

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Абгаряна Микаэла Варгановича «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».

Диссертация Абгаряна М.В. посвящена расчетно-теоретическому исследованию задачи о струе разреженной плазмы, исходящей из стационарного электрореактивного двигателя. В этом плане она представляет дальнейшее развитие направления, связанного с использованием кинетической теории для исследования движения плазмы. Это направление, родоначальником которого является А. И. Морозов, предполагает решение системы кинетических уравнений, которые адекватно описывают состояние изучаемого плазменного образования и разработку методов их численного решения. В этом плане работа значительно выделяется из работ в области моделирования плазменной струи, в которых расчеты выполняются с использованием статистических методов, таких как РС-метод, методы Монте-Карло с присущими этим методам как достоинствами, так и недостатками. В предлагаемой работе функции распределения компонент плазмы, ионов и нейтральных атомов, определяются путем решения системы интегро-дифференциальных кинетических уравнений с помощью разработанного соискателем численного метода, являющегося модернизацией известного метода расщепления по физическим параметрам.

Несомненным достоинством и особенностью выполненной работы является наиболее полная трехмерная нестационарная постановка задачи, что особенно важно, учитывая известный экспериментально нестационарный характер течения из сопла плазменного двигателя. Фактически плазменный поток представляет собой периодическое истечение сгустков плазмы с частотой порядка десятков кГц. Данный характер истечения не учитывается ни в одной расчетной модели, в которых в подавляющем числе случаев рассмотрено стационарное течение струи.

В работе данный характер течения с помощью достаточно оригинальной процедуры вводится в граничные условия на срезе сопла двигателя. Далее программа фактически рассчитывает эволюцию плазменного сгустка с учетом электрических и магнитных полей, в том числе и внешних, а также ряда физических процессов. Одним из важнейших процессов является так называемая резонансная перезарядка ионов на нейтралах, которая приводит к возникновению ионных потоков в широком диапазоне углов вылета, включая обратные токи ионов. Возникновение таких потоков существенно влияет на работу

систем КА, окружающих двигатель, ухудшая их технические характеристики, в том числе и ресурс работы. Именно поэтому определению характеристик распределения ионов перезарядки посвящено огромное количество работ. В данной работе рассчитывается функция распределения всех ионов, в том числе, естественно, и ионов перезарядки. Это обстоятельство также можно отнести к достоинствам предлагаемой модели. Моделирование в работе доведено до визуализации процесса эволюции струи, что делает работу наглядной и привлекательной для применения в учебно-методическом плане.

Суммируя вышеизложенное можно заключить, что исследование выполненное соискателем имеет несомненную теоретическую и практическую значимость. Абгаряном М. В. как соавтором разработано три программы: для расчета течения плазменной струи в ближней зоне, для расчета влияния перезарядочных ионов на формирование течения струи и для расчета влияния внешнего постоянного магнитного поля на струю плазмы из СПД. На программы получены авторские свидетельства, разработки переданы по лицензионным договорам в EADS Astrium и в ФГУП ОКБ «Факел».

Диссертация выполнена на должном научном уровне, изложена корректно и вместе с тем доступным для научно-технических работников языком. Основные научные результаты диссертации получены Абгаряном М.В. самостоятельно. Результаты работы были доложены на различных международных конференциях и опубликованы в статьях в журналах, входящих в перечень ВАК и имеющих международный индекс цитирования (Web of Science и Scopus).

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям ВАК, а ее автор, Абгарян М.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный руководитель, д. ф.-м. н., с. н. с.,  
 профессор кафедры «Высшая математика» МФТИ  
 А.М Бишаев

16.01.2019  
*Бишаев*

«Подпись Бишаева А.М. заверяю»

Директор НИИ ПМЭ МАИ академик РАН

Г.А. Попов

