

## ОТЗЫВ

об автореферате диссертации Абгаряна Микаэла Вартановича «Численное моделирование струи разреженной плазмы, исходящей из электрореактивного двигателя», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «механика жидкости, газа и плазмы».

Стационарные плазменные двигатели СПД являются одной из наиболее распространенных разновидностей плазменных двигателей. Они используются в космических исследованиях в качестве двигателей малой тяги и применяются для выполнения задач стабилизации и коррекции орбит спутников, расположенных в основном на геостационарной орбите. В последнее время ввиду высоких технических характеристик двигателя данного типа применяются и для других задач, таких как довыведение спутников на высокие орбиты. Тяга в двигателях СПД создается благодаря ускорению положительных ионов плазмы разряда с помощью постоянного электрического поля.

При работе СПД из его сопла, срез которого представляет собой кольцевой канал, вытекает струя квазинейтральной плазмы. В результате столкновений компонент плазмы в струе образуются вторичные потоки плазмы, которые распространяются в широком диапазоне углов отклонения от оси двигателя, включая обратную полусферу. Вторичные потоки отрицательно влияют на работу других устройств космического аппарата. Поэтому задаче определения параметров вторичных потоков посвящено большое количество работ.

В последнее время для определения параметров распределений компонент плазмы в струе и вне ее применяются, в основном, статистические методы. Диссертант использовал другой подход, основанный на решении системы уравнений типа Больцмана относительно функций распределения ионов и нейтралей. Правомерность такого подхода базируется на анализе чисел Кнудсена, который показал, что при параметрах, характерных для струи СПД, изменения функций распределения происходят, кроме естественного разлета струи, только благодаря резонансной перезарядки ионов на нейтральных атомах. Это позволило упростить задачу и решать систему интегро-дифференциальных уравнений относительно функций распределения только для ионов и нейтралей, а электронную компоненту использовать для определения потенциала электростатического поля как функции плотности ионов.

Одним из несомненных достоинств работы является то, что М.В. Абгарян учел квазиимпульсный характер работы СПД с частотами порядка десятков кГц и исследовал задачу в нестационарной постановке. Нельзя не отметить удачный способ представления результатов проведенных расчетов: диссертант выполнил визуализацию рассчитанного течения струи, что делает работу достаточно наглядной и полезной как для понимания исследуемых процессов и проведения дальнейших исследований, так и для использования, например, в учебном процессе. Несомненна и практическая ценность работы, поскольку две известные космические фирмы используют разработанный диссертантом программный продукт.

Имеются замечания к изложению в автореферате результатов выполненной диссертантом работы:

1. Информативная часть на Рисунке 3 занимает крайне малую часть рисунка. В описании рисунка, приведенном на стр.17, неточно указаны соответствующие цвета, что вводит читателя в заблуждение.

2. На Рисунке 4 следовало бы оставить только поле вторичных ионных потоков и сделать его крупнее, ведь именно рассчитанное распределение вторичного потока являлось основной целью выполненного исследования.

3. На Рисунках 7 и 8 численные значения линий уровня плотностей ионного тока трудно различить. Можно было сделать линии уровня более «разреженными», либо оставить только их цветовую дифференциацию, добавив при этом цветовую шкалу.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

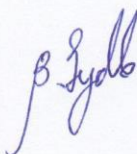
Вх. № 19-06 2019



Данные замечания носят редакционный характер и не изменяют высокого уровня проведенного исследования и полученных результатов. Диссертационная работа Абгаряна Микаэла Варгановича выполнена на хорошем научном уровне, является законченной научно-исследовательской квалификационной работой. Основные результаты работы отражены в достаточном количестве публикаций, входящих в Перечень ВАК, а ее автор, Абгарян Микаэл Варганович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «механика жидкости, газа и плазмы».

14 июня 2019 г.

Главный научный сотрудник  
Федерального государственного учреждения  
«Федеральный Исследовательский Центр  
«Информатика и управление»  
Российской академии наук»,  
д.ф.-м.н., профессор  
Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, 40.  
E-mail: zubov@ccas.ru.  
Тел.: 499-135-35-45.



Зубов Владимир Иванович

Подпись Зубова В.И. заверяю.  
Ученый секретарь ФИЦ ИУ РАН  
д.т.н.



Захаров В.Н.