



# ФАКЕЛ

ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
ИНТЕГРИРОВАННАЯ СТРУКТУРА ИПО ЭНЕРГОМАШ

Госкорпорация «Роскосмос»  
Акционерное общество  
«Опытное конструкторское бюро «Факел»  
(АО «ОКБ «Факел»)

## Главный конструктор

Московский пр., д. 181, г. Калининград, Россия 236003  
Тел.: 8-(4012) 556-600, Факс: 8-(4012) 538-472  
e-mail: [info@fakel-russia.com](mailto:info@fakel-russia.com), [www.fakel-russia.com](http://www.fakel-russia.com)  
ОКПО 44161069, ОГРН 1203900004670,  
ИНН 3906390669, КПП 390601001

24.07.23 № 02/01-51

На №010/1729-а-12 от 04.07.2023

Отзыв на автореферат

Уважаемый Вячеслав Михайлович!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертационной работы Свотиной Викторией Витальевны «Высокочастотный ионный двигатель системы бесконтактной транспортировки объектов космического мусора», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: Отзыв на 3 л. в 2 экз.

*С уважением,*

П.А. Дронов

Исп.: Сливак Олег Олегович  
Тел.: +7-915-543-70-17

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

02.08.23



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации  
Свотиной Викторией Витальевны  
на тему: «Высокочастотный ионный двигатель системы бесконтактной  
транспортировки объектов космического мусора»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и  
энергоустановки летательных аппаратов».

Расширяются области применения ЭРД в космической технике. Одним из перспективных направлений является их использование для удаления «космического мусора», который препятствует безаварийной работе КА. За годы космической деятельности накопилось достаточно количество неуправляемых объектов на разных орбитах. При этом с ростом высоты орбит их очищение становится проблемным вопросом дальнейшей эксплуатации космического пространства. На средних и высоких орбитах очистка «мусора» требует значительных материальных затрат. Особенно критично это для геостационарной орбиты. Согласно различным источникам информации число только крупных каталогизированных объектов, находящихся в области геостационарной орбиты или пересекающих её, превышает 1600 и лишь менее трети из них находятся под управлением. Учитывая особую важность геостационарной орбиты для обеспечения различных сфер деятельности, высокую стоимость, как самих геостационарных КА, так и их доставки на орбиту, очевидна актуальность решения задачи по удалению объектов космического мусора из этой области, что находит свое отражение как в решениях ООН, так и требований ведущих мировых космических агентств к разработчикам космических средств.

Диссертационная работа Свотиной В.В. и посвящена одному из способов решения этой актуальной научно-технической задачи, а именно, выбору и оптимизации параметров высокочастотного ионного двигателя (ВЧИД) для бесконтактного увода в первую очередь крупногабаритных объектов космического мусора за пределы опасной зоны геостационарной орбиты. Данный двигатель предлагается использовать в составе электроракетной двигательной установки (ЭРДУ), разрабатываемого сервисного космического аппарата.

Для обоснования возможности создания данного двигателя, выполняющего две функции – транспортную для позиционирования сервисного КА и передачи импульса на объект космического мусора, автору потребовалось решить следующие задачи:

- провести анализ обстановки, средств и методов, которые могут быть использованы, оценить потребные запасы характеристической скорости для увода объектов мусора, выработать рекомендации по построению ЭРДУ и сформировать ее облик;
- выполнить моделирование ионно-оптической системы (ИОС) ВЧИД с оптимизацией параметров для получения минимальной расходимости ионного пучка, с оценкой баланса мощности и частиц в газоразрядной камере;
- изготовить и испытать на различных рабочих телах экспериментальный образец ВЧИД для подтверждения интегральных характеристик и возможности применения ВЧИД для бесконтактной транспортировки объектов;
- провести моделирование силового воздействия ионного пучка на объект и баллистический анализ связи объект-сервисный космический аппарат, подтверждающий возможность увода одного или нескольких объектов на орбиту захоронения.



На основе представленного автореферата диссертационной работы можно сделать вывод, что автор успешно справился с поставленными задачами. При этом в качестве новизны проведенного исследования можно отметить, что:

- разработаны методы предварительного проектного и баллистического анализа связки объект – сервисный КА для оценки возможности и целесообразности увода одного или нескольких объектов из защищаемой области геостационарной орбиты;

- разработаны рекомендации для ЭРДУ сервисного космического аппарата, включающей пару компенсирующих стационарных плазменных двигателей и ВЧИД, выполняющий задачи точного позиционирования сервисного космического аппарата и силового воздействия на объект космического мусора.

- получены регрессионные зависимости для углов расходимости ионных пучков, генерируемых ИОС с щелевой и гексагональной круглой перфорациями электродов, которые позволяют без проведения полномасштабного моделирования оценить выходные параметры ВЧИД и оптимизировать конструкцию ИОС;

- разработана методика усреднения энергий возбуждения и ионизации энергетических уровней термов рабочих тел, позволяющая существенно упростить проведение оценки баланса частиц и мощности в газоразрядной камере ВЧИД с учетом изменений массового потока атомов рабочего тела;

- создана методика оценки силового воздействия ионного пучка на объект, которая позволяет определить требуемые параметры системы бесконтактного воздействия, параметры работы системы управления сервисного КА и углы отклонения компенсирующих ЭРД с учетом формы объекта и возникающих боковых отклонений и вращения от воздействия ионного пучка на объект;

- по результатам предварительного моделирования изготовлена конструкция экспериментального образца ВЧИД, проведены ее исследовательские испытания на различных рабочих телах с использованием в составе конструкции ИОС электродов из высокоплотного углерод-углеродного композитного материала с щелевой и круглой гексагональной перфорациями полностью подтвердившие результаты предварительного моделирования.

Очевидна и практическая значимость результатов работы, так:

- с помощью разработанных методик предварительного проектного и баллистического анализа и рекомендаций можно проводить оценку целесообразности и возможности создания различных многофункциональных сервисных КА на базе ЭРДУ для обслуживания геостационарной орбиты с функцией бесконтактной транспортировки;

- полученные регрессионные зависимости расходимости ионных пучков, генерируемых ИОС, методики усреднения энергий возбуждения и ионизации энергетических уровней термов рабочих тел могут быть использованы при создании и оценки основных выходных параметров новых поколений ВЧИД и оптимизации ИОС;

- экспериментальный образец ВЧИД может быть использован для создания летно-экспериментальных образцов с последующей летной отработкой.

Объект и предмет исследований, а также цель работы и применяемые методы соответствуют заявленной специальности. Диссертационная работа отличается своей системностью и комплексностью. В работе автор опирается не только на результаты других исследователей, но и на собственные исследования, включая экспериментальную работу на стенде НИИПМЭ МАИ. Также хотелось бы отметить, как дополнительный положительный фактор – наличие у автора патентов в области разрабатываемой техники.

В качестве замечаний можно высказать следующее:



- создание ЭРДУ с разными по номиналам питания и логикой управления двигателями должно привести к снижению надежности системы электропитания и управления, автором не даны оценки на сколько это скажется на увеличении массы двигательной установки;

- методика усреднения энергий возбуждения и ионизации энергетических уровней термов рабочих тел в ГРК ВЧИД не доведена до уровня использования ее в проектных расчетах.

Однако, вышеуказанные замечания не носят принципиального характера и не снижают научно-технической и практической ценности работы.

Диссертация Свотиной В.В. по теме «Высокочастотный ионный двигатель системы бесконтактной транспортировки объектов космического мусора» в полной мере соответствует требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении учёных степеней»), а её автор, Свотина В.В., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Ведущий научный сотрудник  
АО «ОКБ «Факел»,  
кандидат технических наук



Нестеренко Александр Никитович

Адрес: Акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Факел» (АО «ОКБ «Факел»), 236001, г. Калининград, Московский проспект, 181, тел. +7 (4012) 55-66-00, e-mail: [info@fakel-russia.com](mailto:info@fakel-russia.com)

Подпись Нестеренко А.Н. подтверждаю  
Главный конструктор  
АО «ОКБ «Факел»,  
кандидат технических наук



Дронов Павел Александрович