



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ М.В.КЕЛДЫША»
(АО ГНЦ «Центр Келдыша»)**

Онежская ул., д. 8, Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 47430587 ОГРН 1217700095667 ИНН/КПП 7743355574 / 774301001
kerc@elnet.msk.ru; <https://keldysh-space.ru>

10.02.2025 № 200-06/50
на № _____ от _____

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»

Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.327.06
доктору технических наук, доценту
В.М. Краеву

125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д.4

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Янышева Дмитрия Сергеевича на тему «Математическое моделирование высокоэнергетических потоков для теплового и газодинамического проектирования в аэрокосмической технике», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук.

Отзыв на автореферат диссертации в 2 экз. на 4 листах заверен печатью.

Ученый секретарь доктор технических наук

И.С. Партола

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«21» 02 2025 г.

Отзыв

на автореферат диссертационной работы

Янышева Д.С. “Математическое моделирование высокоэнергетических потоков для теплового и газодинамического проектирования в аэрокосмической технике”, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

В состав большинства двигательных и энергетических установок, входят узлы, в которых применяется рабочее тело высокой температуры, которые являются наиболее критическими устройствами. От качества работы этих узлов в решающей мере зависят технические характеристики, надежность и экономичность изделия в целом. Обычно высокотемпературные рабочие тела представляют собой многокомпонентные химически реагирующие смеси, которые образуются, как правило, в результате протекания сложного комплекса взаимосвязанных физико-химических процессов, таких, как смешение, химические превращения, сложный энергообмен и излучение. До настоящего времени не существует комплексных математических моделей, позволяющих в рамках единого подхода описывать течение потока в широком диапазоне высот с учетом термической и химической неравновесности, а также всей совокупности других факторов, влияющих на высокоэнергетический поток газа. Такой важной и актуальной в настоящее время задаче как построение физико-математических моделей, вычислительных алгоритмов и комплексов программ для моделирования таких процессов посвящена диссертационная работа Янышева Д.С.

В работе приводятся оригинальные вычислительные алгоритмы расчета равновесных и неравновесных состояний многокомпонентных сред с учетом протекания химических реакций и энергообмена между различными энергетическими модами. Созданы инструменты для математического моделирования высокоэнергетических, термохимически неравновесных газовых течений для произвольно больших чисел Маха, произвольных диапазонов чисел Рейнольдса и диапазона чисел Кнудсена от 0 до 10.

УТВЕРЖДЕН
И КОНТРОЛЬ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«21» 02 2025 г.

Автором в работе рассмотрены все основные аспекты математического моделирования, начиная от разработки физико-математических моделей, их численной реализации, проведения широких параметрических расчетов и изучения влияния различных факторов на основные характеристики изучаемых процессов. Всё это позволило получить ряд интересных, новых результатов:

- Предложен неявный, эффективный и полностью интегрированный численный метод решения уравнений Навье-Стокса (Рейнольдса-Фавра) для расчета сверхзвуковых течений, не находящихся в тепловом и химическом равновесии. В этом методе, в отличие от декомпозиции системы уравнений по физическим процессам, реализована специальная матричная декомпозиция, которая позволяет существенно ускорить процесс обращения матриц.

- Предложен метод объяснения эффекта второй вязкости в высокоэнергетических неравновесных течениях со сложной волновой структурой и показана его важность для высотных полетов.

- Предложен комплексный метод расчета течений газа, не находящегося в тепловом равновесии, при умеренном разреженности и произвольной геометрии течения, основанный на использовании квазигазодинамических (КГД) уравнений, включающих уравнения, учитывающие колебательную неравновесность.

- Расчет двигателей летательных аппаратов на высотах 100-200 км от поверхности Земли проводился на основе решения полных систем уравнений Навье-Стокса и квазигазодинамических (КГД) уравнений, включая уравнения для энергии колебаний состояний, и с учетом второй вязкости, которая не равна нулю.

- Разработан метод расчета неравновесного ИК-излучения высотных реактивных ЛА, основанный на решении уравнения переноса неравновесного теплового излучения газов и метода k-распределения.

- Предложена новая трехпараметрическая анизотропная модель турбулентного перемешивания, основанная на аналитически полученной зависимости взаимодействия крупномасштабных пульсаций давления и скорости напряжений, что позволяет более надежно согласовывать результаты расчетов с экспериментальными данными для высокоэнергетических потоков.

- Предложена новая упрощенная модель ламинарно-турбулентного перехода в высокоскоростных потоках, основанная на концепции разрывов.

Достоинствами работы является: использование автором фундаментальных подходов при построении математических моделей сложных течений рабочих сред, высокая тщательность отладки численных алгоритмов, доведение разработки методик до стадии решения конкретных практически важных задач. Достоверность результатов численных исследований подтверждается сравнением их с экспериментальными данными.

К недостаткам работы можно отнести следующие моменты:

1) В работе указывается на возможность применения системы КГД для разреженных течений с числом Кнудсена до 10.

Автор не приводит в автореферате никаких доводов в пользу данного утверждения, которое вызывает некоторые сомнения, поскольку в рассматриваемой области высот до 200 км длина свободного пробега молекул может достигать десятков метров.

2) Из автореферата непонятно, что принимается автором в качестве характерного размера при вычислении числа Кнудсена.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 44 печатных работах, из них 2 монографии, 17 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК, и приравненных к ним по научной специальности диссертации, 14 тезисов докладов на научных конференциях, 7 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК, по смежным научным специальностям, 4 учебных пособия.

В целом из автореферата следует, что диссертация Янышева Д.С. является законченной научно-исследовательской работой, в которой разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение. Диссертационная работа Янышева Д.С. «Математическое моделирование высокоэнергетических потоков для теплового и газодинамического проектирования в аэрокосмической технике», соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, ред. от 16.10.2024), предъявляемых к

докторским диссертациям. Считаю, что Янышев Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заместитель генерального директора по
средствам выведения – начальник отделения 2
Акционерного общества «Государственный
научный центр Российской Федерации
«Исследовательский центр имени М.В.
Келдыша»,
доктор технических наук,
специальности 05.07.05 и 05.14.05

10.02.2025г.

Вадим Всеволодович Миронов

Адрес электронной почты: kerc@elnet.msk.ru

Подпись Миронова В.В. удостоверяю:
ученый секретарь,
доктор технических наук

Игорь Станиславович Партола

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: (495) 456-75-85

Адрес электронной почты: kerc@elnet.msk.ru

10.02.2025г.