

УДК 533.6;533.9

**РАДИАЦИОННАЯ ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА
СПУСКАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

© 2011 г.

С.Т. Суржиков

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

surg@ipmnet.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Обсуждаются актуальные проблемы радиационной газовой динамики спускаемых космических аппаратов, предназначенных для исследования планет Солнечной системы и возвращения на Землю. Дана постановка задач создания интегрированных моделей радиационной газовой динамики. Обсуждаются задачи физико-химической кинетики, которые являются критическими для достоверного решения задач аэрофизики спускаемых аппаратов.

Ключевые слова: радиационная газовая динамика, спускаемые космические аппараты, физико-химическая кинетика.

**Актуальные проблемы
радиационной аэротермодинамики
спускаемых космических аппаратов**

Несмотря на то, что процессы радиационного переноса энергии применительно к аэрофизике спускаемых космических аппаратов (КА) изучаются уже порядка 50 лет, различные расчетные, экспериментальные и летные данные последних лет [1] показывают значительную неопределенность указанных данных по радиационному нагреву космических аппаратов, в особенности в условиях разрушения тепловой защиты. Настоятельная необходимость решения данных задач диктуется созданием нового поколения спускаемых КА.

Актуальные проблемы компьютерной аэротермодинамики обсуждаются на примере анализа двухмерных и трехмерных расчетных данных для спускаемых КА различного класса, а также результатов тестирования расчетных моделей. Приведены данные по конвективному и радиационному нагреву марсианских КА, разрабатываемых в Европейском космическом агентстве [2]. Проблемы сильного радиационно-газодинамического взаимодействия обсуждаются на примере радиационной аэротермодинамики космического аппарата «Stardust» [3]. Данные летного эксперимента Fire-II используются для анализа различных кинетических моделей высокотемпературного воздуха [4].

**Радиационная газовая динамика
космических аппаратов нового поколения**

В настоящее время космическими агентствами разных стран разрабатываются спускаемые КА нового поколения, отличительной чертой которых являются увеличенные размеры, что позволяет планировать орбитальный и сверх орбитальный полет шести космонавтов. Например, КА типа ORION [5] имеет диаметр миделевого сечения более чем 5 метров.

Ближние параметры имеет разрабатываемый в России новый космический аппарат [6]. Это означает, что при орбитальном входе отход ударной волны от поверхности космического аппарата может достигать 30–50 см. При этом, размеры области неравновесного газа за фронтом ударной волны составляют несколько сантиметров. В этих условиях радиационный нагрев поверхности становится соизмеримым с конвективным нагревом и может превосходить его даже при орбитальном входе космических аппаратов.

В настоящем исследовании в трехмерной постановке решена система уравнений движения вязкого, теплопроводного, химически неравновесного, селективно излучающего и поглощающего газа для двух форм КА большого размера (порядка 5 м). Основными целями работы являются сопоставление конвективного и радиационного нагрева всей поверхности кос-

мического аппарата в условиях орбитального входа космических аппаратов в атмосферу Земли, а также демонстрация преимуществ нового научного направления создания компьютерно ориентированных интегрированных моделей физической механики.

Важной особенностью современных моделей компьютерной аэрофизики спускаемых КА является увеличивающийся удельный вес *ab-initio* моделей (моделей процессов, основанных на так называемых первых принципах). Такие модели позволяют производить расчет элементарных физико-химических процессов, теплофизических, переносных и спектральных оптических свойств веществ с использованием систем уравнений, формулируемых в квантовой механике, физической и химической кинетике, в статистической физике. Интеграция указанных моделей с феноменологическими подходами механики сплошных и разреженных сред составляет основу так называемого интегрированного или многоуровневого описания процессов и явлений.

По мере расширения областей применения аэрофизики в направлении анализа неравновес-

Разработанный метод основан на использовании схем расщепления по физическим процессам. Для численного интегрирования уравнений Навье – Стокса применяется AUSM (Advective Upwind Splitting Method) конечно-разностная схема. Полностью неявные конечно-разностные схемы второго порядка точности применяются для численного интегрирования уравнения сохранения энергии и диффузии компонентов смеси газов, а также системы уравнений сохранения колебательной энергии двух- и трехатомных молекул в модовом приближении. Указанные системы уравнений интегрируются с использованием многоблочной многосеточной технологии.

Численный метод реализован в компьютерном комплексе NERAT-ASTEROID (Non-Equilibrium Radiation Aero Thermodynamics), разработанным в ИПМех РАН и предназначенном для численного моделирования аэротермодинамики спускаемых КА с учетом радиационного переноса энергии и неравновесных физико-химических превращений. Пример расчета аэротермодинамики КА ORION под углом атаки $\alpha = 25^\circ$ показан на рис. 1.

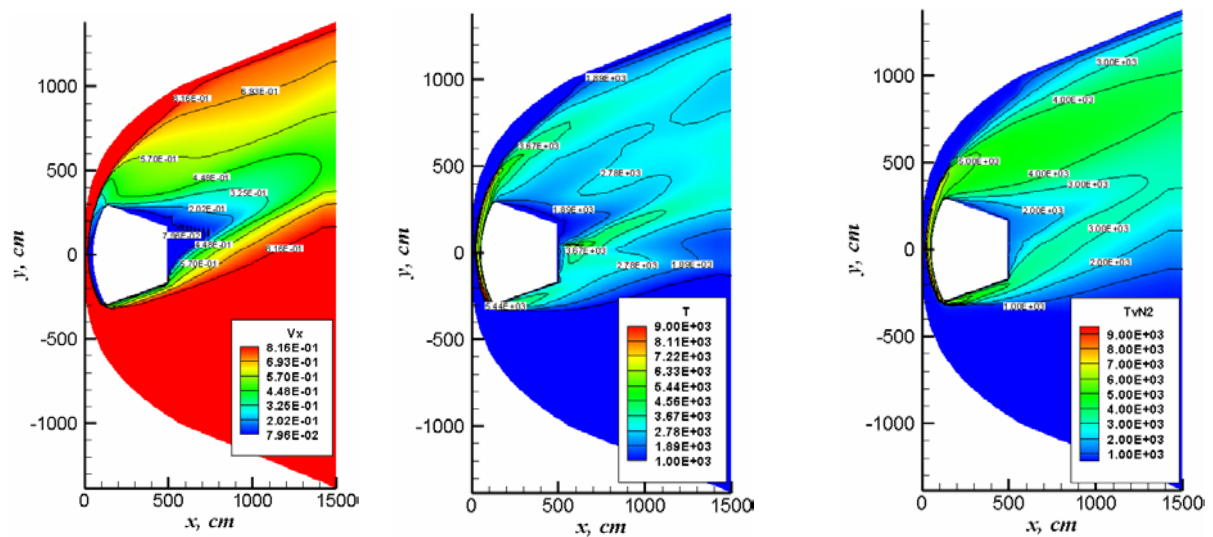


Рис. 1

ных и неидеальных процессов интегрированные подходы становятся все более необходимыми.

Реализована интегрированная модель физической механики, включающая в себя квантово-механические модели спектральных поглощательных и излучательных свойств газоплазменных смесей сложного химического состава, а также одну из расчетных моделей теории переноса теплового излучения.

На рисунке изображены поля продольной скорости $V_x = u/V_\infty$, температуры поступательного движения частиц газа (в К) и колебательного возбуждения молекулы N_2 (в К) в окрестности космического аппарата ORION при $V_\infty = 7.8$ км/с на высоте $h = 76$ км.

Обсуждаются нерешенные проблемы современной аэрофизики применительно к аэротермодинамическому проектированию космических аппаратов нового поколения.

Список литературы

1. Суржиков С.Т. В кн.: Актуальные проблемы механики: Физико-химическая механика жидкостей и газов. М.: Наука, 2010. С. 25-124.
2. Суржиков С.Т. // Вычислительная механика сплошной среды. 2010. Т. 4, №4. С. 96-111.
3. Shang J.S., Surzhikov S.T. // Journal of Spacecraft and Rockets. 2010. Vol. 47, No 5. P. 806-815.
4. Суржиков С.Т. // Журнал химической физики. 2008. Т. 27, №10. С. 49-57.
5. NASA's Exploration Systems Architecture. Final Report. NASA-TM-2005-214062. November 2005. 758 p.
6. Djadkin A., Beloshitsky A., Shuvalov V., Surzhikov S. // AIAA paper 2011-0453. 2011. 29 p.

RADIATIVE GAS DYNAMICS OF ENTRY PROBES OF NEW GENERATION*S.T. Surzhikov*

Challenging problems of radiative gas dynamics of entry probes of the new generation are considered and discussed. Special attention is given to the formulation of integrated models of radiative gas dynamics. Some significant problems of physical-chemical kinetics are discussed which are the key problems of modern aero-physics of entry probes.

Keywords: radiative gas dynamics, entry probes, physical-chemical kinetics.