

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 12 декабря 2023 года, № 21
о присуждении Сеницыну Леониду Игоревичу, гражданину Российской
Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Комплекс методик повышения точности маневрирования
наноспутника с двигательной установкой», представленная на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика,
баллистика, управление движением летательных аппаратов принята к защите
6 октября 2023 г. (протокол заседания № 13) диссертационным советом
24.2.379.03, созданным на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства
науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара,
Московское шоссе, 34), приказом Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации от 20 декабря 2018 г. № 365/нк с изменениями,
внесенными приказом от 07.07.2021 г. №670/нк.

Соискатель Сеницын Леонид Игоревич, 24 декабря 1995 года рождения, в
2019 году освоил программу магистратуры по направлению подготовки 03.04.01
Прикладные математика и физика в федеральном государственном автономном
образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева», в 2023 году
освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки
24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника с присвоением
квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», в настоящее
время работает в должности инженера межвузовской кафедры космических
исследований федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации, по совместительству в должности
ассистента межвузовской кафедры космических исследований и младшего

научного сотрудника НИЛ-102 «Перспективные фундаментальные и прикладные космические исследования на базе наноспутников» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на межвузовской кафедре космических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Белоконов Игорь Витальевич, заведующий межвузовской кафедрой космических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Трушляков Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение»; Маштаков Ярослав Владимирович, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», научный сотрудник отдела №7 «Динамика космических систем» – дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (г. Королёв), **в своём положительном заключении**, подписанном главным учёным секретарём, доктором технических наук, старшим научным сотрудником Ключниковым Валерием Юрьевичем; начальником отдела, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Лобановым Валентином Степановичем; начальником сектора, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Тарасенко Наталией Владимировной и утверждённом генеральным конструктором по автоматическим космическим системам и комплексам – заместителем генерального директора доктором технических наук, профессором Хартовым Виктором Владимировичем, указала, что диссертационная работа Сеницына Леонида Игоревича соответствует требованиям пунктов 9-10 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано семь работ (из них четыре статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; три статьи – в базе Scopus). Общий объём публикаций составляет 9,3 п.л., авторский вклад 8,4 п.л. (90,3%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: стохастическая математическая модель движения наноспутника с двигательной установкой при совершении манёвра коррекции; методика формирования вероятностной модели силы тяги реактивного двигателя наноспутника; методика оценки влияния случайных производственных отклонений изготовления наноспутника с двигательной установкой на угловое движение в процессе выдачи корректирующего импульса и в конечном счёте на погрешность маневрирования; методика формирования требований к погрешностям, возникающим при изготовлении наноспутника и двигательной установки для достижения требуемых ориентации в процессе выдачи корректирующего импульса и точности маневрирования; подход к обеспечению одноосной стабилизации наноспутника во время импульсной коррекции траектории, основанный на применении дополнительной системы поддержания требуемой угловой ориентации тяги с использованием маховика, и замкнутого контура управления угловым движением; результаты моделирования, подтверждающие эффективность применения разработанных методик на примере проекта наноспутника SamSat-M (формата CubeSat-3U) с электротермической двигательной установкой. Наиболее значимые работы:

1. Белоконов, И.В. Геометрический подход к формированию вероятностной модели силы тяги микрореактивного двигателя / И.В. Белоконов, **Л.И. Сеницын** // Космонавтика и ракетостроение. - 2021. - № 6 (123). - С. 149-160. (научная статья 1,5 п.л./1,3 п.л.)

2. Сеницын, Л.И. Влияние производственных отклонений изготовления электротермической двигательной установки на точность маневрирования наноспутника / Л.И. Сеницын, И.В. Белоконов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2021. - Т. 20. № 1. - С. 29-45. (научная статья 2,1 п.л./1,9 п.л.)

3. Сеницын, Л.И. Исследование режимов стабилизации наноспутника-гиростата во время коррекции орбиты / Л.И. Сеницын // Труды «НПЦАП» Системы и приборы управления. – 2023. – № 2 (64). – С. 51–57. (научная статья 0,875 п.л.)

4. Белоконов, И.В. Анализ стратегий управления маховиком для обеспечения гироскопической стабилизации вектора тяги при маневрировании

наноспутника / И.В. Белоконов, **Л.И. Сеницын** // Космонавтика и ракетостроение. - 2022. - № 3 (126). - С. 17-29. (научная статья 1,62 п.л./1,45 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов.

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, подписан профессором кафедры Теплотехники и энергетического машиностроения, д.т.н. Алтуниным В.А. Замечание: Из автореферата неясно, на каком основании делается заключение о нецелесообразности использования дополнительного замкнутого контура управления при использовании маховика для стабилизации направления силы тяги на наноспутнике SamSat-M.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет», г. Благовещенск, подписан директором научно-образовательного центра им. К.Э. Циолковского Амурского государственного университета, к.ф.-м.н., доцентом Фоминым Д.В. Замечания: Из текста автореферата не ясно, что подразумевается под производственными отклонениями изготовления наноспутника и двигательной установки, с чем они связаны. На рисунках 7 и 9, в подписях осей графиков, используется разный размер шрифта.

3. Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», г. Москва, подписан главным научным сотрудником экспертно-аналитического центра, д.т.н., профессором Потюпкиным А.Ю. Замечания: В автореферате не приведена в явном виде научная задача исследования, которая, по-видимому, может быть сформулирована следующим образом: разработка комплекса методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой в условиях воздействия стохастических факторов различной природы. Формальная постановка задачи в том виде, в котором она приведена на стр. 6, 7 автореферата, заявлена как оптимизационная (поиск \min), однако по факту получено решение, удовлетворяющее критерию рациональности, оптимальность в работе не доказывалась. Правомерность допущения о модели движения наноспутника относительно центра масс с учётом только возмущающего момента от силы тяги без учёта внешних моментов в тексте автореферата не обосновывается.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, подписан заведующим кафедрой «Динамика и управление полетом летательных аппаратов», д.т.н., профессором Толпегиным О.А. Замечания: В третьем разделе рассмотрено решение задачи синтеза линейной системы с квадратичным интегральным критерием, которое хорошо известно, но не понятно, как этот

результат использован в диссертации. Из текста автореферата не ясно, как были сформированы требования к погрешностям проектных параметров двигательной установки, результаты моделирования которой представлены на рисунке 6. В автореферате не приводится описание дополнительной системы поддержки требуемой ориентации тяги с использованием маховика.

5. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», г. Солнечногорск, подписан начальником НТЦ-82 НИО-8, д.т.н., профессором Фатеевым В.Ф., начальником лаборатории НТЦ-82 НИО-8 Давлатовым Р.А. Замечания: В автореферате не приводится информация, какие вероятностные модели используются для описания случайных факторов. В формуле (3) отсутствует расшифровка некоторых буквенных обозначений.

6. Акционерное общество «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», г. Москва, подписан ведущим конструктором отдела Беликом С.В., ведущим конструктором Михеевым О.В. Замечания: В работе для дополнительной стабилизации наноспутника от воздействия случайных факторов в ходе коррекции орбиты рассмотрен только вариант с использованием маховика, хотя сравнительный анализ и других существующих систем угловой стабилизации позволил бы расширить возможности использованных разработанных автором моделей при создании широкого класса мини- и наноспутников. В автореферате кратко отмечено, что требования к погрешностям проектных параметров и ДУ наноспутника SamSat-M были выбраны в работе исходя из необходимости обеспечения группового полёта. Однако результатов влияния этих требований на орбитальные параметры наноспутника и в конечном счёте, например, на его положение относительно других наноспутников группировки не приводится. В работе не рассматривается цена затрат на обеспечение требований к погрешностям при изготовлении наноспутника и его ДУ для достижения заданной точности ориентации вектора тяги и результатов маневрирования, при том что одним из основных требований к спутникам такого класса является их минимальная стоимость изготовления.

7. Акционерное общество «Концерн центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», г. Санкт-Петербург, подписан заместителем начальника НОЦ – начальником сектора, к.т.н. Литвиненко Ю.А. Замечания: Из автореферата не ясно, каким образом проводилась верификация предлагаемой стохастической модели движения наноспутника с двигательной установкой при совершении манёвра коррекции. В автореферате не приведена информация о программном обеспечении, созданном автором и использованном при проведении исследования. Из автореферата не ясно, почему использование дополнительного замкнутого контура управления для рассматриваемого

спутника SamSat-M нецелесообразно. В формуле (16) не все переменные определены, в частности А и В.

8. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, подписан профессором высшей школы прикладной физики СПбПУ и космических технологий, д.т.н. Макаровым С.Б. Замечания: Из текста автореферата неясно, что подразумевается под параметрами режима работы двигательной установки. В автореферате недостаточно чётко определена область применимости разработанных в диссертации методик.

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, подписан профессором кафедры «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов», д.т.н., профессором Красильщиковым М.Н. Замечания: В автореферате упоминается о разработанной динамической модели массо-инерционных характеристик наноспутника, однако сама модель не приведена. В автореферате приводятся требования к погрешностям изготовления двигательной установки, однако не приведены стандартные погрешности, которые можно было бы рассматривать в качестве исходных.

10. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН), г. Саратов, подписан заведующим лабораторией Анализа и синтеза динамических систем в прецизионной механике Института проблем точной механики и управления, д.ф.-м.н. Барулиной М.А. Замечания: В тексте автореферата используются выражения «гиростатический момент» и «кинетический момент маховика», хотя они имеют одинаковый смысл. Для однотипности текста следовало бы остановиться на одном понятии. Исходя из текста автореферата непонятна зависимость силы тяги от времени в формуле (2). Не описан смысл обозначений a и e^2 в формуле (3). Нет подписи к осям на рис. 9.

11. Акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Факел», г. Калининград, подписан ведущим специалистом, к.т.н. Толстелем О.В. Замечания: В формуле (12) автореферата присутствуют особенности, обусловленные наличием функции котангенса, которая не определена для углов 0 , $\pm\pi$, и т.д. Автор не объясняет, как он преодолевает эту коллизию. Из автореферата неясно, чем обусловлено выбранное ограничение на управляющий момент (10^{-3} Нм) при моделировании движения наноспутника-гиростата с управлением по поперечным каналам.

12. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр

Сибирского отделения Российской академии наук», подписан старшим научным сотрудником лаборатории «Космические системы и технологии», к.т.н. Лелековым А.Т. Замечания: Не указаны погрешности характеристик электротермической двигательной установки спутника SamSat-M. Не раскрыто определение дополнительных исполнительных устройств, позволяющих минимизировать энергетические затраты на обеспечение гироскопической стабилизации.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Сеницыну Леониду Игоревичу учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Трушлякова Валерия Ивановича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в областях: динамика полета и управление, конструирование и проектирование летательных аппаратов, исследование процессов, связанных с работой реактивных двигателей.

Выбор Маштакова Ярослава Владимировича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является опытным специалистом в областях: динамика космического полета, управление движением космических аппаратов, моделирование углового движения космических аппаратов с активными и пассивными системами управления ориентацией.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями ее специалистов в областях: управление движением космических аппаратов, динамика движения космических аппаратов, автоматическое и оптимальное управление движением космических аппаратов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны комплекс методик, позволяющих повысить точность выдачи корректирующего импульса наноспутника с двигательной установкой, и программно-математическое обеспечение для анализа эффективности разработанных методик, включающее стохастическую математическую модель движения наноспутника с двигательной установкой при выдаче корректирующего импульса, отличающуюся от существующих комплексным учётом динамики движения относительно центра масс и центра масс, случайного характера погрешностей изготовления наноспутника и вероятностной модели режимов работы двигательной установки;

предложен подход к обеспечению одноосной ориентации вектора тяги наноспутника во время импульсной коррекции траектории, основанный на применении маховика и замкнутого контура управления поперечным угловым движением.

приведены результаты моделирования выдачи корректирующего импульса, подтверждающие эффективность применения разработанных методик на примере проекта наноспутника SamSat-M (формата CubeSat-3U) с электротермической двигательной установкой.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложены методики оценки погрешности реализации корректирующего импульса наноспутника и обеспечения точности выдачи корректирующего импульса за счёт использования маховика.

разработана стохастическая математическая модель процесса формирования корректирующего импульса наноспутника, учитывающая случайный характер проектных параметров и режимов работы двигательной установки.

изучено влияние производственных отклонений изготовления наноспутника и режимов работы двигательной установки на величину и направление корректирующего импульса.

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

разработан комплекс методик, применение которых позволяет обеспечить требуемую точность выдачи корректирующего импульса.

получена оценка влияния случайных производственных отклонений изготовления наноспутника SamSat-M (формата CubeSat-3U) на угловое движение в процессе работы двигательной установки и в конечном счёте на погрешность реализации корректирующего импульса.

сформулированы выводы по использованию разработанных методик и практические рекомендации по расчету потребного кинетического момента маховика.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных классических подходах, достоверность обеспечивается использованием корректных математических моделей, применением известных численных методов при проведении математического моделирования; проведено экспериментальное определение силы тяги двигательной установки наноспутника SamSat-M, результаты эксперимента позволили верифицировать разработанную в диссертации методику определения закона распределения силы тяги.

полученные результаты не противоречат и согласуются с известными результатами в области исследования проблемы маневрирования наноспутников с двигательными установками.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке математических моделей, методик и программно-математического обеспечения для разработки и исследования комплекса методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой, в проведении численных расчётов, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных и натуральных экспериментов, в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель ответил на все задаваемые ему вопросы.

На заседании 12 декабря 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Сеницыну Л.И. учёную степень кандидата технических наук за решение научной задачи повышения точности выдачи корректирующего импульса на этапе маневрирования наноспутника в космическом пространстве, имеющей существенное значение для космических исследований.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета 24.2.379.03

Комаров Валерий Андреевич

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.03

12.12.2023



Крамлих Андрей Васильевич