

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Нечаева Ивана Леонидовича «Исследование перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя с повышенными характеристиками» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертационная работа посвящена проблеме повышения эксплуатационных характеристик импульсных абляционных плазменных двигателей (АИПД). Они обладают рядом важных преимуществ перед другими типами электроракетных двигателей - относительно низкая стоимость, высокий ресурс и надежность, постоянная готовность к работе, практически полное отсутствие инерционности, возможность очень точного управления тяговыми характеристиками. При этом импульсные абляционные двигатели имеют достаточно внушительные пиковые значения тока и мощности при умеренной средней мощности. В практике управления ориентацией межпланетного космического аппарата двигатели подобного типа успешно прошли испытания еще в 1964 году (Зонд-2), проложив дорогу для широкого применения самых разнообразных по принципу действия электрических ракетных двигателей (ЭРД) в космосе. В настоящее время простота и эксплуатационные преимущества АИПД среди других типов ЭРД, несмотря на весьма умеренные значения средней тяги и КПД, привлекают особое внимание разработчиков малоразмерных космических аппаратов (МКА) с массой менее 100 кг. Благодаря значительным успехам в миниатюризации электроники и широкому внедрению новых конструкционных материалов, а также появлению аэрокосмической техники с возможностью запуска легких спутников при горизонтальном старте первичного носителя, МКА приобретают все большее значение в решении практических задач в околоземном космическом пространстве. Если для освоения дальнего космоса требуются тяжелые многотонные аппараты, оснащенные маршевыми плазменными двигателями с очень высокими тяговыми и энергетическими характеристиками, то для АИПД открывается широкая область применения в составе МКА, из которых можно формировать на околоземной орбите целые управляемые группировки.

Несмотря на конструктивную простоту и надежность, АИПД нового поколения требуют проведения тщательной дополнительной экспериментальной доводки и оптимизации разрядного режима для повышения удельного импульса и энергетической эффективности. Поскольку расширение использования МКА является перспективным и объективно необходимым этапом развития космической техники, актуальность диссертационной работы Нечаева И.Л. не вызывает сомнения.

Значительным результатом диссертационной работы явилось то, что автором предложены и рассмотрены некоторые новые способы повышения удельного импульса исследуемой схемы АИПД с рельсовой компоновкой при энергии конденсаторной батареи порядка 100 Дж, что соответствует диапазону основных современных разработок. При равной с базовым образцом (АИПД-45-2) энергии разрядного импульса и сопоставимых геометрических размерах усовершенствованные модели показали заметное улучшение эксплуатационных характеристик.

Предложено и экспериментально обосновано применение асимметричного разрядного канала в рельсотронном АИПД, когда эродирующий диэлектрик подается только с одной боковой стороны, а противоположная сторона выполняется из прочного в отношении эрозии диэлектрика. Это уменьшает непроизводительный чисто тепловой расход рабочего вещества вне токового канала, в котором плазма испытывает электродинамическое ускорение. Показана возможность увеличения удельного импульса по сравнению симметричным базовым образцом на уровне 8-14%.

Дополнительное улучшение тяги достигнуто за счет применения двойного обратного токопровода, увеличивающего чисто электромагнитную составляющую в

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Эк. № 06 12 2018



ускорении плазменного потока. Эффект обоснован теоретически и численными расчетами, а в экспериментах достигнуто увеличение удельного импульса на 10-15 %.

Наибольшее увеличение эксплуатационных характеристик опытных образцов АИПД удалось добиться в результате применения двухступенчатой схемы. Судя по приведенным в автореферате публикациям, исследованиям именно этой схемы автором было уделено основное внимание. В результате экспериментальной оптимизации двух согласованных разрядных режимов в первой и второй ступенях удалось достигнуть двукратного увеличения удельного импульса опытного образца АИПД.

К достоинствам автореферата следует отнести ясное изложение и аккуратное оформление. Тем не менее, имеются некоторые замечания.

1. В автореферате не приводится общая схема экспериментальной установки со средствами диагностики. В частности, не обсуждается методика проведения измерения удельного импульса. При этом в некоторых таблицах приводятся результаты с пятью - четырьмя значащими цифрами. Возможность достижения такой стабильности режима работы и высокой точности при измерении осевой проекции среднемассовой скорости истечения вызывает сомнения.

2. В качестве одного из основных положений диссертационной работы указаны результаты экспериментальных исследований тягово-энергетических характеристик опытных образцов АИПД. Однако обсуждению энергетической эффективности двигателя в автореферате внимания не уделяется - нет оценок ни энергетического, ни тягового КПД. Энергетическая цена тяги приведена только для двухступенчатой схемы (в таблице 5 наименьшее значение составляет 137 Вт/мН). В таблице 2 приведено приращение импульса в мНс за разряд для АИПД базовой схемы с близким значением энергии конденсаторной батареи к суммарной энергии батарей двухкамерного опытного образца. Если подсчитать цену тяги, то она оказывается на уровне 50 Дж/мНс (Вт/мН). Таким образом, увеличение энергетической цены тяги для опытного образца при удвоении удельного импульса составляет более 2,7, что может указывать на некоторое снижение тягового КПД по сравнению с базовой схемой.

Замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости и высокой оценки диссертационной работы. Несомненно, что диссертация Нечаева Ивана Леонидовича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор за разработку и исследование новых перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Доктор физико-математических наук, профессор,  
зав. кафедрой физики плазмы Национального исследовательского  
ядерного университета "МИФИ" (НИЯУ МИФИ)

Валерий Александрович Курнаев

Телефон: 8(495) 324-70-24; e-mail: kurnaev@plasma.mephi.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Национальный исследовательский ядерный университет  
"МИФИ" (НИЯУ МИФИ)

<http://www.mephi.ru>; 115409 Москва, Каширское шоссе, д. 31

Подпись профессора В.А.Курнаева заверяю:

