

ОТЗЫВ

на автореферат 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».

Диссертационная работа К.А. Прутько посвящена исследованию процессов, протекающих за ударными волнами большой интенсивности. Такого рода процессы могут наблюдаться при входе спускаемого аппарата в атмосферу Земли со скоростями около второй космической скорости. Основной целью данной работы является разработка и валидация физико-химической модели, позволяющей осуществлять описание радиационных процессов в воздухе за сильными ударными волнами (радиационно-столкновительная модель) и при входе спускаемых аппаратов в атмосферу планет.

Тема работы актуальна, поскольку при движении космических аппаратов в атмосфере планет с высокими скоростями его поверхность подвергается интенсивному нагреву, при этом интенсивность поступающего теплового потока может существенным образом зависеть от большого количества сложных и взаимосвязанных физических и химических процессов, которые происходят в высокотемпературном воздухе, нагретом ударной волной. Необходимо отметить, что с увеличением скорости движения спускаемого аппарата, радиационная составляющая теплового потока может увеличиваться значительно быстрее конвективной и, начиная со второй космической скорости, становится доминирующей. Автор работы отмечает, что разработанные к настоящему времени многочисленные физико-химические и радиационные модели высокотемпературного воздуха при расчетах лучистого теплообмена спускаемых аппаратов дают очень большой разброс по величинам лучистых тепловых потоков. Обоснование актуальности исследования приводится во введении.

В первой главе исследуется вопрос об определении границ применимости равновесных физико-химических и радиационных моделей. Во второй главе сформулированы основные положения и представлена модель для расчета равновесного излучения полностью диссоциированного воздуха. Описание радиационно-столкновительной модели, предлагаемой автором работы для определения неравновесных концентраций компонент газа, представлено в третьей главе. В четвертой главе рассматривается одномерная задача о структуре невязкой релаксационной зоны за сильной ударной волной в воздухе с учетом неравновесной кинетики и переноса излучения.

Разработанная в ходе выполнения работы радиационно-столкновительная модель подвергалась всестороннему тестированию, а получаемые на базе этой модели результаты сравнивались с известными летными и наземными экспериментальными данными. На основе предложенной вычислительной программы были получены зависимости вклада различных механизмов излучения атомов в лучистый поток от высоты, по траектории движения летательного аппарата при его спуске в атмосфере со скоростью входа равной 2-й космической. В работе показано, что для аппаратов больших размеров применима модель равновесного излучения в области максимального лучистого

нагрева. Полученные в ходе выполнения работы результаты имеют несомненную научную новизну и практическое значение.

По работе имеются следующие замечания

1. В разделе "Научная новизна" отмечается, что "Впервые разработан и внедрен итерационный алгоритм решения жесткой системы нелинейных дифференциальных уравнений". В тоже время, как следует из описания главы 3 (стр. 14 текста автореферата), для решения системы жестких дифференциальных уравнений использовался стандартный код LSODE. Из текста автореферата неясно, в чем состоит новизна предлагаемого автором работы алгоритма.
2. Из текста затруднительно понять, что такое аппроксимационная групповая модель, используемая при расчете интенсивности излучения ударного слоя.
3. Требуется более детальное пояснение положения о том, что интенсивность излучения атомарных компонентов равновесного воздуха при высоких температурах обусловлена (в том числе) процессами торможения электронов в поле ионов.
4. В некоторых местах автореферата наблюдается небольшая несогласованность в тексте. Так, например, в разделе "Достоверность полученных результатов" отмечается, что достоверность обеспечивается выбранными реакциями и их константами скоростей. В тоже время в разделе "Основные положения, выносимые на защиту" говорится, что при отсутствии равновесия за ударной волной константа скорости ступенчатой ионизации атомов определяется в процессе решения задачи. Таким образом, константа скорости в данном случае является параметром задачи.
5. На стр. 15-16 автореферата отмечается: "разброс в расчете интенсивности излучения составляет $\pm 50\%$ ". Данный факт автор работы связывает с использованием в расчетах упрощенной модели диссоциации. Было бы полезным прокомментировать данную упрощенную модель, а также привести ссылки на литературу с описанием данной модели.
6. Не вполне понятно, каким образом одномерная расчетная модель, предложенная в работе, использовалась для анализа трехмерных летных экспериментов американского спускаемого аппарата Аполлон-4 и летного демонстратора FIRE-II.
8. В работе обнаружены опечатки.

Несмотря на отмеченные замечания, судя по автореферату, диссертация Прутько Кирилла Александровича является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Зав. лабораторией кинетических процессов в газах НИИ механики МГУ, к.т.н.

/Левашов В.Ю

Подпись тов. 
удостоверяю
Зав. канцелярией НИИ механики МГУ 
