

## Отзыв

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

Исследование распыления керамических материалов под действием ионной бомбардировки носит, как правило, прикладной характер и связано в большинстве случаев с проблемой ресурса стационарных плазменных двигателей (СПД), используемых в составе космических аппаратов с длительным сроком эксплуатации. Анализ имеющихся по данному вопросу публикаций показывает, что в них приводятся как экспериментальные, так и теоретические результаты исследования распыления керамик, однако эти сведения весьма противоречивы, что затрудняет их использование для практических инженерных задач. Кроме того, перечень исследованных материалов ограничен однокомпонентными керамиками, а данные об эрозии керамических композитов практически отсутствуют. В этом смысле представленная диссертация, являясь прикладной работой, ориентированной на проблему ресурса СПД, выгодно отличается от работ других авторов, поскольку дает представление о распылении достаточно широкого ряда керамик и их композитов, реально используемых в двигателях данного типа.

Диссертация Семенова А.А. посвящена изучению закономерностей ионного распыления керамических материалов, используемых в конструкции СПД. *Актуальность работы* не вызывает сомнений, поскольку проблема эрозии разрядных камер, ограничивающая ресурс СПД, на сегодняшний день стоит достаточно остро. Представленные в работе данные позволяют количественно оценить масштабы данной проблемы и оптимизировать выбор материалов для разрядных камер двигателей.

Автор провёл большой объём экспериментальных работ, направленный на исследование зависимостей коэффициента распыления керамических материалов от наиболее существенных для СПД факторов: от основных параметров потока ионов (энергия и угол падения ионов), от температуры облучаемой поверхности и от концентрации компонентов в композите.

Анализируя полученные в работе данные, можно сказать следующее:

Во-первых, исследованы угловые и энергетические зависимости коэффициентов распыления для достаточно широкого набора керамических материалов. Качественный характер зависимостей был хорошо известен из теории распыления и подтвержден экспериментами, проведенными на одноэлементных материалах. Однако количественные данные по распылению исследованных в работе материалов (особенно керамических композитов) являются, несомненно, новыми и представляют интерес для практического использования не только при проектировании СПД, но и для ряда других инженерных задач.

Во-вторых, впервые исследовано влияние концентрации компонентов на коэффициент распыления керамических композитов. За исключением самого автора, данные такого рода никем более не публиковались, хотя в практическом смысле эти закономерности представляют несомненный интерес, так как позволяют оптимизировать выбор материала для разрядных камер двигателей.

В-третьих, исследованы температурные зависимости коэффициента распыления, а также изучено влияние температуры поверхности на угловые зависимости этого параметра. Для керамических материалов данные такого рода представлены также впервые и ранее никем не публиковались. На мой взгляд, выявленные в работе температурные закономерности являются наиболее интересным результатом, имеющим не только прикладное, а и весьма важное научное значение.

*Достоверность* полученных данных, вынесенных на защиту, и *справедливость* сделанных выводов не подлежат сомнению. *Практическая значимость* работы очевидна.

Результаты исследований, обсуждаемые в автореферате, достаточно *хорошо известны* научному сообществу по шести публикациям в научных журналах и по большому числу докладов, представленных на международных конференциях.

В *качестве недостатка* работы можно отметить отсутствие анализа изменений топографии и элементного состава поверхности, имеющих место в результате ионного облучения. Хотя для решаемых автором прикладных задач изменения на микро-уровне, скорее всего, не имеют особого значения – эрозия рабочих поверхностей СПД даже не на пределе их ресурса имеет существенно большие масштабы. Однако с точки зрения физики распыления многокомпонентных материалов такой анализ был бы интересен и, возможно, прояснил бы ряд моментов, не объясненных автором в работе – например, наличие дозовой зависимости коэффициента распыления в начальный момент облучения. Вместе с тем, данное замечание носит не столько критический, сколько рекомендательный характер и *не снижает общую положительную оценку диссертации*.

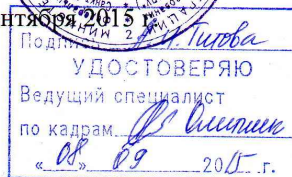
Судя по автореферату, диссертация Семенова А.А. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные сведения, которые могут быть использованы при проектировании стационарных плазменных двигателей нового поколения, а также и в ряде других инженерных задач, связанных с использованием ионных пучков и плазмы. Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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.

Профессор кафедры физической электроники  
Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого



А.И. Титов

08 сентября 2015 г.



Титов Андрей Иванович, д.ф.-м.н., профессор.  
Профессор кафедры физической электроники  
Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого.  
Политехническая 29, СПб, 195251  
Тел.: 8 812 552 7516  
E-mail: [andrei.titov@rphf.spbstu.ru](mailto:andrei.titov@rphf.spbstu.ru)