

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Семенова Александра Анатольевича «Распыление керамик и керамических композитов потоками ионов низких энергий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Объем применения электрических ракетных двигателей (ЭРД) на космических аппаратах (КА) нового поколения постоянно возрастает. До 20% всех КА, запущенных в мире в 2000-2014 годах, оснащены ЭРД. Неуклонная тенденция создания все более энерговооруженных спутниковых платформ для КА с длительными сроком активного существования (САС) является отличительной чертой развития современной российской космической техники. Для таких КА характерно возрастание сложности решаемых задач и повышение требований к надежности всех служебных и целевых систем. Сложность создания современных высоконадежных КА во многом связана с обеспечением длительного срока функционирования и защищенности КА и его бортовых систем от воздействия факторов космического полета и, в частности, от воздействия техногенных факторов. И обеспечение длительного САС, таких как частицы распыленных конструкционных материалов, и частицы космического мусора, сопровождающих функционирование на орбите практически всех современных КА.

Диссертация Семенова А.А. посвящена актуальному вопросу современного космического двигателестроения – проблеме ионной эрозии материалов, используемых в конструкции ЭРД. Эрозия поверхности материалов под действием ионной бомбардировки приводит к изменению геометрических параметров узлов и деталей ЭРД и деградации их рабочих характеристик, ограничивая, тем самым, ресурс двигателей и САС КА в

целом. Распыленный материал может загрязнять близлежащие поверхности КА, изменяя их функциональные характеристики. Интенсивность ионной эрозии, во многом, определяется физическими свойствами используемых в конструкции материалов, поэтому поиск материалов, обладающих высокой устойчивостью к ионному распылению, является одной из основных задач на протяжении всего этапа развития ЭРД и, по-видимому, останется таковой в ближайшем будущем.

В представленной диссертационной работе автор рассматривает вопросы ионного распыления керамических материалов, предназначенных для изготовления разрядных камер стационарных плазменных двигателей (СПД). Актуальность данной работы очевидна, т.к. приведенные в ней данные могут быть полезны в сфере проектирования и эксплуатации как стационарных плазменных двигателей, так и электроракетных двигателей в целом.

Автором проведен большой объем экспериментальных работ, направленных на всестороннее исследование характеристик ионного распыления керамических материалов, а также композитов на их основе. Получены зависимости коэффициента распыления от энергии и угла падения ионов, от температуры поверхности. Исследована зависимость интегрального коэффициента распыления керамических композитов от концентрации компонентов, при этом автор прослеживает данную зависимость практически во всем возможном диапазоне изменения концентрации.

Анализируя полученные автором закономерности, следует отметить их новизну. Прежде всего, это относится к составу исследуемых материалов – автор исследует не только однокомпонентные керамики, а и достаточно широкий спектр керамических композитов. В этом смысле диссертация выгодно отличается от работ других исследователей, которые, в большинстве случаев, ограничиваются одной-двумя однокомпонентными керамиками (как правило, нитрид бора или оксиды кремния и алюминия). Полученные в работе зависимости коэффициента распыления керамических композитов от

концентрации компонентов являются уникальными – сведения такого рода, за исключением самого автора, никем более не публиковались. Не менее уникальными являются температурные закономерности распыления керамик, на примере которых автор опровергает существовавшее ранее представление о том, что рост интенсивности распыления вблизи температуры плавления связан не с механизмом ионного распыления, а с интенсификацией процесса испарения на поверхности.

Оценивая работу в целом, можно сказать, что она является серьезной и определенно успешной попыткой автора получить представление о характере ионного распыления целого класса конструкционных материалов – керамик и композитов на их основе. Достоверность полученных результатов определяется тщательно продуманной методикой эксперимента и подтверждается сравнением с расчетными и экспериментальными данными других исследователей.

К недостаткам представленной работы можно отнести следующее обстоятельство. Ориентируя свою работу на проблему ресурса СПД, автор приводит сравнение своих результатов с данными других исследователей, полученными на модельных мишенях, однако не приводит сравнение с результатами испытаний двигателей. Вместе с тем, данные таких испытаний существуют, и они согласуются с полученными в работе результатами. Сравнение с реальной двигательной практикой было бы гораздо интереснее и важнее, но она, к сожалению, в работе отсутствует. Однако, данное замечание не уменьшает научную и практическую значимость приводимых в работе результатов и не снижает актуальность работы.

В целом автореферат свидетельствует, что диссертация Семенова А.А. «Распыление керамик и керамических композитов потоками ионов низких энергий» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные сведения, которые могут быть использованы при разработке и проектировании новых электроракетных двигателей, а также ускорителей ионов технологического и ионного назначения. Судя по

автореферату диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, заслуживает положительной оценки, а её автор, Семенов Александр Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании подкомиссии 1-5 секции №1 Научно-технического совета Федерального государственного унитарного предприятия “Центральный научно-исследовательский институт машиностроения” (ФГУП ЦНИИмаш) (протокол № 26 от 14.08.2015).

И.о. начальника Управления
ФГУП ЦНИИмаш, кандидат
технических наук

Е.М. Твердохлебова

141070, Московская область, г.Королёв, ул. Пионерская, 4
Тел.: 8-495-513 59 23, E-mail: TverdohlebovaEM@tsniimash.ru

Начальник отдела ФГУП
ЦНИИмаш

Ю.Г. Гусев

141070, Московская область, г.Королёв, ул. Пионерская, 4
Тел.: 8-495-513 47 89, E-mail: uggusev@mail.ru

Подписи и.о. начальника Управления Твердохлебовой Екатерины Михайловны и начальника отдела Гусева Юрия Геннадьевича удостоверяю.

Советник генерального директора -
главный учёный секретарь
ФГУП ЦНИИмаш,
доктор технических наук



Ю.Н. Смагин