

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Брызгалова Андрея Ивановича

"Численное моделирование течений неравновесной плазмы в высокочастотном плазмотроне", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа посвящена совершенствованию методов численного моделирования высокоэнтальпийных течений, возникающих у поверхности твердых тел при обтекании потоком низкотемпературной химически неравновесной плазмы. Актуальность темы связана с развитием вычислительной инструментальной базы для прогнозирования, совершенствования и сопровождения экспериментальных методов исследования термостойкости материалов аэрокосмического назначения.

Исследуются процессы в барокамере высокочастотных индукционных плазмотронов, ранее созданных в ИПМех РАН. Внимание уделяется анализу тепловых потоков и каталитической активности поверхности теплозащитных материалов.

Существенная неравновесность плазмы у поверхности обтекаемого тела требует применения моделей, учитывающих химическую неравновесность в плазме (высокие скорости протекания реакций), эффекты релаксации поступательной и колебательной температур. Учет неравновесных факторов в плазме особенно важен при численном моделировании условий проведения экспериментов с плазмотронами повышенной мощности.

Созданное автором программное обеспечение позволяет производить вычислительные эксперименты и получать расчетные данные для оптимизации режимных параметров натурального эксперимента по аэродинамическому нагреву тела в потоках плазмы различных газов. Наибольший интерес представляют результаты использования воздуха в качестве плазмообразующего газа.

Работа состоит из введения и 6 глав. В первой части работы дается обзор существующих в мире генераторов низкотемпературной плазмы, в котором автор уделяет особое внимание высокочастотным индукционным плазмотронам как уникальным установкам.

В основу математической модели химически неравновесной плазмы положены уравнения Навье-Стокса для многокомпонентного газа, дополненные модельными представлениями Чепмена-Энскога, Эйкена,

Стефана-Максвелла для коэффициентов вязкости, теплопроводности и диффузии. Для решения уравнений используется ряд современных разностных схем и алгоритмов, их эффективной численной реализации. Верификация вычислительных программ проведена на решении ряда тестовых задач газовой динамики. Валидация разработанных программных продуктов осуществлялась путем сопоставления с данными экспериментов. Разработан вычислительный модуль расчета двумерного электрического поля, который используется при расчете течений плазмы в разрядном канале и барокамере плазмотрона. Созданное автором программное обеспечение может быть использовано в ИПМех РАН и других заинтересованных в данной теме организациях.

Результаты диссертации достаточно хорошо опробованы на различных конференциях и опубликованы в центральных рецензируемых журналах. Личный вклад автора, представленный в автореферате, не вызывает сомнений.

В качестве замечаний можно выделить следующие вопросы.

1. Результаты работы позволяют моделировать обтекание спускаемого аппарата при входе в атмосферу, т.е. на начальном участке пути, где плотность воздуха низкая, скорость потока невысокая, что вполне удовлетворяет параметрам расхода воздуха в барокамере индукционного плазмотрона. В плотных слоях атмосферы обтекание аппарата происходит в других условиях, которые в ВЧ-плазмотроне трудно воспроизвести.
2. В обзорной части работы нет информации о широком применении электродуговых плазмотронов. Наряду с ВЧ-плазмотронами по нагреву газов требуется дать сравнительные характеристики электродуговых плазмотронов переменного и постоянного тока. Особое место здесь могут занимать электродуговые плазмотроны постоянного тока с межэлектродной вставкой.

Зав. лабораторией Физики плазменно-дуговых и дуговых процессов в
Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН, главный научный сотрудник,

д.ф.-м.н., профессор



О.Б. Ковалев

