

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук Кима Владимира
на диссертацию Чернышева Тимофея Владимировича
«Экспериментальные и численные исследования нарушения
стационарности горения интенсивных разрядов с замкнутым
дрейфом электронов», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 «Физика плазмы».

В настоящее время электрореактивные двигатели (ЭРД) и, в частности, двигатели с замкнутым дрейфом электронов (ДЗДЭ), в разработке и применении которых Россия имеет несомненный приоритет, успешно используются как в России, так и за рубежом в системах коррекции орбит геостационарных ИСЗ, а также при решении маршевых задач, примерами которых являются перевод КА «Smart -1» с околоземной на окололунную орбиту и довыведение КА с промежуточной на геостационарную орбиту. Используются ускорители с замкнутым дрейфом электронов и при решении технологических задач, таких, как очистка поверхностей и нанесение на них покрытий в вакууме. Однако, несмотря на достаточно большое время, прошедшее с начала их разработки, физика процессов в этих двигателях и ускорителях изучена недостаточно полно для того, чтобы инженеры могли рассчитывать их конструктивные параметры и параметры рабочих режимов по обоснованным и достаточно точным методикам. В частности, до настоящего времени недостаточно изучены процессы зажигания разряда в таких устройствах, условия возникновения и характеристики неустойчивостей, которыми богат интенсивный разряд в скрещенных электрическом и магнитном полях. Поэтому тема диссертации Чернышева Т.В., посвященной экспериментальному и расчетному исследованию переходных процессов при зажигании разряда и случаев нарушения горения интенсивного разряда с замкнутым дрейфом электронов является актуальной.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав и Заключения.

Во Введении - главе 1 достаточно подробно рассмотрены результаты проведенных исследований по экспериментальному исследованию и расчетному моделированию процессов в устройствах с замкнутым дрейфом электронов (стационарных плазменных двигателях - СПД и двигателях с анодным слосом - ДАС). На основе их анализа сформулированы основные задачи работы, направленные на выявление влияния катодного тока на характеристики переходных процессов в момент зажигания разряда в ДАС и области существования стационарного разряда, а также на выявление процессов, нарушающих стабильность разряда. Для решения этих задач автором выполнен цикл экспериментальных исследований характеристик зажигания и особенностей горения разряда в лабораторной модели ДАС,

разработана одномерная, полностью кинетическая модель разряда, учитывающей собственное магнитное поле в канале с классической проводимостью и проведено численное моделирование процессов зажигания и горения разряда.

В главе 2 приведены описание методики и результатов исследования процессов при зажигании разряда с катодами, обеспечивающими регулируемые токи. Показано, что значения разрядного и холловского токов в момент зажигания разряда могут до 10 раз превышать установившиеся значения. Показано также, что амплитуда тока зависит от тока, заданного катодом, и что суммарный заряд, переносимый за период зажигания разряда, примерно соответствует полной ионизации запаса рабочего газа, накопленного в разрядном промежутке за время зажигания.

В главе 3 изложены результаты экспериментального исследования границ устойчивости разряда по магнитному полю и разрядному напряжению. Определены границы существования стационарного ускорительного режима работы и показано, что колебания разрядного тока и холловского тока находятся в противофазе.

В главе 3 приведено описание разработанной автором модели для численного моделирования процессов в рассматриваемом устройстве, принятых допущений, расчетных соотношений, метода и алгоритма расчетов.

В главе 4 приведено описание результатов численного моделирования процесса зажигания и горения разряда при различных условиях его реализации.

К новым научным результатам, полученным в работе, можно отнести следующее:

- показано, что уровень токов разряда при его зажигании может до 10 раз превышать установившееся значение и определяется током с катода, а величина заряда, переносимого за период зажигания – запасом рабочего газа накопленного или поступающего в разрядный промежуток за период зажигания разряда;

- впервые для ДАС проведено бесконтактное измерение переменной составляющей холловского тока и показано, что изменения разрядного и холловского тока в режиме низкочастотных ионизационных колебаний изменяются в противофазе;

- экспериментально определены границы ускорительных режимов работы ДАС, соответствующих максимальной тяговой эффективности, и показано, что эти границы близки к кривым постоянного размагничивания, а частота упомянутых колебаний разрядного (анодного) и холловского тока примерно равна обратному времени пролета атомами расстояния порядка ларморовского радиуса электронов;

- учтено влияние перезарядки ионов на нейтральных атомах в вакуумной камере в вакуумной камере на расходимость струи и показано, что полуширина поперечного распределения потока ионов в струе не изменяется;

- построена полностью кинетическая нестационарная модель газового разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях в одномерном по координатам и трехмерная по скоростям с учетом размагничивания плазмы собственным магнитным полем и показано, что разработанная модель воспроизводит и позволяет объяснить основные эффекты, обнаруженные в процессе экспериментальных исследований зажигания и горения разряда.

Научные положения, используемые в диссертации, представляются обоснованными по следующим причинам:

- необходимость учета размагничивающего действия холловского тока обоснована оценками автора, основанными на учете реальных значений тока при зажигании разряда и законах общей физики;

- возможность использования напряжения на катушках намагничивания для оценки изменения холловского тока подтверждается предыдущими измерениями холловского тока с использованием специальных индукционных датчиков в других работах и анализом автора влияния холловского тока на медленные изменения магнитного поля в магнитной системе модели;

- возможность использования чисто классических механизмов переноса электронов поперек магнитного поля и одномерной постановки задачи расчетного анализа обоснована тем, что в работе исследовался короткий разрядный промежуток при минимальном ограничении его стенками.

Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что как экспериментальные, так и расчетные данные получены известными и апробированными методами, а также тем, что результаты моделирования находятся в качественном согласии с результатами экспериментального исследования.

Перечисленные результаты опубликованы в печати, в том, числе, в 4-х статьях в журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты работы обсуждались также на международных конференциях, а также на научных семинарах в ВЭИ и межведомственном семинаре в МАИ по электрическим ракетным двигателям.

Практическая значимость полученных результатов определяется тем, что они позволяют использовать их для разработки мер защиты систем электропитания двигателей и технологических источников с замкнутым дрейфом электронов при зажигании разряда, а также при определении границ их устойчивой работы.

К недостаткам диссертации можно отнести то, что в ней не удалось экспериментально определить изменение продольного положения центра тяжести холловского тока при зажигании разряда и на режимах работы с автоколебаниями, что делает недостаточно убедительным предложенное автором объяснение соотношения фаз колебаний разрядного и холловского тока смещением положения центра тяжести этого тока. Но этот недостаток можно рассматривать скорее как пожелание для дальнейшей работы автора.

В целом, диссертация написана достаточно грамотным языком. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

На основе всего изложенного я считаю, что рассмотренная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям ВАК, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842 от -24.09.2013г., а ее автор Чернышев Тимофей Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 «Физика плазмы».

Официальный оппонент, доктор технических наук,
главный научный сотрудник отдела
стационарных плазменных двигателей НИИ ПМЭ МАИ
Телефон: +7(499)1582985,
адрес электронной почты: riame4@sokol.ru

В. Ким

Ученый секретарь научно-исследовательского
института прикладной механики и электродинамики
Московского авиационного института (НИИ ПМЭ МАИ),
125080, г. Москва, Ленинградское шоссе, д.5,
тел.: +7(499) 1580020, адрес электронной почты:
riame@sokol.ru



Е.М.Петров