

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор –  
первый заместитель  
генерального директора  
ПАО «РКК «Энергия»,  
академик РАН



Е.А. Микрин  
2019 г.

ведущей организации на диссертационную работу  
Масловой Дарьи Владимировны  
«ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОВЕСНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

### 1. Актуальность диссертации.

Расчет радиационного теплового потока от течения неравновесного газа представляет существенный практический интерес при решении таких задач, как расчет тепловых потоков от струй ракетных двигателей на участке выведения, радиационного потока к космическим аппаратам на участке входа в атмосферу, особенно при входе со второй космической скоростью и большими скоростями (в применении к разрушению метеоритов). Информация по такому потоку необходима для расчета теплозащиты донных областей РН, для расчета тепловой защиты возвращаемых аппаратов, для анализа разрушения фрагментов КА (космического мусора) и разрушения метеоритов. Одной из наиболее существенных и проблем в данном направлении является численная оценка коэффициентов поглощения и излучения для линейчатых спектров, вызванная огромным количеством узких линий поглощения. Именно на решение этой актуальной и сложной проблемы и нацелена рассматриваемая работа.

### 2. Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения, содержит 154 страниц текста, 48 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 114 источников. Приложение составляет 32 страниц.

Во введении определена цель работы, показана ее актуальность, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе показано, что исследование влияния термической неравновесности на излучение газа является актуальной задачей. Обсуждены

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № \_\_\_\_\_  
14 11 2019

основные методы расчета интенсивности излучения молекулярных газов и основные проблемы, возникающие при математическом моделировании течений газовых смесей с колебательной неравновесностью. Показано, что в качестве наиболее перспективного метода для создания вычислительно эффективной методики расчета неравновесного излучения выступает метод  $k$ -распределения, позволяющий перейти от крайне вычислительно затратного интегрирования полосчатого спектра по волновому числу, к некоторой плотности распределения коэффициента поглощения в данном диапазоне волновых чисел.

Во второй главе рассматриваются основные уравнения, описывающая течение химически и термически неравновесной газовой смеси, а также предлагается новая методика расчета оптических характеристик газовых потоков, основанная на методе  $k$ -распределения и учитывающая колебательную неравновесность течения. Для расчета кинетики процессов колебательного энергообмена используется модель модовой кинетики. При этом колебания в каждой моде (и для двухатомных, и для многоатомных молекул) моделируются гармоническими осцилляторами.

В третьей главе представлены результаты тестирования предлагаемой методики расчета неравновесного излучения, а также результаты численного исследования некоторых неравновесных течений, имеющих большое практическое значение в современной ракетно-космической технике.

В четвертой главе проводится исследование ИК излучения колебательно возбужденной газовой смеси, содержащей  $HCl$ .

В заключении приведены выводы по диссертационной работе.

В приложении представлен текст программы на Фортране, который вычисляет распределение  $g(k)$  из базы данных спектроскопии в зависимости от поступательно-вращательной температуры, колебательной температуры  $HCl$ .

### **3. Научная новизна.**

Научная новизна работы состоит в разработке вычислительно эффективного метода интегрирования коэффициента поглощения в случае линейчатого спектра. К массиву данных по коэффициенту поглощения применяется метод  $k$ -распределения, результатом чего является построение монотонной функции для  $\kappa$  в зависимости от волнового числа и температур (данная функция отражает то, как часто в данной полосе коэффициент поглощения принимает значение  $k$ ).

С математической точки зрения работа представляет новый интересный вариант расчета и применения меры Янга.

### **4. Достоверность полученных результатов.**

Валидация предложенной модели осуществлена сопоставлением с имеющимися в литературе экспериментальными данными, верификация численного алгоритма проведена сравнением с результатами расчёта ряда

отечественных и зарубежных авторов, что подтверждает достоверность полученных результатов.

#### **5. Публикации по материалам диссертации.**

Работы автора обсуждались на многочисленных конференциях и достаточно подробно освещены в публикациях автора, в том числе, 2 статья из перечня рекомендуемых изданий ВАК.

#### **6. Замечания по содержанию и оформлению диссертации.**

1. В Главе 1 (стр. 19) упоминается воздействие высокотемпературной догорающей струи на стартовый комплекс. Такое воздействие безусловно есть, однако влияние неравновесности в таких условиях представляется незначительным.

2. В Пункте 4 раздела «Основные результаты и выводы» термин «верификация» не совсем точно отражает существо выполненной работы. На самом деле речь идет одновременно о валидации физической модели (сравнение с экспериментальными данными) и о верификации алгоритма (сравнение с расчетами).

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы.

Оформление текста соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.

Автореферат диссертации изложен достаточно четко и дает полное представление о диссертационной работе.

#### **7. Заключение.**

Несмотря на замечания, диссертация Масловой Дарьи Владимировны «Влияние неравновесности на характеристики излучения высокотемпературных газовых смесей» выполнена на высоком научном уровне, отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, а ее автор, Маслова Д. В., достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Материалы диссертации Масловой Дарьи Владимировны «Влияние неравновесности на характеристики излучения высокотемпературных газовых смесей» прошли обсуждение на заседании сектора теплообмена аэрогазодинамики и теплообмена от 12.11.2019, по результатам которого был утвержден отзыв.

Руководитель НТЦ, д.т.н.

Ю.П. Улыбышев

Главный научный сотрудник, д.ф.-м.н.

А.К. Алексеев

Начальник отделения, к.т.н.

А.А. Басов

Инженер

А.С. Балакин

Ученый секретарь, к.ф.-м.н.

О.Н. Хатунцева



Сведения  
о лицах, подписавших отзыв ведущей организации  
на диссертационную работу **Масловой Д.В.**  
«Влияние неравновесности на характеристики излучения  
высокотемпературных газовых смесей».

Представленную на рассмотрение в ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева работу **Масловой Д.В.** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» рассмотрели и подписали следующие сотрудники предприятия:

**1. Улыбышев Юрий Петрович**

Руководитель научно-технического центра расчетно-теоретического обеспечения,  
доктор технических наук,  
тел.495-513-64-06, e-mail: [post@rsce.ru](mailto:post@rsce.ru),  
141070, г. Королев Московской области, ул. Ленина, д.4А

**2. Алексеев Алексей Кириллович**

Главный научный сотрудник отдела аэрогазодинамики,  
доктор физико-математических наук,  
тел.495-513-68-19, e-mail: [post@rsce.ru](mailto:post@rsce.ru),  
141070, г. Королев Московской области, ул. Ленина, д.4А

**3. Басов Андрей Александрович**

Начальник отделения систем терморегулирования,  
кандидат технических наук,  
тел.495-513-82-50, e-mail: [post@rsce.ru](mailto:post@rsce.ru),  
141070, г. Королев Московской области, ул. Ленина, д.4А

**4. Балакин Андрей Станиславович**

Инженер отдела аэрогазодинамики,  
тел.495-513-68-19, e-mail: [post@rsce.ru](mailto:post@rsce.ru),  
141070, г. Королев Московской области, ул. Ленина, д.4А

Сведения о лицах, подписавших отзыв ведущей организации на диссертационную работу Масловой Д.С., удостоверяю.

Ученый секретарь



**О.Н. Хатунцева**

