

ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Прутько Кирилла Александровича «Неравновесное излучение воздуха при больших скоростях полета спускаемых аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Одной из актуальных задач в фундаментальной физической механике в течение нескольких десятилетий является создание моделей аэротермодинамики спускаемых аппаратов, которые выполняют миссии по возвращению в атмосферу Земли с орбитальными и сверхорбитальными скоростями. Специалисты в области аэротермодинамики значительные усилия сосредоточили на тестировании используемых моделей аэрофизики и подтверждении достоверности разрабатываемых моделей.

В настоящее время существует значительный разброс в расчетах радиационных и конвективных тепловых потоков к поверхности спускаемых аппаратов. Это является следствием недостатков применяемых моделей физико-химической кинетики и радиационного переноса.

Диссертационная работа Прутько К.А. направлена на повышение точности и достоверности моделей радиационного переноса в слое за ударной волной при входе космического аппарата в атмосферу Земли со сверхорбитальной скоростью.

Целью диссертационной работы являлась разработка и валидация физико-химической модели для описания радиационных процессов в воздухе за сильными ударными волнами (радиационно-столкновительной модели) при входе спускаемых аппаратов в атмосферу путем сравнения с трубными и летными экспериментами.

Автором в процессе работы над темой были решены следующие задачи:

- Выбор физико-химических реакций и компонент газа, учитываемых при создании радиационно-столкновительной модели высокотемпературного воздуха, для расчета интенсивности и спектрального состава излучения атомарных компонентов;

- Разработка метода и программы для численного моделирования процессов ионизации, излучения, переноса излучения и определения лучистых тепловых потоков к КА;
- Разработка базы данных химических реакций, реакций ионизации и констант скоростей возбуждения электронных состояний атомов;
- Проведение валидации разработанных методик путем сравнения расчетов с различными экспериментальными данными.

Научная новизна заключается в новой разработанной автором радиационно-столкновительной модели полностью диссоциированного высокотемпературного воздуха ($T=9000-15000\text{K}$), учитывающей процесс физико-химической кинетики, возбуждение многочисленных электронных состояний атомов кислорода и азота, и неравновесное излучение из релаксационной зоны за скачком уплотнения. Также определен класс КА, для которых применима разработанная модель в равновесной постановке при скоростях 8-13 км/с на высотах с режимом максимальных лучистых тепловых потоков.

Показано, что для аппаратов большого радиуса более 1 м в зоне максимального лучистого теплообмена применима разработанная модель излучения атомов в равновесной постановке. Для анализа проблем для малых спускаемых аппаратов с радиусом носовой части, менее 1 м, или в полете на больших высотах, необходимо применение неравновесной модели.

Практическая ценность несомненна в части полученных автором наборов констант скоростей физико-химических и излучательных процессов, которые необходимы для расчета степени ионизации, спектрального состава и пр.

Предложенная автором модель, включающая выбранные кинетические характеристики процессов возбуждения и ионизации атомарных составляющих воздуха, предназначенная для расчетов излучения за сильными ударными волнами важна для интерпретации трубных экспериментов и для КА, входящих в атмосферу Земли.

Достоверность научных положений и полученных результатов гарантируется сравнением с другими признанными авторами, использованием математических методов, моделей и алгоритмов при проведении расчетов, а

также достаточным объемом численного моделирования исследуемых процессов и их корреляцией с экспериментальными данными.

Вместе с тем, автореферат рассматриваемой работы не лишен некоторых недостатков:

1. В автореферате не представлены характерные времена диссоциации/рекомбинации основных составляющих воздуха, хотя уделено несколько слов диссоциации молекулы азота и ее влиянию на поступательную и электронную температуру.

2. Недостаточно четко изложены основные предположения газодинамической модели, их правомерность использования для данного класса задач и возможное влияние их на точность расчетов для разных (больших и малых) спускаемых аппаратов, например использование, предположений о невязком, нетеплопроводном газе, одномерной постановке.

3. Имеет место неточность некоторых формулировок, например, при разделении спектрального диапазона на УФ-диапазон < 200 нм и ИК-диапазон > 200 нм без упоминания видимого диапазона спектра.

4. В уравнении для полной энергии имеет место неточность при пояснении величины h , как полной удельной энтальпии вместо удельной энтальпии.

Однако указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация Прутько Кирилла Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно рассмотреть как решение актуальной научно-технической задачи в области построения и валидации моделей радиационного переноса в слое за сильной ударной волной.

Рассматриваемая работа Прутько К.А. по своей новизне, научной значимости и практическим результатам удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24

сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Прутько Кирилл Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Юрченко И.И., даю свое согласие на обработку своих персональных данных.

Я, Ушаков Н.Н., даю свое согласие на обработку своих персональных данных.

Главный научный сотрудник
Государственного научного центра Российской
Федерации - федерального государственного
унитарного предприятия «Исследовательский центр
имени М.В. Келдыша»,
доктор технических наук
по специальностям 05.07.01 и 05.07.07
10.04.2019г.

Ирина Ивановна Юрченко

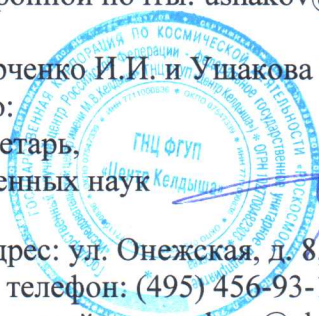
Контактный телефон: (495) 456-64-85 (доб. 6-50)
Адрес электронной почты: kudinov@kerc.msk.ru

Старший научный сотрудник
Государственного научного центра Российской
Федерации - федерального государственного
унитарного предприятия «Исследовательский центр
имени М.В. Келдыша»,
кандидат технических наук
по специальности 01.04.14
10.04.2019г.

Николай Николаевич Ушаков

Контактный телефон: (495) 456-64-34 (доб. 2-47)
Адрес электронной почты: ushakov@kerc.msk.ru

Подписи Юрченко И.И. и Ушакова Н.Н.
удостоверяю:
ученый секретарь,
кандидат военных наук



Юрий Леонидович Смирнов

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Контактный телефон: (495) 456-93-12
Адрес электронной почты: kerc@elnet.msk.ru
10.04.2019г.