление, что приводит к снижению сопротивления. Вложение энергии около боковой поверхности в ряде случаев позволяет снизить сопротивление трения.

В четвертой главе проведено численное исследование влияния энерговложения перед носом и крыльями на обтекание ЛА сложной формы потоком вязкого теплопроводного газа. Определено влияние угла атаки, параметров и расположения источника энергии на аэродинамические характеристики ЛА, а также тепловые потоки к его поверхности.

В пятой главе проведено численное исследование влияние источников энергии в потоке на обтекание модели высокоскоростного летательного аппарата Х-43А, оснащенного воздухозаборником двигателя. Вложение энергии перед носовой частью модели ЛА ведет к некоторому снижению лобового сопротивления.

К содержанию диссертации имеются следующие замечания:

- 1) При проведении расчетов валидационных задач в главе 1 (ЛА НВ-2 и Х-43А) не указаны размеры расчетных сеток и нет ясности по проработки структуры возникающих течений, включая проработку пограничного слоя.
- 2) При проведении расчетов исследования влияния вложения энергии в поток на течение в донной области в главе 3 речь идет о примыкающем к телу пограничном слое, срыве потока с задней кромки тела, образовании вязкого слоя смешения. При этом важное значение имеет степень проработки структурных областей течения. В диссертации об этом ничего не говорится, что является замечанием к выполненной работе, поскольку плохая проработка указанных областей может привести к неправильной трактовке полученных решений.
- 3) Изложение результатов расчетов по аппарату Х-43А в главе 5 проведено без изложения структуры расчетных сеток и без привязки к конструкции двигательной установки, о которой идет речь в тексте. Фактически речь идет о воздухозаборнике, а не о двигательной установке.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Результаты работы прошли апробацию на 13 российских и международных конференциях. По теме диссертации было опубликовано 9 работ, 7 из которых включены в список ВАК или входят в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science). Также на используемый в диссертации программный комплекс (PULSAR3D++) получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Я.В. Ханхасаевой.

Оценка содержания диссертации. Диссертационная работа Ханхасаевой Яны Владиславовны выполнена на высоком научном уровне и содержит результаты численного исследования возможностей и эффективности вложения энергии в различные области потока, образующегося при сверхзвуковом обтекании летательных аппаратов различной формы, как средства управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Ханхасаевой Яны Владиславовны является законченным научным исследованием. Содержание и результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Я.В. Ханхасаева, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв рассмотрен и одобрен на семинаре лаборатории Радиационной газовой динамики ИПМех РАН. 02.02.2024 г. протокол №1

Главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН

С.Т. Суржиков

Старший научный сотрудник,
кандидат технических наук

А.В. Панасенко

Подписи Суржикова С.Т. и Панасенко А.В. удостоверяю

Ученый секретарь института,
кандидат физико-математических наук,

М.А. Котов

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

Адрес: 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1

Телефон: +7 (495) 434-00-17 (канцелярия), +7 (495) 434-32-38 (приемная)

Сайт организации: <https://ipmnet.ru>

e-mail: ipm@ipmnet.ru

Суржиков Сергей Тимофеевич,

119311, Москва, ул. Строителей, д.6, корп.4, кв. 13, 8(926)-587-34-47,

Главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, ИПМех РАН.

Панасенко Александр Викторович,

141070, г. Королев, М.О., ул. Чайковского 6, кв.25, 8(910)-478-74-49,

akpanas@mail.ru

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ИПМех РАН.