

**ОТЗЫВ Федерального государственного унитарного
предприятия "Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения"**

на автореферат диссертации Сторожева Дмитрия Алексеевича на тему "Исследование неравновесных физико-химических процессов в механике сверхзвуковых струй и плазмы газового разряда ", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Представленная работа посвящена созданию методики расчёта газовых разрядов в среде водорода и азота, а также численному моделированию излучения от струй твёрдотопливных двигателей. Рассмотрены неравновесные процессы, происходящие в газовых разрядах, в том числе, возбуждение электронных уровней атомов и молекул, релаксация колебательной энергии, диссоциация, рекомбинация, ионизация. Все процессы рассматриваются на уровне кинетики электронных и колебательных уровней.

Актуальность избранной темы.

Актуальность работы связана в первую очередь с необходимостью создания методик численного моделирования течения плазмы в высокочастотных и электродуговых плазмотронах, в ударном слое около гиперзвуковых аппаратов и т.д., а также с необходимостью определения лучистых тепловых потоков и спектрального распределения излучения от плазмы для различных приложений.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Рассматриваемая работа связана с проводимыми в настоящее время следующими направлениями по данной тематике:

- создание десантного модуля ЭкзоМарс, предназначенного для посадки на Марс;
- создание перспективного возвращаемого пилотируемого транспортного корабля (ПТК), предназначенного, в том числе, для полётов на Луну;
- создание ракетносителя Ангара-А5;

–разработка конструкции гиперзвукового прямоточного двигателя на водороде.

Научная новизна.

В ходе выполнения диссертационной работы автором получены следующие новые результаты:

1. Разработана физико-математическая модель для численного моделирования тлеющего разряда. Для нахождения коэффициентов переноса, а также констант скоростей реакций решается кинетическое уравнение Больцмана для функции распределения электронов. Для расчета релаксации колебательной и электронной энергии решается система уравнений поуровневой кинетики.
2. Создана база данных констант скоростей и сечений рассеяния электронов на молекулах и атомах водорода для процессов, протекающих в плазме газовых разрядов.
3. Проведено исследование структуры тлеющего и пеннинговского разрядов.
4. Разработана методика решения системы уравнений неравновесной газодинамики для решения задачи об истекании струи продуктов сгорания из сопла твердотопливного двигателя. Для оптимизации скорости работы программы разработана параллельная версия компьютерного кода.
5. На основе метода прямого статистического моделирования Монте-Карло создана программа расчёта спектральной излучательной способности струи от твёрдотопливной двигательной установки.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

Теоретическая ценность работы заключается в разработке математической и физической модели неравновесных процессов, происходящих в тлеющем и пеннинговском газовых разрядах.

Практическая значимость результатов исследований состоит в разработке программ численного моделирования истечения струй от твердотопливных двигательных установок, а также спектрального распределения излучения от них.

Обоснованность и достоверность работы.

Проведена верификация методики путем сравнения полученных с ее помощью результатов численного моделирования излучения модельной струи двигателя с расчётами других авторов. Использование теоретических и физических моделей обосновано с помощью сравнения с расчётами других авторов.

Наряду с положительными сторонами диссертационной работы Сторожева Д.А. следует отметить и некоторые недостатки:

1. В автореферате отсутствует сравнение расчётов с экспериментальными данными, что не позволяет судить о точности разработанной методики.
2. Не описана физическая модель, которая была использована при расчётах излучения модельных струй двигателей.
3. Недостаточно обоснована практическая значимость выбора плазмы водорода и азота для изучения.

В целом диссертационная работа, судя по автореферату, актуальна, выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты, которые могут быть использованы при расчётах газовых разрядов и излучения от факелов двигательных установок. Результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных журналах. Диссертационная работа Сторожева Дмитрия Алексеевича, несмотря на отмеченные недостатки, заслуживает положительной оценки.

Отзыв рассмотрен на заседании подсекции №1 секции № 2 НТС ФГУП ЦНИИмаш (протокол № 30 от 22 октября 2018 г.).

Старший научный сотрудник отдела 2101
кандидат физико-математических наук
Кусов Андрей Леонидович, тел. 8-495-513-54-67, 141070, г. Королёв,
ул. Пионерская, д.4, kusoval@tsniimash.ru



А.Л. Кусов

Подпись Кусова А.Л. удостоверяю
Главный ученый секретарь института
доктор технических наук, профессор
Смагин Юрий Николаевич, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д.4.



Ю.Н. Смагин