

## ОТЗЫВ

научного руководителя доктора технических наук, профессора, директора НИИ ПМЭ МАИ академика РАН Попова Гарри Алексеевича на диссертационную работу Нечаева Ивана Леонидовича «Исследование перспективных схем абляционного импульсного плазменного двигателя с повышенными характеристиками», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов»

Нечаев И.Л. окончил с отличием факультет «Двигатели летательных аппаратов» МАИ в 2013 году по специальности «Электроракетные двигатели и энергетические установки». Со второго курса обучения в институте стал заниматься научной работой в НИИ ПМЭ МАИ по тематике абляционных импульсных плазменных двигателей (АИПД). В мае 2013 года он поступил в очную аспирантуру МАИ и стал активно выполнять программу обучения, работать над выпускной квалификационной работой, выступать на конференциях и готовить публикации в научных изданиях.

Диссертация Нечаева И.Л. посвящена исследованию перспективных схем абляционных импульсных плазменных двигателей для двигательной установки малых космических аппаратов (МКА). Данный класс космических аппаратов (КА) в силу малых сроков и стоимости создания позволит ускорить наращивание орбитальной группировки космических аппаратов РФ социально-экономического и научного назначения. Абляционные импульсные плазменные двигатели обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими типами электроракетных двигателей, но их применение практически до настоящего времени сдерживалось отсутствием группировок МКА. В настоящее время во многих странах стали проектировать подобные группировки с малой мощностью МКА. Целью данного исследования является получение новых образцов АИПД малой мощности с повышенным значением удельного импульса тяги и относительно низкой массой конструкции при фиксированных энергетических параметрах

накопителя энергии для дальнейшего получения на основе этих разработок лётных образцов.

В ходе выполнения работ Нечаевым И.Л. были созданы лабораторные модели АИПД с асимметричным разрядным каналом, двойным обратным токоподводом, а также модель двухступенчатого АИПД с одним общим электродом разрядного канала (РК). Проведена экспериментальная отработка вышеупомянутых моделей, а также исследование параметров распределения магнитных полей по длине РК для модели с двойным обратным токоподводом. Достигнуты более высокие тягово-энергетические характеристики в сравнении с базовой моделью, за которую была принята модель АИПД-45-2, предназначенная для малого космического аппарата научного назначения МКА-ФКИ-ПН2, прошедшая полный цикл наземных испытаний и являющаяся на момент начала работы лучшим образцом АИПД. Анализ проведённых расчётов позволило предельно перспективные направления исследования АИПД. Разработаны и отработаны новые схемы моделей АИПД, а также верифицированы теоретические модели, созданные для их оценки. Подготовлен и проведён ряд экспериментов фотодиагностики, съёмки высокоскоростной камерой, а также магнитозондовые измерения параметров модели, подтвердившие расчётные результаты.

Теоретическая и практическая значимость заключается в том, что проведённые исследования позволили увеличить удельный импульс тяги двигателя при асимметричной схеме и схеме с двойным обратным токоподводом до 15%, а в случае использования двухступенчатой схемы, практически, – вдвое по сравнению с базовой моделью. Результаты, полученные на двухступенчатом образце АИПД, свидетельствуют о том, что двухступенчатые схемы ускорения плазмы являются перспективными с точки зрения получения высоких среднемассовых скоростей истечения (до 20 км/с и выше).

В рамках педагогической практики в процессе обучения в аспирантуре Нечаев И.Л. проводил практические занятия со студентами. В настоящее

