

## ОТЗЫВ

на автореферат Меркурьева Дениса Владимировича  
Московский авиационный институт

### **“Способы повышения тяговых характеристик стационарного плазменного двигателя на режимах работы с высоким удельным импульсами тяги**

представленную на соискание учёной степени кандидата  
технических наук по специальности 05.07.05

“Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки  
летательных аппаратов”.

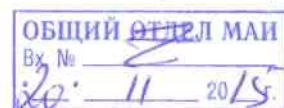
Стационарные плазменные двигатели успешно используется для коррекции и поддержания орбит искусственных спутников Земли, ИСЗ. В настоящее время появился ряд задач, в частности, коррекция геостационарных орбит ИСЗ, возможность создания маршевых двигателей для полётов на другие планеты, которые требует создания двигателей с более высоким удельным импульсом более 30 км/с и большим ресурсом работы. Поэтому актуальность данной работы не вызывает сомнения.

На основании анализа характеристик СПД автор делает вывод, что повышение удельного импульса можно достичь путем совершенствования магнитной системы и повышения электрической прочности конструкции двигателя.

В первой главе обосновывается выбор модели, усовершенствование которой может привести к существенному улучшению характеристик двигателя. В качестве базовой модели СПД была выбрана модель с изолированным магнитным экраном, размещённым внутри канала СПД. С точки зрения автора это позволяет изменять конфигурацию магнитного поля, что даёт возможность изменять зону ускорения ионов и зону эрозии стенок канала как в одноступенчатом, так и в двухступенчатом режиме работы двигателя. Кроме того, обосновывается необходимость изучения радиальных потоков ионов с большой энергией в области среза двигателя в зависимости от режима работы СПД, которые определяют зону и скорость эрозии стенок канала.

Во второй главе содержится описание установки и методики измерений и, что очень важно, изложена методика сравнения характеристик двигателей, которая позволяет получать надёжные результаты при измерениях, где возможны большие ошибки.

Основное внимание в этой главе уделяется исследованию характеристик двигателя СПД-100П с оптимизированным магнитным полем, который был получен посредством изменения положения магнитного экрана и его размеров при разных режимах работы двигателя. Было показано, что при



низких расходах наилучшие характеристики получаются при переходе к двухступенчатому режиму работы двигателя. При этом оценка ресурса работы двигателя при напряжении на второй ступени 750 В лежит в пределах 5-10 тысяч часов. В результате исследований было подтверждено, что по мере износа кромки изолятора снижается удельный импульс и тяговый к.п.д.

По мнению автора, ухудшение характеристик связано с уменьшением плотности рабочего газа за счёт уширения диаметра канала.

Обсуждается изменение характера загрязнения стенок и появление периодического увеличения разрядного тока.

Автором были сделаны выводы, что создание перспективных моделей возможно при уменьшении влияния уширения канала и загрязнений стенок на параметры двигателя.

Дальнейшие исследования были проведены на разработанной модели СПД- 80П имеющий диаметр ускорительного канала меньше, чем СПД- 100П. Было показано, что на этой модели по сравнению с СПД- 100П при разрядных напряжениях 700-900 В и сопоставимой мощности разряда удалось увеличить удельный импульс при одинаковом значении тягового КПД. Были выявлены особенности работы при повышенном разрядном напряжении (меньшая устойчивость рабочего режима работы, возможность устранения осадков на стенках канала, снижение параметров двигателя со временем работы двигателя).

В 3-ей главе обсуждается возможность устранения негативных последствий, выявленных при исследовании модернизированных моделей СПД. По мнению автора это можно сделать, если обеспечить работу двигателя при увеличенной плотности потока рабочего газа через канал. Для этого необходимо уменьшить протяжённость зоны ионизации и ускорения и переместить его за плоскость полюсов магнитной системы. Такая схема была уже реализована при разработке СПД-100 путём изменения конфигурации магнитного поля.

С учётом полученных результатов была изготовлена и испытана модель СПД 100ПМ, где была установлена защита поверхности магнитного экрана козырьками из керамики.

Исследования показали, что эта модель может работать уже при разрядных напряжениях до 1400-1500 В, наилучшие характеристики получаются при работе модели по двухступенчатой схеме при потенциале магнитного экрана -70 В относительно анода, при этом полный, удельный импульс тяги достигает 35 км/с.

В 4 главе изложены результаты исследований радиальных потоков ионов в окрестности выходной плоскости двигателя и проанализированы способы защиты от эрозии элементов конструкции катода.

Было установлено, что энергия таких ионов находится в диапазоне 50-200 эВ, и они образуются в выходной части ускоряющего слоя.

Было показано, что с увеличением разрядного напряжения эрозия катода не увеличивается. Уменьшение потока ионов на катод можно добиться

изменением его расположения относительно среза двигателя. Было установлено, что при боковом размещении катода относительно анодного блока, при котором устраняется попадание ионов на катод, тяговые характеристики сохраняются, хотя происходит существенное изменение разности потенциала между катодом и землёй.

В заключении автор сформулировал выводы по проделанной работе. Было подтверждено, что изменение конфигурации магнитного поля даёт возможность оптимизировать параметры двигателя. Модернизированный двигатель СПД-100ПМ дал возможность работать при разрядном напряжении до 1400 кВ. Удельный импульс увеличился до 40 км/с, тяговый КПД 0.6, при мощности до 5 квт. Это показывает, что СПД двигатели могут быть использованы для решения перспективных задач.

Результаты работы были опубликованы в журналах, докладывались на международных конференциях, были оформлены патенты на изобретения. Вместе с тем следует отметить некоторые недостатки.

Автор предполагает, что эффект увеличения тягового кпд при снижении потенциала магнитного экрана и увеличение разрядного тока при запылении стенок канала вызван изменением пристеночной проводимости в канале двигателя. Однако если этот механизм работает, то изменение проводимости имеет локальный характер, в первом случае - в пределах ширины магнитного экрана, во втором случае - в пределах зоны напыления слоёв порошка.

Очевидно, что локальное изменение проводимости не должно привести к изменению проводимости по всей длине канала и, следовательно, не должно приводить к изменению разрядного тока

Несмотря на замеченные недостатки, на основе автореферата можно сделать вывод, что представленная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Меркурьев Денис Владимирович, заслуживает присвоения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов.

Старший научный сотрудник  
НИЦ "Курчатовский институт"  
кандидат физико-математических наук

 В.А. Смирнов

подпись СМЕРНОВА В.А заверяю:

Заместитель директора по научной работе  
главный научный секретарь,  
доктор физико-математических наук, профессор



 В.И.Ильгисонис