

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.06

**Соискатель:** Свотина Виктория Витальевна

**Тема диссертации:** Высокочастотный ионный двигатель системы бесконтактной транспортировки объектов космического мусора

**Специальность:** 2.5.15. — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### **Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.**

На заседании 18 сентября 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Свотиной Виктории Витальевне ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Лесневский Л.Н., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ  
Т.А. АНИКИН



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета 18.09/2023 г. № 47

О присуждении Свотиной Викторией Витальевны, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Высокочастотный ионный двигатель системы бесконтактной транспортировки объектов космического мусора» по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 26.06.2023 г. (протокол заседания № 45) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации о создании диссертационного совета - №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Свотина Виктория Витальевна, 01.07.1971 года рождения, работает в должностях заместителя директора, И.О. начальника Лаборатории «Механика космического полета» и старшего научного сотрудника в Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 1995 году соискатель окончила с отличием Московский Государственный авиационный институт (технический университет) по специальности 07.01 Космические летательные аппараты и разгонные блоки, Диплом ШВ № 246248.

С 01 октября 1995 года по 29 ноября 1998 г. проходила обучение в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по программам подготовки научно-педагогических кадров в системе послевузовского профессионального образования по научной специальности 05.07.11 «Тепловое проектирование летательных аппаратов».

В период подготовки диссертации соискатель работала в должностях заместителя директора, И.О. начальника Лаборатории «Механика космического полета» и старшего научного сотрудника в Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре 208 «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Хартов Сергей Анатольевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры 208 «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки».

**Официальные оппоненты:**

- Семёнкин Александр Вениаминович, доктор технических наук, доцент, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской

Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ «Центр Келдыша»), главный научный сотрудник;

- Твердохлебова Екатерина Михайловна, доктор технических наук, Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»), И.О. начальника Центр автоматических космических систем и комплексов

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (СибГУ им. М.Ф. Решетнева), г. Красноярск, в своем положительном отзыве, подписанном Трифановым Иваном Васильевичем, доктором технических наук, профессором, действительным членом Российской академии Естествознания, заведующим кафедрой «Управления качества и сертификации» и утвержденном Логиновым Юрием Юрьевичем, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом Российской академии Естествознания, проректором по научной и инновационной работе указала, что диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором на высоком научно-техническом уровне, в которой решена актуальная научно-техническая задача разработки высокоимпульсного электроракетного двигателя как ключевого элемента системы бесконтактной транспортировки объектов космического мусора (ОКМ). Решенная задача имеет актуальное практическое и теоретическое значение. Новые научные результаты, полученные автором работы, имеют существенное значение для науки и практики. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, теоретической и практической значимости полученных результатов, а также оформлению и содержанию представленная работа соответствует всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к

диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Свотина Виктория Витальевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Ведущая организация отметила, что активный увод крупногабаритного космического мусора (отработавших объектов космической техники) из наиболее загруженных областей околоземного космического пространства существенно снижает риск возникновения мелкого мусора представляется в этой связи наиболее эффективным способом и предлагаемый в работе бесконтактный метод актуален как с точки зрения отработанности современных технологий, так и современных тенденций обеспечения безопасности осуществления космической деятельности. Ведущая организация рекомендует использовать результаты диссертационной работы В.В. Свотиной в научной и производственной деятельности предприятий, занимающихся исследованиями, разработками и применением высокочастотных ионных двигателей (ВЧИД), а также при производстве сервисных космических аппаратов (СКА), предназначенных для очистки околоземного космического пространства от крупногабаритных техногенных ОКМ.

Соискатель имеет 51 опубликованную работу по теме диссертации, общим объемом 12,75 п.л. в т.ч. 8 статей в рецензируемых научных изданиях списка ВАК, 20 работ опубликовано в научных изданиях международных систем цитирования Scopus и WoS; 2 патента и 21 работа – тезисы докладов на научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве. В работах представлены обзоры по способам увода ОКМ на орбиты захоронения с использованием гибкой или виртуальной связки между СКА и ОКМ, по ВЧИД, разработанным в НИИ ПМЭ МАИ. В публикациях представлены текущее состояние по техногенному засорению геостационарной орбиты; результаты теоретического и экспериментального исследований высокочастотного ионного источника, генерирующего слабо расходящийся пучок ионов ксенона в трехэлектродной ионно-оптической системы с круглой и щелевой перфорациями; моделирования

силового и эрозионного воздействия высококаллимированного пучка ионов ксенона на техногенный космический мусор и результаты расчета эрозии ускоряющего электрода ионного двигателя, изготовленного из высокоплотного углерод–углеродного композиционного материала; обсуждаются технические характеристики бортовой системы бесконтактного увода космического мусора. Авторский вклад соискателя заключается в его непосредственном участии в проведении моделирования, составлении расчетных программ и получении расчетных соотношений, представленных в работах, и в проведении описанных в работах экспериментальных исследований.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы:

1. Обухов В.А., Покрышкин А.И., Попов Г.А., Свотина В.В. Управление космическими аппаратами на высокоэллиптической орбите с использованием электроракетных двигателей, расположенных по схеме «Звезда» // Известия академии наук. Энергетика, 2015, 1, 149
2. Надирадзе А.Б., Обухов В.А., Покрышкин А.И., Попов Г.А., Свотина В.В. Моделирование силового и эрозионного воздействия ионного пучка на крупный объект космического мусора техногенной природы // Известия академии наук. Энергетика, 2016, 2, 146-157
3. Логинов С.С., Усовик И.В., Яковлев М.В., Обухов В.А., Попов Г.А., Свотина В.В., Вилков Ю.В., Кирилов В.А., Попов В.В. Бесконтактный увод объектов космического мусора из защищаемой области геостационарной орбиты // Космонавтика и ракетостроение, 2017, 5(98), 28-36
4. Надирадзе А.Б., Обухов В.А., Рахматуллин Р.Р., Свотина В.В. Эффекты эрозионного и загрязняющего воздействия при уводе объектов космического мусора ионным пучком // Известия Российской академии Наук. Энергетика, 2018, 3, 131-139
5. Ахметжанов Р.В., Балашов В.В., Богачев Е.А., Елаков А.Б., Каширин Д.А., Свотина В.В., Спивак О.О., Черкасова М.В. Ускоряющий электрод ионного

- двигателя из углерод–углеродного композиционного материала // Известия Российской академии Наук. Энергетика, 2018, 3, 22–32, <https://doi.org/10.7868/S0002331018030032>
6. Надирадзе А.Б., Рахматуллин Р.Р., Обухов В.А., Свотина В.В. Механическое воздействие ионного пучка на крупный объект космического мусора техногенной природы // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2019, 3, 110-121, <https://doi.org/10.1134/s0002331019030129>
  7. Ахметжанов Р.В., Богатый А.В., Воробьев Е.В., Духопельников Д.В., Каширин Д.А., Обухов В.А., Попов Г.А., Свотина В.В., Черкасова М.В. Расчетно-экспериментальное исследование эрозии ускоряющего электрода двухэлектродной ионно–оптической системы высокочастотного источника ионов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2019, 12, 44-49, <https://doi.org/10.1134/s1028096019120021>
  8. Ахметжанов Р.В., Воробьев Е.В., Духопельников Д.В., Ивахненко С.Г., Обухов В.А., Попов Г.А., Свотина В.В., Черкасова М.В. Методика прогнозирования ресурса ускоряющего электрода ионно–оптической системы газоразрядного источника ионов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2019, 11, 50-58, <https://doi.org/10.1134/s1028096019110049>
  9. Balashov V., Cherkasova M., Kruglov K., Kudriavtsev A., Masherov P., Mogulkin A., Obukhov V., Riaby V., Svotina V. Radio Frequency Source of a Weakly Expanding Wedge-Shaped Xenon Ion Beam for Contactless Removal of Large–Sized Space Debris Objects // Review of Scientific Instruments, 2017, 88, 8, 083304, <https://doi.org/10.1063/1.4998247>.
  10. Nikolichev I.A., Obukhov V.A., Pokryshkin A.I., Svotina V.V. Problem of Trajectory Optimization of the Inter-Orbital Mission for a Special Service Space Craft with Electric Propulsion System for Removing Space Debris Objects // Asia Life Sciences, 2019, 2, 955-975

11. Obukhov V.A., Pokryshkin A.I., Popov G.A., Svotina V.V. Stability of a Moving Control of a Service SC and a Space Debris Object at Impact on It by an Ion Beam // *Advances in the Astronautical Sciences*, 2017, V. 161, 655-665
12. Obukhov V.A., Mogulkin A.I., Peysakhovich O.D., Kozhevnikov V.V., Nigmatzyanov V.V., Svotina V.V. Modeling and Experimental Study of an Ion Source with a Weakly Diverging Ion Beam // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 862, 6, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/6/062082>
13. Akhmetzhanov R.V., Bogatyi A.V., Kashirin D.A., Obukhov V.A., Popov G.A., Khartov S.A., Svotina V.V. Low-Power Ion Thrusters. State of Development at Research Institute of Applied Mechanics and Electrodynamics, MAI // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 927, 1, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/927/1/012075>
14. Svotina V.V., Cherkasova M.V., Mogulkin A.I., Melnikov A.V., Peysakhovich O.D. Ion Source-Mathematical Simulation Results Versus Experimental Data // *Aerospace*, 2021, 8, 10, <https://doi.org/10.3390/aerospace8100276>
15. Svotina V.V., Mogulkin A.I., Kupreeva A.Y. Ion Source-Thermal and Thermomechanical Simulation // *Aerospace*, 2021, 8, 7, <https://doi.org/10.3390/aerospace8070189>
16. Obukhov V.A., Kirillov V.A., Petukhov V. G., Popov G.A., Svotina V.V., Testoyedov N.A., Usovik I.V. Problematic Issues of Spacecraft Development for Contactless Removal of Space Debris by Ion Beam // *Acta Astronautica*, 2021, 181, 569-578, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.01.043>
17. Obukhov V.A., Kirillov V.A., Petukhov V.G., Pokryshkin A.I., Popov G.A., Svotina V.V., Testoyedov N.A., Usovik I.V. Control of a Service Satellite During Its Mission on Space Debris Removal from Orbits with High Inclination by Implementation of an Ion Beam Method // *Acta Astronautica*, 2022, 194, 39-400, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.09.041>



18. Cherkasova M.V., Svotina V.V. Simulation of the Ion Source for Impact on Large Space Debris Objects // AIP Conference Proceedings, 2318, 020011(2021), <https://doi.org/10.1063/5.0036061>
19. Obukhov V.A., Pokryshkin A.I., Svotina V.V. Thruster Rotation Angle Control During Contactless Removal of Space Debris Objects // Smart Innovation, Systems and Technologies, 2021, 217, 127-139, [https://doi.org/10.1007/978-981-33-4826-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4826-4_1)
20. Svotina V.V., Cherkasova M.V. Space Debris removal – Review of technologies and Techniques. Flexible or Virtual Connection Between Space Debris and Service Spacecraft // Acta Astronautica, 2023, 204, 840-853, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.09.027>
21. Melnikov A.V., Bogachev E.A., Elakov A.B., Mogulkin A.I., Obukhov V.A., Perminova Yu S., Peysakhovich O.D., Pokryshkin A.I., Cherkasova M.V., Svotina V.V. Computational and Experimental Study of an Ion Injector of a Weakly Divergent Ion Beam for Implementing a Method for Removing Space Debris Objects by an Ion Beam // Acta Astronautica, 204, 815-825, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.12.026>
22. Obukhov V.A., Svotina V.V. Study of the Characteristics of the System: Ion Source – Ion Decelerator // Review of Scientific Instruments, 2023, 94(2), 023307, <https://doi.org/10.1063/5.0122118>
23. Akhmetzhanov R.V., Balashov V.V., Bogachev Y.A., Yelakov A.B., Kashirin D.A., Spivak O.O., Cherkasova M.V., Svotina V.V. An Ion Thruster Accelerating Electrode Made of Carbon–Carbon Composite Material // Thermal Engineering, 2018, 65, 13, 986-993, <https://doi.org/10.1134/s0040601518130025>
24. Konstantinov M.S., Svotina V.V. Analysis for Feasibility of Spitzer's Schemes Complication for Spacecraft Final Insertion into Geostationary Orbit by Electric Propulsion // Procedia Engineering, 2017, 185, 304-311, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.308>
25. Akhmetzhanov R., Bogaty A., Cherkasova M., Vorobev E., Dukhopelnikov D., Ivakhnenko S., Kashirin D., Obukhov V., Popov G., Svotina V. Estimation of the

Ion Thruster Lifetime on a Shortened Time Base // Proceedings of the 68 International Astronautical Congress // Unlocking Imagination, Fostering Innovation and Strengthening Security, 2017, 13, 8807-8812

26. Akhmetzhanov R.V., Bogatyi A.V., Vorob'ev E.V., Dukhopelnikov D.V., Kashirin D.A., Obukhov V.A., Popov G.A., Svitina V.V., Cherkasova M.V. Two-Electrode Ion-Extraction System of a Radio-Frequency Ion Source: Numerical and Experimental Studies of Erosion of the Accelerating Electrode // Journal of Surface Investigation X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2019, 13, 6, 1061-1066, <https://doi.org/10.1134/s1027451019060235>
27. Akhmetzhanov R.V., Vorob'ev E.V., Dukhopelnikov D.V., Ivakhnenko S.G., Obukhov V.A., Popov G.A., Svitina V.V., Cherkasova M.V. Procedure of Predicting the Lifetime of the Accelerating Electrode of an Ion-Extraction System of a Gas-Discharge Ion Source // Journal of Surface Investigation X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2019, 13, 6, 1217-1224, <https://doi.org/10.1134/s1027451019060041>

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Твердохлебовой Екатерины Михайловны**, доктора технических наук, И.О. начальника Центра автоматических космических систем и комплексов АО «ЦНИИмаш», содержит следующие замечания:

1. Не представлен анализ возможных способов удержания ОКМ в центре плазменного пучка ионного двигателя СКА.
2. Не рассмотрены вопросы загрязнения СКА продуктами распыления материалов ОКМ и устойчивости алгоритма управления связки «СКА-ОКМ» в случае критической деградации характеристик дальномеров.
3. Не приведены расчёты максимального возможного числа ОКМ, которые могут быть сведены с рабочей орбиты одним СКА.
4. Не приведено экономическое обоснование выбора орбит, подлежащих первоочередной очистке от ОКМ.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Семёнкина Александра Вениаминовича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника АО ГНЦ «Центр Келдыша», содержит следующие замечания:

1. В работе рассматривается использование ВЧИД для формирования сфокусированного ионного пучка, воздействующего на ОКМ. Однако не приведены данные о применимости результатов, полученных в работе, для использования другого типа ионного двигателя, построенного по схеме Кауфмана, и о сопоставлении ВЧИД и двигателя схемы Кауфмана для решения поставленной задачи.
2. Не приведен анализ возможности закрутки ОКМ под воздействием направленного ионного потока ВЧИД и возможности управления закруткой ОКМ за счёт управления направлением ионного пучка.
3. Не приведены оценки влияния распыленного материала ОКМ на работу ионного двигателя и специального космического аппарата в целом.
4. Оценка ресурса ионного двигателя, создающего сфокусированный пучок для воздействия на ОКМ, проведена только расчётным путём и без прямого экспериментального подтверждения скорости эрозии электродов ВЧИД в режимах, предпочтительных для воздействия на ОКМ.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (СибГУ имени М.Ф. Решетнева)**, г. Красноярск, содержит следующие замечания по диссертационной работе:

1. В рассмотренной работе модели силового воздействия при анализе распространения струи ВЧИД не учитываются увеличение разлета частиц в результате диффузных процессов, а также влияния на траекторию ионов магнитного поля Земли. Эти явления могут изменить положение «пятна контакта» на уводимом объекте и условия передачи импульса.

2. Результаты моделирования работы ГРК ВЧИД недостаточно полно используются при оптимизации параметров ионной струи.

**Отзыв на автореферат диссертации Акционерного общества «Конструкторское бюро химавтоматики» (АО КБХА),** подписанный кандидатом технических наук, главным специалистом АО КБХА Жеребчиковым Сергеем Николаевичем, ведущим конструктором АО КБХА Дьяковым Антоном Олеговичем и утвержденный доктором технических наук, профессором, заместителем-директора главным конструктором АО КБХА Гороховым Виктором Дмитриевичем, содержит следующие замечания:

1. Отсутствуют схемы рассмотренных вариантов конструкции электродов ионно-оптических систем;
2. Отсутствует подробное описание моделирования оценки эрозии конструктивных элементов ВЧИД.
3. Приведены результаты проектно-баллистического анализа виртуальной связки «СКА-ОКМ», но не представлен алгоритм их расчёта.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «ЦНИИмаш»,** подписанный кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, начальником отдела АО «ЦНИИмаш» Далабаевым Петром Бекеновичем, кандидатом политических наук, начальником отделения АО «ЦНИИмаш» Коробушиным Денисом Викторовичем, кандидатом технических наук, заместителем начальника Центра системных исследований космической деятельности АО «ЦНИИмаш» Петрухиным Борисом Михайловичем, содержит следующие замечания:

1. Из текста автореферата не понятно, как определяется достаточная точность расчётов при построении модели полного факторного эксперимента для ионно-оптических систем и каков алгоритм действия в случае недостаточной точности и необходимости учёта коэффициентов регрессии пятого и более порядков.
2. В тексте автореферата отсутствуют сведения по составу и структуре необходимого программно-математического обеспечения управления

процессами последовательного увода СКА нескольких ОКМ из защищаемой области геостационарной орбиты на орбиты захоронения.

**Отзыв на автореферат диссертации Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), составленный Кралькиной Еленой Александровной, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником физического факультета МГУ, кафедры физической электроники, содержит следующие замечания:**

1. Предложение «Исходя из предположения, что распределение ионного тока в пучке подчиняется закону Гаусса имеем  $I_i|_{d=0} / I_i|_{d=\infty} = 1 - \exp(-\sigma^2)$ ,  $I_i|_{d=0}$  – ионный ток на срезе ВЧИД;  $I_i|_{d=\infty}$  – ионный ток на некотором удалении от среза,  $\sigma^2$  определяет начальное распределение плотности ионного тока (для случая учёта 95% ионного тока  $\sigma=0,3$ ).» вызывает целый ряд вопросов: а) по какому параметру распределение ионов в пучке распределено по закону Гаусса? б) плотность ионного пучка на бесконечности равна нулю, при этом выражение, приведённое выше должно обращаться в бесконечность? в) если  $\sigma^2$  определяет начальное распределение, то как оно может быть равно числу  $\sigma=0,3$ ?
2. В положения, выносимые на защиту, включена методика усреднения энергий ионизации и возбуждения энергетических уровней термов рабочих тел для построения балансовой модели частиц и мощности в газоразрядной камере ВЧИД. В автореферате не указано, в чём заключается методика, чем она отличается от общепринятой, изложенной, например, в книге Бибермана Л.М., Воробьёва В.С., Якубова И.Т. «Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы».
3. Словосочетание «энергетические уровни термов» неудачно, слово «термы» лишнее.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» (АО Решетнев), составленный Охоткиным Кириллом Германовичем доктором физико-математических наук, заместителем генерального директора по науке АО**

«Решетнев» содержит следующие замечания: к недостатку автореферата следует отнести отсутствие подробного изложения основных положений, положенных в основу разработанной методики усреднения энергий ионизации и возбуждения энергетических уровней термов рабочих тел. Очевидно в виду обширности представляемого материала в автореферате не приведены соотношения, описывающие учёт в моделировании вращения уводимых ОКМ, а также ошибки прицеливания на уводимый объект и ошибки определения положения центра масс уводимого объекта.

**Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (АО «ВПК «НПО Машиностроения»)**, подписанный заместителем начальника отдела АО «ВПК «НПО Машиностроения» Кабановым Владимиром Анатольевичем и кандидатом технических наук, заместителем начальника ЦКБМ – начальником отделения АО «ВПК «НПО Машиностроения» Новиковым Андреем Евгеньевичем, содержит следующие замечания:

1. Отсутствие подробного изложения основных положений, используемых при построении методики усреднения энергий ионизации и возбуждения энергетических уровней термов рабочих тел.
2. Отсутствие оценок надёжности изменённой электроракетной двигательной установки с ВЧИД.

**Отзыв на автореферат диссертации АО ГНЦ «Центр Келдыша»**, составленный Ловцовым Александром Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, заместителем генерального директора по космическим аппаратам и энергетике АО ГНЦ «Центр Келдыша», содержит следующие замечания:

1. Из автореферата не ясно каковы критерии оптимизации параметров электроракетной двигательной установки и как они зависят от массы и размеров ОКМ.
2. Оптимизация параметров ионно-оптической системы во второй главе осуществляется по геометрическим параметрам без указания потенциалов на

электродах, что неверно, поскольку оптимальные геометрические параметры ионно-оптической системы и потенциалы электродов тесно связаны, поэтому при оптимизации необходимо указывать значения потенциалов, при которых она проводится.

**Отзыв на автореферат диссертации Акционерного общества «Опытное конструкторское бюро «Факел» (АО «ОКБ «Факел»)**, составленный кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником АО «ОКБ «Факел» Нестеренко Александром Никитовичем, содержит следующие замечания:

1. Создание электроракетной двигательной установки с разными по номиналам питания и логикой управления двигателей должно привести к снижению надёжности системы электропитания и управления, автором не даны оценки на сколько это скажется на увеличении массы двигательной установки.
2. Методика усреднения энергий возбуждения и ионизации энергетических уровней термов рабочих тел в газоразрядной камере ВЧИД не доведена до уровня использования ее в проектных расчетах.

**Отзыв на автореферат диссертации Акционерного общества «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»)**, подписанный кандидатом технических наук, инженером-конструктором АО «НПО Лавочкина» Юдиным Андреем Дмитриевичем и доктором технических наук, начальником отдела АО «НПО Лавочкина» Сыроевым Валентином Константиновичем, содержит следующие замечания:

1. Используется излишне много условных сокращений, затрудняющие восприятие содержания текста автореферата диссертации, например, страница 6.
2. При рассмотрении методов удаления космического мусора автор не приводит результаты сравнительного анализа этих методов и неясно в чём заключаются преимущества использования предлагаемой системы.
3. Автор в четвёртой главе не приводит требования к космическому аппарату при использовании для увода космического мусора бесконтактным образом, что

затрудняет оценку как технической, так и экономической целесообразности данного метода.

4. Оформление подписей к рисункам должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 подпись должна располагаться под рисунками по центру, а не сбоку, как сделано автором, например, как на рисунках 1-4, 8.

**Отзыв на автореферат диссертации Акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» (АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)**, подписанный ведущим конструктором АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» Михеевым Олегом Всеволодовичем и начальником отдела АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» Положенцевым Александром Евгеньевичем, утвержденный доктором технических наук, профессором, первым заместителем генерального конструктора КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» Владимировым А.В., содержит следующие замечания:

1. В работе отмечено, что автором проведен сравнительный анализ основных способов, устройств и методов увода ОКМ. Однако, результаты этого анализа, по крайней мере в материалах автореферата, в дальнейшем изложении не упоминаются.
2. В работе отмечено, что проведено моделирование транспортировки объектов космического мусора (типа космического аппарата Горизонт-18 с геостационарной орбиты) с определением массы СКА в диапазоне 1200-1500 кг. Однако, полученные при этом проектные характеристики СКА, включая состав бортовых систем, массовую сводку СКА, реализуемые бюджеты топлива и электроэнергии для выполнения заявленной миссии транспортировки на орбиту захоронения семи ОКМ, не приведены, что не позволяет в должной мере оценить степень технического и конструктивного совершенства СКА.

**Отзыв на автореферат диссертации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования**



**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ имени Н.Э. Баумана)**, составленный доктором технических наук, профессором кафедры «Плазменные энергетические установки» МГТУ имени Н.Э. Баумана Онуфриевым Валерием Валентиновичем, содержит следующие замечания:

1. Отсутствие подробного изложения допущений методики оценки энергетических уровней, вследствие чего затруднена оценка точности данной методики.
2. Отсутствуют математические зависимости, позволяющие оценить характеристики системы управления связкой СКА – ОКМ.

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Свотиной В.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Семёнкин Александр Вениаминович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник АО «ГНЦ «Центр Келдыша». Оппонент является высококвалифицированным специалистом в области разработки и создания электроракетных двигательных установок и энергетических систем космических аппаратов. Сертифицированный эксперт Системы сертификации космической техники. Помимо основной работы он является заведующим кафедрой «Плазменные энергетические установки» МГТУ имени Н.Э. Баумана. Семенкин А.В. – лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Награжден правительственными наградами и отраслевыми знаками отличия. Автор многочисленных научных работ и изобретений, запатентованных в России и США. Всё перечисленное позволяет Семёнкину А.В., в полной мере оценить диссертационную работу Свотиной В.В.

Твердохлебова Екатерина Михайловна, доктор технических наук, и.о. начальника Центра автоматических космических систем и комплексов АО «ЦНИИмаш». Оппонент является специалистом в области создания и разработки электроракетных двигателей, электромагнитной совместимости электроракетных двигателей с бортовой аппаратурой космических аппаратов.

**Выбор ведущей организации** – СибГУ им. М.Ф. Решетнева, основан на том, что университет является одним из ведущих аэрокосмических высших учебных заведений Российской Федерации и опорным учебным заведением для АО «Решетнев» – ведущего предприятия ракетно-космической промышленности Российской Федерации по производству автоматических космических аппаратов связи, телевидения, ретрансляции, навигации, геодезии, соответствующих мировым стандартам качества и надёжности, являющегося головным исполнителем по ключевым проектам в рамках приоритетных государственных программ в области космической деятельности, поскольку рассматриваемый в диссертационной работе В.В. Свотиной высокочастотный ионный двигатель определяет системотехнику СКА, предназначенного для увода ОКМ на орбиты захоронения.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **сформулированы** требования к построению и техническим характеристикам электроракетной двигательной установки СКА для увода ОКМ с геостационарной орбиты на орбиты захоронения и сформирован ее облик;
- **доказана** принципиальная возможность получения высококоллимированного ионного пучка и сохранение при этом высоких интегральных характеристик ВЧИД;
- **построена** модель воздействия ионного пучка на ОКМ, проведен проектно-баллистический анализ виртуальной связки «СКА-ОКМ» и показана возможность последовательного увода нескольких ОКМ из защищаемой области геостационарной орбиты на орбиты захоронения одним СКА.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **получены** регрессионные зависимости углов расходимости ионных пучков, генерируемых ионно-оптической системой с щелевой и гексагональной круглой перфорациями электродов, которые позволяют без проведения полномасштабного моделирования оценить интегральные параметры ВЧИД, а также оптимизировать конструкцию его ионно-оптической системы;

- **предложена** методика оценки энергетических уровней рабочих тел, позволяющая с достаточной инженерной точностью проводить оценку баланса мощности и частиц в газоразрядной камере ВЧИД с учетом вариации массового потока атомов рабочего тела при прохождении ионно-оптической системы.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **выработаны** рекомендации по построению электроракетной двигательной установки для увода ОКМ с геостационарной орбиты на орбиты захоронения;
- **создан и испытан** при работе на различных рабочих телах экспериментальный образец ВЧИД с электродами из нового высокоплотного углерод-углеродного композиционного материала на основе нетканого каркаса «ИПРЕССКОН®»;
- **определены** параметры работы системы управления СКА, углы отклонения компенсирующих электроракетных двигателей и диапазоны варьирования параметров ВЧИД, размещенного на борту СКА заданной массы, для увода конкретного ОКМ с геостационарной орбиты на орбиты захоронения.

**Результаты** диссертационной работы Свотиной В.В. использованы в АО «Решетнев» и АО «ЦНИИмаш» при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках Федеральной космической программы Российской Федерации и прикладных научных исследованиях, что подтверждается соответствующими актами.

**Оценка достоверности результатов исследования подтверждается:**

- **для экспериментальных работ** получением результатов на сертифицированном оборудовании с применением апробированных методик;
- **для разработанных моделей** верификацией полученных результатов с расчетными и экспериментальными данными, представленными в литературе.

**Личный вклад соискателя состоит в том, что при его непосредственном участии:**

- проведены: анализ засорения околоземного космического пространства ОКМ техногенного происхождения; анализ средств, способов и технических устройств, которые могут быть использованы для построения СКА, осуществляющего увод ОКМ на орбиты захоронения; предварительный проектно-баллистический анализ, позволяющий выбрать группу ОКМ, подлежащую уводу в рамках одной миссии СКА;
- выполнен анализ влияния геометрических параметров ионно-оптической системы ВЧИД с щелевой и гексагональной круглой профилированными перфорациями электродов на угол расходимости ионного пучка с построением моделей полного факторного эксперимента размерности  $2^8$ ;
- проведен анализ баланса частиц и мощности в газоразрядной камере ВЧИД на базе предложенной модели усреднения энергий возбуждения и ионизации рабочих тел с учетом изменения массового потока атомов рабочего тела при прохождении ионной оптики с различной прозрачностью электродов;
- изготовлен и испытан при работе на различных рабочих телах экспериментальный образец ВЧИД с ионно-оптической системой с щелевой и гексагональной круглой профилированными перфорациями электродов из нового конструкционного материала;
- построена модель воздействия ионного пучка на ОКМ и сформулированы требования к электроракетной двигательной установке СКА, проведен проектно-баллистический анализ виртуальной связки «СКА-ОКМ».

Диссертация Свотиной В.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи: модернизация и оптимизация ВЧИД, который в составе электроракетной двигательной установки СКА обеспечивает выполнение требований к нему как к основному элементу системы бесконтактной транспортировки ОКМ. Эта диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней».

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

На заседании 18 сентября 2023 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи в части выбора и оптимизации параметров высокочастотного ионного двигателя системы бесконтактной транспортировки космического мусора присудить Свотиной Виктории Витальевне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, профессор

Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь  
диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

18 сентября 2023 г.