ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию К.В. Папиной «Колебательная и химическая кинетика в потоках воздуха в соплах»

Работа посвящена исследованию течений пятикомпонентного воздуха в соплах с учетом неравновесных химических реакций диссоциации, рекомбинации и обмена атомами. Актуальность темы связана с расчетами течений в соплах реактивных двигателей и ударных труб, в лазерных и химических системах. Неравновесные течения в соплах рассматривались ранее во многих работах, однако большинство результатов получено для бинарных смесей, а течения многокомпонентных смесей до настоящего времени изучены недостаточно. Поэтому цель настоящей работы состояла в изучении эффектов неравновесной кинетики в потоках пятикомпонентного воздуха в соплах.

Работа состоит из двух глав. В первой главе приведены результаты численного моделирования одномерных стационарных течений воздуха в соплах в рамках одно-температурного описания неравновесных химических реакций. Во второй главе представлена более строгая модель течений воздуха в соплах, учитывающая детальную поуровневую колебательную и химическую кинетику. Этот подход будет использован автором в дальнейших исследованиях.

В первой главе система уравнений для макропараметров подготовлена для численного интегрирования: уравнения записаны в безразмерных переменных, приведены к виду, разрешенному относительно производных, детально рассмотрены релаксационные члены уравнений кинетики. Выполнены расчеты однотемпературных коэффициентов скорости диссоциации и реакций обмена на основе нескольких вариантов обобщенной формулы Аррениуса. Показано сравнение коэффициентов скорости разных реакций в выбранных температурных интервалах, а также сравнение коэффициентов скорости каждой реакции, найденных на основе разных аппроксимаций, рекомендованных в литературе. Результаты проведенного анализа полезны для практического использования в расчетах разных течений воздуха. Далее представлены результаты численного моделирования течений воздуха в соплах разной формы, при разных условиях в критическом сечении, с учетом двух моделей колебательных спектров молекул (гармонических и ангармонических осцилляторов) и разных аппроксимаций коэффициентов скорости химических реакций диссоциации и обмена. Представлен детальный анализ результатов. Кроме того, задача была решена как с учетом всех реакций, так и без учета рекомбинации и реакций обмена и представлено сравнение полученных данных. Проведенное в работе исследование позволило оценить влияние на параметры течений в соплах следующих эффектов:1) формы сопла, 2) условий в критическом сечении, 3) эффектов ангармоничности колебаний молекул, 3) реакций рекомбинации и обмена, 4) выбора параметров в законе Аррениуса. В работе отражено современное состояние проблемы: использованы модели реакций из разных источников, показано сравнение результатов с данными, полученными другими авторами при поуровневом описании и упрощенных схемах реакций. В системе Black Board указано 22% текстовых совпадений. Содержательный их анализ показал, что они представляют собой указание использованных источников, диапазона температур, стандартных терминов и обозначений.

Содержание работы соответствует заявленной теме. Выводы, сделанные К.В. Папиной на основе разработанной численной модели и большой серии проведенных расчетов, являются обоснованными и полезными. Считаю, что работа заслуживает оценки отлично и полученные новые результаты могут быть опубликованы.

Научный руководитель, д.ф.-м.н. профессор Е.А. Нагнибеда

24.05. 2015