

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ  
МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19.03.2026 № 3

О присуждении **Тучину Денису Андреевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математические модели и методы навигационного обеспечения и баллистического проектирования полётов космических аппаратов» по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 11 декабря 2025 года (протокол заседания № 12/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утверждён приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Тучин Денис Андреевич**, 24 мая 1975 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Автономное определение параметров движения околоземного космического аппарата по измерениям спутниковых навигационных систем», по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» защитил в 2004 году в диссертационном совете ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Соискатель работает в должности старшего научного сотрудника ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Диссертация выполнена в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, отделе № 5 «Механика космического полёта и управление движением».

## **Официальные оппоненты:**

**Петухов Вячеслав Георгиевич**, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», директор «Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики МАИ»,

**Сазонов Василий Викторович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», декан факультета космических исследований,

**Дишель Виктор Давидович**, доктор технических наук, доцент, Акционерное общество «Научно производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина», начальник отдела программно-алгоритмического обеспечения систем инерциальной навигации, ориентации, начальной выставки и средств внешнетраекторной коррекции, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук**, г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном **Аванесовым Генрихом Ароновичем**, доктором технических наук, заслуженным деятелем науки РФ, профессором, главным научным сотрудником, и **Жуковым Борисом Сергеевичем**, доктором технических наук, старшим научным сотрудником и утвержденном **Лутовиновым Александром Анатольевичем**, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, заместителем директора по научной работе, указала, что тема диссертационной работы, направленная на создание методов и алгоритмов математического моделирования для обеспечения успешности перспективных отечественных космических проектов, а также на разработку

комплексов программ для отечественной бортовой вычислительной техники, является безусловно актуальной и имеющей важное государственное значение.

В отзыве отмечено, что научная новизна и значимость полученных результатов включает создание численного метода решения навигационной задачи с реализацией бортовых программ на основе разработанной в диссертации архитектуры вычислительного комплекса, позволяющего определять параметры движения космического аппарата за пределами штатного навигационного поля. Разработана комплексная математическая модель измерений навигационных систем. В диссертации создан комплекс математических моделей ключевых навигационных приборов для управления движением космического аппарата при посадке на поверхность Луны. Разработан комплекс программ на основе созданных инструментов баллистического проектирования для анализа и выбора траекторий межпланетных перелётов.

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии методов небесной механики и астродинамики применительно к новым задачам навигационного обеспечения и баллистического проектирования. В частности, предложены оригинальные подходы к интегрированию уравнений движения на бортовых компьютерах с ограниченной разрядностью, разработаны рекуррентные методы фильтрации для слежения за сигналом, а также введены в практику баллистического анализа инструменты, позволяющие эффективно исследовать свойства пучков перелётных траекторий.

Практическая значимость работы подтверждена многолетним успешным применением разработанных методов и программных комплексов.

1. Методы и алгоритмы автономной навигационной системы (АНС) используются в составе бортовой аппаратуры серии космических аппаратов на орбитах с большим эксцентриситетом.
2. Разработанное программное обеспечение применялось для навигационного обеспечения реальных космических проектов: «Зонд-ПП»,

«Рэлек», «Спектр-РГ», а также при запусках разгонного блока «Фрегат» с космодрома во Французской Гвиане.

3. Методы, алгоритмы и программы были включены в бортовой комплекс управления движением и в стенды полунатурных испытаний КА «Луна-25», что сыграло ключевую роль в отработке режимов посадки на поверхность.

Полученные в диссертации результаты целесообразно использовать в организациях ракетно-космической отрасли, занимающихся проектированием, созданием и эксплуатацией космических аппаратов, а также разработкой систем управления и навигации, таких как АО «НПО Лавочкина», АО «ЦНИИмаш», АО «РКЦ «Прогресс», ПАО «РКК «Энергия» и других. Разработанные математические модели, методы и программные комплексы могут найти применение при создании перспективных проектов по изучению Луны, планет Солнечной системы, а также для совершенствования систем автономной навигации.

В отзыве указано, что диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, конкретно – в выполнение Федеральной космической программы. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 70 работ, 59 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 24 – в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 8 – в тезисах докладов, 2 – в монографиях. 5 работ опубликовано без соавторов. На разработанную программу получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты

диссертации, отсутствуют. Диссертация не содержит некорректных заимствований.

**Основные научные работы соискателя по теме диссертации:**

1. **Тучин Д.А.** Определение орбиты на борту космического аппарата // Изв. РАН. ТиСУ. — 2020. — № 3. — С. 126—147. — URL: <https://doi.org/10.31857/S0002338820020122>. — (WoS, Scopus, ВАК).
2. **Тучин Д.А.** Алгоритмы приёма сигналов навигационных спутников на борту космического аппарата с использованием коррелятора // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2018. — № 4. — URL: <https://doi.org/10.20948/prepr-2018-4>. — (ВАК).
3. **Тучин Д.А.** Селекция аномальных измерений при первичной обработке в определении орбиты по траекторной информации наземной станции Кобальт-Р. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2022. — № 58. — URL: <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-58>. — (ВАК).
4. **Тучин Д.А.** Автономное определение орбиты на борту космического аппарата // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2019. — № 7. — URL: <https://doi.org/10.20948/prepr-2019-7>. — (ВАК).
5. **Тучин Д.А.** Кодовые измерения псевдодальности системы GPS. Модель ошибок и априорная оценка точности определения вектора положения // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2002. — № 30. — URL: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2002-30>. — (ВАК).
6. Аким Э.Л., Астахов А.П., Бакитько Р.В., Польщиков В.П., Степаньянц В.А., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.**, Ярошевский В.А. Автономная навигационная система околоземного космического аппарата // Изв. РАН. ТиСУ. — 2009. — № 2. — С. 139—158. — (WoS, Scopus, ВАК).
7. Сергеева Ю.Р., **Тучин Д.А.** Алгоритм определения параметров аналитической модели движения навигационных спутников // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2016. — № 109. — URL: <https://doi.org/10.20948/prepr-2016-109>. — (ВАК).

8. Гордиенко Е.С., Ильин И.С., Мжельский П.В., Михайлов Е.А., Паламарчук Е.А., Погодин А.В., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.**, Филиппова Е.Н., Худорожков П.А., Ярошевский В.С. Баллистико-навигационное обеспечение полёта малых космических аппаратов «Зонд-ПП» и «Рэлек» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. — 2016. — № 2. — С. 31—43. — (ВАК).
9. Komovkin S.V., Lavrenov S.M., Tuchin A.G., **Tuchin D.A.**, Yaroshevsky V.S. Celestial-Mechanical Interpretation of the Two-Way Radio Measurements of Radial Velocity of Spacecraft for Scientific Applications // Solar System Research. — 2016. — Vol. 50, no. 7. — P. 593—596. — URL: <https://doi.org/10.1134/S003809461607011X>. — (WoS, Scopus, ВАК).
10. Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Розин П.Е., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.** Управление движением космического аппарата при посадке на поверхность Луны // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. — 2021. — № 4. — С. 22—30. — (ВАК).
11. Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.** Точки бифуркации при проведении гравитационных манёвров в системе Юпитера // ДАН. — 2015. — Т. 462, № 2. — С. 154—157. — URL: <https://doi.org/10.7868/S0869565215140108>. — (WoS, Scopus, ВАК).
12. Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.** Методика формирования больших наклонов орбит космических аппаратов с использованием гравитационных манёвров // ДАН. — 2017. — Т. 472, № 4. — С. 403—406. — URL: <https://doi.org/10.7868/S0869565217040090>. — (WoS, Scopus, ВАК).
13. Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., **Тучин Д.А.** Обобщение формулы Резерфорда для синтеза цепочек гравитационных манёвров // ДАН. — 2021. — Т. 501, № 1. — С. 5—7. — URL: <https://doi.org/10.31857/S2686740021060109>. — (WoS, Scopus, ВАК).
14. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Лаврентьев В.Г., **Тучин Д.А.**, Лавренов С.М., Корянов В.В., Романов С.В., Ярошевский В.С., Грушевский А.В. Программно-моделирующий комплекс для расчёта схем

межпланетных траекторий полёта КА к планетам и телам (включая полёты к Марсу и Луне) Солнечной системы в интересах реализации проектов, планируемых в рамках ФКП-2025, и последующих программах / Госкорпорация Роскосмос . – № 2018619769; заявл. 13.07.2018 ; опубл. 10.08.2018, 2018617318 (Рос. Федерация).

В работах [1–7] опубликованы основные результаты автора по определению параметров движения на борту космического аппарата, представленные в диссертационной работе, причём работы [1–5] являются персональными. Созданная архитектура баллистического центра на борту космического аппарата опубликована в статье [6], показана возможность создания бортовой автономной навигационной системы, превосходящей по точности и надёжности наземный измерительный комплекс. Работы [1–6] отражают результаты **главы 2** диссертации. В статьях [5, 7] излагаются основополагающие принципы построения математической модели навигационного поля, вошедшие в **главу 3** диссертации.

В работах [3, 8, 9] изложены методы и алгоритмы определения параметров движения малого космического аппарата одним измерительным пунктом. Статья [8] посвящена описанию баллистико-навигационного обеспечения полёта малого космического аппарата для фундаментальных космических исследований. Приведены алгоритмы локальной обработки измерений, небесно-механической интерпретации измерений, алгоритмы определения орбиты. Эти результаты излагаются в **главе 1** диссертации.

В статье [10] представлены основные результаты, полученные автором при создании и реализации алгоритмов бортового программного обеспечения при посадке космического аппарата на поверхность Луны. Они изложены в **главе 4** диссертации.

Личный вклад автора в решении задач баллистического проектирования полёта космического аппарата в системе Юпитера [11], в задаче формирования больших эклиптических наклонений [12] и в задаче синтеза цепочек гравитационных манёвров [13] изложен в **главе 5** диссертации. Программно-

моделирующий комплекс, описанный в главе 5, для расчёта схем межпланетных траекторий зарегистрирован в виде комплекса программ [14].

На диссертацию поступили отзывы ведущей организации и трёх оппонентов, а также три отзыва на автореферат. **Все отзывы положительные.** В отзывах содержатся следующие комментарии и замечания.

#### **Замечания ведущей организации ИКИ РАН.**

1. Не ясно, какова вычислительная сложность ключевых алгоритмов определения орбиты в автономной навигационной системе (глава 2) на короткой дуге и при обработке нормальных мест, и как она соотносится с ограничения по вычислительным ресурсам отечественных бортовых компьютеров.
2. Присутствует ошибка в формуле условий затенения цифровой телевизионной камеры БОКЗ-МФ Солнцем (глава 4, стр. 279). Видимо, пропущен  $\arccos$ .
3. Автор не изучил влияние абберации на точность измерения БОКЗ-МФ (глава 4, стр. 277, формула (4.16)).

#### **Отзыв официального оппонента В.Г. Петухова, д.т.н., чл.-корр. РАН.**

В отзыве на диссертацию отмечено, что теоретическая значимость диссертационной работы состоит в создании методов, обеспечивающих функционирование автономной навигационной системы на борту космического аппарата в разрывном навигационном поле на высоких эллиптических орбитах (типа Молния) и геостационарных орбитах. Большую теоретическую значимость имеет созданный инструмент баллистического проектирования, который позволяет рассчитывать и анализировать множество траекторий перелётов в Солнечной системе. Достоверность научных положений подтверждается успешной эксплуатацией разработанного программного обеспечения в системах управления реальных КА и при контроле выведений КА, а также верификацией результатов моделирования по данным лётных испытаний.

## Замечания по работе:

1. На стр. 24 сказано, что «Впервые разработан численный метод определения орбиты на борту космического аппарата, выходящего за пределы навигационного поля спутниковых навигационных систем». Спорное утверждение, что впервые! Например, в 2005 году EADS Astrium предлагал на рынке GPS-приёмник MosaicGNSS для работы на низких, средних и геостационарной орбите с заявляемой точностью (3 сигма) на ГСО 150 м по положению и 2 см/с по скорости. В монографии «Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации» под ред. В.А. Бартенева (М.: Физматлит, 2014, 192 с., ISBN 978-5-9221-1577-3) на странице 89 указывается, что в ОАО ИСС им. академика М.Ф. Решетнева в 2008-2009 годах проводились эксперименты по применению ГНСС-приёмников на геостационарной орбите. В частности, в 2009 году КА автоматически удерживался по долготе с ошибкой менее 0.1 градус без привлечения средств НКУ. В статье Д.И. Марарескул «Способ повышения доступности навигационного обеспечения высокоорбитальных космических аппаратов по ГЛОНАСС» (Вестник СибГАУ 6(52), 2013, с. 82-88) утверждается, что «Возможность использования ГЛОНАСС и GPS для навигации высокоорбитальных космических аппаратов на геостационарной орбите (ГСО) уже подтверждена успешным опытом эксплуатации на нескольких космических аппаратах на ГСО серии «Радуга М1»» (эти КА запускались в период 2009-2013 гг.).

2. В работе на стр. 269 сказано, что «При создании математических моделей навигационных приборов и двигательной установки на этапе посадки на поверхность Луны реализована модель движения центра масс КА, учитывающая силы центрального поля тяготения Луны, притяжения Земли и Солнца, нецентральности гравитационного поля Луны, а также двигательной установки КА». Не вполне понятна необходимость учёта гравитационных возмущений от Земли и Солнца на этапе посадки на поверхность Луны?

3. В работе, на стр. 331 в краевых условиях задачи терминального управления не учитывается вращение Луны вокруг собственной оси, нулевая скорость в замороженной стартовой системе координат не будет соответствовать нулевой скорости относительно поверхности Луны. Необходимо было привести оценки величины конечной скорости КА относительно Луны, возникающей при использовании рассматриваемого терминального управления.

4. В работе, на стр. 356 сказано, что «В случае больших, окологиперболических значений асимптотической скорости КА  $v_\infty > 1$  реализуются, очевидно, любые наклонения орбиты КА на одном пролёте [241, с. 16]. Действительно, в этом случае отсутствует ограничение на направление вектора скорости КА после ГМ. Поэтому возможны любые наклонения орбиты КА на одном пролёте». 1) Не окологиперболической асимптотической скорости, а асимптотической скорости, больше круговой гелиоцентрической скорости планеты. 2) Неточное утверждение. Ограничение в одном пролёте существует, и довольно жёсткое, это ограничение на угол поворота вектора асимптотической скорости, связанный с ограничением на минимальную высоту пролёта планеты. С ростом модуля вектора асимптотической скорости допустимая величина угла его поворота уменьшается. Ограничение угла поворота асимптотической скорости ограничивает направление вектора скорости КА после ГМ.

5. В работе замечены опечатки, грамматические и стилистические ошибки, например на стр. 8, 9, 12, 13, 26, 182, 237, 263, 264, 272, 318, 323, 340, 342, 348, 360. На стр. 15 указывается посадка на неизвестные небесные тела Галилео и Кассини. На стр. 146. сказано, что «Приведём рекуррентные формулы для расчёта коэффициента  $b_n$  наклона линейной регрессии». Здесь  $b_n$  — не коэффициент наклона линейной регрессии, а аддитивный член. На стр. 263 сказано, что «Все ближайшие разрабатываемые проекты предполагают ... выполнение посадки в заданную точку поверхности одного из полюсов».

Ближайший проект («Луна-26») посадку не предполагает. На стр. 279 сказано, что «Условия затенения цифровой телевизионной камеры БОКЗ-МФ Солнцем, Землёй и Луной ...». Вероятно, имеются ввиду условия его засветки Солнцем. На стр. 343 сказано, что «Изменив скорость при совершении ГМ можно изменить период орбиты вокруг Юпитера, тем самым выйти на его орбиту для осуществления посадки на его поверхность». Существование поверхности у Юпитера не доказано, поэтому вопрос посадки на неё обычно не рассматривается. Вероятно, подразумевается посадка на поверхность одного из спутников Юпитера. На стр. 379 в таблице 81 для безразмерной асимптотической скорости приведена размерность км/с.

#### **Отзыв официального оппонента В.В. Сазонова, д.ф.-м.н., доцента**

В отзыве отмечено, что в диссертации получен ряд новых научных результатов, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Разработаны новые математические модели, численные методы и алгоритмы, которые реализованы в виде специального программного обеспечения. Практическая значимость работы не вызывает сомнений и подтверждена многолетним успешным использованием полученных результатов в реальных космических проектах. В отзыве указаны следующие замечания:

1. Работа имеет большой объём и содержит большое количество уточняющего материала, такой стиль изложения идеален для написания учебников, но избыточен для диссертационной работы.
2. На стр. 18 автор использует термин «ближний космос» и «дальний космос», однако непонятно, что вкладывается в эти термины, в литературе имеются разные трактовки.
3. На стр. 19 автор указывает, что приведены алгоритмы расчёта неких «задержек в бортовой аппаратуре», однако не указывает явно, о каком процессе идет речь.
4. На стр. 58 приводятся формулы расчёта силы светового давления и возмущающего ускорения и эти формулы не показывают зависимость данных

силы и ускорения от формы космического аппарата и материала поверхности. Пояснений по этому факту и ссылок на литературу не приводится.

5. На стр. 60 автор указывает, что постоянно производит сравнение индексов солнечной активности рассчитанный при помощи его методики по данным российских источников и иностранных, но далее непонятно как используются результаты сравнения, в чем смысл это сравнения неясно.

6. На стр. 67 автор указывает, используется иностранная модель атмосферы NRL-MSISE-00. Почему была выбрана именно эта модель и не используется отечественная модель, например ГОСТ Р 25645.166-2004.

7. На стр. 111 в критерии отбраковки аномальных измерений (п. 1.9) предполагается, что выборка содержит не более 50 % аномалий, однако пояснений или ссылок на подтверждающие исследования не приводится.

8. На стр. 162 допущена неточность при описании орбитальной системы координат, ось OX аппарата не всегда направлена вдоль вектора скорости. Хотя приведённые формулы верные.

9. В главе 5 автор не указывает как планируется адаптировать созданные инструменты баллистического проектирования для учёта негравитационных эффектов (например, давления сил солнечной радиации) при полётах к малым телам Солнечной системы.

#### **Отзыв официального оппонента В.Д. Дишеля, д.т.н., доцента.**

В отзыве отмечено, что особую значимость проведённые исследования приобретают ввиду реализации в настоящее время перспективных направлений Федеральной космической программы России.

Отмечается, что предложенные в исследовании подходы обладают существенной научной ценностью, в частности созданный инструментарий баллистического проектирования открывает возможности для теоретического анализа широкого спектра траекторий в Солнечной системе и способствует формированию новых перспективных научных направлений. Одновременно

работа характеризуется высокой практической значимостью и высокой степенью обоснованности и достоверности научных положений и выводов.

В качестве замечаний отмечено следующее.

1. В диссертации не приведены чёткие критерии, по которым оценивается оперативность решения задач БНО управления разнообразными, в том числе многоспутниковыми космическими системами, а также не определён порядок расширения ресурсов, привлекаемых к управлению полётами космических систем, который считался бы приемлемым.

2. В тексте диссертационной работы имеется множество мест, где автор при изложении очередных исследований ссылается на материал и даже формулы, которые располагаются много ниже, вплоть до следующих глав.

**Отзыв на автореферат, Матюшина Максима Михайловича, д.т.н., первого заместителя генерального директора – начальника Центра управления полётами АО «ЦНИИмаш».**

В отзыве отмечено, представленная диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты, имеющие теоретическое и практическое значение.

Имеются следующие вопросы и замечания.

1. Вопрос. Почему используется шкала московского времени в тексте последнего абзаца на стр. 17, действительно ли бортовой компьютер работает в московском времени и если да, то в каком именно, декретном, астрономическом или каком-то другом? Цитата. «АНС ежесекундно выдаёт в центральный бортовой компьютер кинематические векторы положения и скорости КА, импульс сигнала точного времени и его цифровое значение по шкале московского времени».

2. На стр. 24, на рис 4 представлены графики ошибок положения в м и скорости в мм/с на интервале двух суток (4 витков) в орбитальной СК при определении орбиты ВЭО в АНС. Вопросы. Будет ли повторяться характер поведения кривых на 5-м витке? Проводились ли исследования по определению

точности положения и скорости КА на ВЭО с драконическим периодом более 12 часов?

**Отзыв на автореферат от Назарова Анатолия Егоровича, д.т.н., зам. начальника отдела баллистики и навигации, Розина Петра Евгеньевича, к.т.н., начальника сектора отдела динамики полёта КА, Гордиенко Евгения Сергеевича, к.т.н., ведущего математика отдела баллистики и навигации, АО «НПО Лавочкина».**

В отзыве отмечено, что теоретическая значимость работы заключается в создании целостной архитектуры и комплекса взаимосвязанных методов для автономной навигации КА в сложных условиях, а также в развитии инструментов баллистического проектирования, позволяющих теоретически исследовать множества траекторий в Солнечной системе и выявлять новые схемы полёта с использованием гравитационных манёвров. Практическая значимость подтверждена впечатляющим объёмом внедрений. Диссертация, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области математического моделирования, численных методов и создания комплексов программ для навигационного обеспечения и баллистического проектирования полётов космических аппаратов.

По автореферату имеется ряд вопросов и замечаний.

1. В описании бортовой АНС (Глава 2) указано, что на геостационарной орбите для первого достоверного определения требуется априорная информация. Хотелось бы уточнить, насколько критичным является объём и точность этой априорной информации для успешного запуска алгоритма?
2. В тексте автореферата (Глава 3) говорится о создании имитационного комплекса для моделирования сигналов ГНСС, однако не совсем ясно, предусматривает ли данный комплекс возможность моделирования работы аппаратуры в условиях воздействия ионосферных возмущений?

3. При описании алгоритмов управления посадкой (Глава 4) следовало бы более подробно остановиться на вопросе парирования возмущений, связанных с неравномерной выработкой топлива из баков и смещением центра масс, что критически важно для точности реализации терминального наведения.

**Отзыв на автореферат Лапшина Владимира Владимировича, д.ф.-м.н., профессора кафедры теоретической механики МГТУ им Н.Э. Баумана. Отзыв не содержит замечаний.**

В отзыве отмечено, что большую теоретическую значимость имеют методы, алгоритмы и комплексы программ автономной навигационной системы. Созданный инструмент баллистического проектирования, который позволяет рассчитывать и анализировать множество траекторий перелётов в Солнечной системе. Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что разработанные методы, алгоритмы и программы используются в составе бортовой автономной навигационной системы шести космических аппаратов на орбитах с большим эксцентриситетом; разработаны комплексы программ управления движением космического аппарата, включая посадку на поверхность; разработанные методы и алгоритмы использовались в навигационном обеспечении полёта «Зонд-ПП», «Рэлек», «Спектр-РГ»; методы, алгоритмы и программы включены в бортовой программный комплекс управления режимами движения и в стенды аппаратно-программной отладки систем космического аппарата «Луна-25».

Во всех присланных отзывах отмечено, что указанные в них замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а соискатель заслуживает присуждения учёной степени по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и высоким уровнем компетентности**

по всем основным вопросам, рассмотренным в диссертации, включая численное моделирование бортовых и наземных навигационных систем и управления космическими аппаратами, что подтверждается их многочисленными научными публикациями по тематике диссертационной работы. Оппоненты имеют большой опыт по внедрению результатов в прикладной области космических исследований, включая баллистическое проектирование перспективных отечественных проектов.

В.Г. Петухов является специалистом в области механики космического полёта и оптимального управления движением космических аппаратов, автором курсов лекций по теории движения и проектно-баллистическому анализу космических аппаратов, которые читает в МАИ.

Область научных интересов В.В. Сазонова связана с математическим моделированием, вычислительной геометрией, геометрическим моделированием, построением систем автоматизированного проектирования, мультиагентными технологиями. Он руководит разработкой специализированного программного обеспечения для проектирования космических аппаратов, оборудования ситуационных центров и центров управления полетами, решения других прикладных задач.

В.Д. Дишель – специалист в области инерциальной и спутниковый навигации, оптимальной фильтрации и обработки измерений, систем управления динамическими объектами, в том числе космическими средствами выведения.

В ИКИ РАН ведутся работы в области исследования небесных тел Солнечной системы, разрабатываются методы и средства определения ориентации и местоположения космических аппаратов; производится калибровка, испытания и отработка бортовых приборов; разрабатываются алгоритмы и комплексы бортовых программ.

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

1. **Разработана новая математическая модель** навигационных сигналов, принимаемых аппаратурой на борту космического аппарата, а также взаимосвязанные математические модели бортовых навигационных устройств и органов управления космического аппарата для реализации мягкой посадки на поверхность Луны. Впервые **разработан** и реализован в виде **комплекса программ** для отечественного бортового компьютера алгоритм определения орбиты на борту КА, выходящего за пределы штатного навигационного поля спутниковых систем. Новизна метода заключается в комбинировании фильтра Калмана и метода наименьших квадратов, эффективно компенсирующих ограниченное количество измерений и ошибки бортовых вычислений, невысокую скорость вычислителя и ограниченный объем оперативной памяти.
2. Впервые **разработана архитектура автономной навигационной системы**, которая обеспечивает реализацию функций баллистического центра и работает в режиме реального времени на борту космического аппарата.
3. **Разработан рекуррентный метод фильтрации** измерений при обеспечении слежения за сигналами навигационных систем для сокращения используемой памяти бортового компьютера.
4. **Разработан численный метод минимизации ошибки вычислений** при интегрировании уравнений движения и формировании матрицы нормальных уравнений метода наименьших квадратов при обработке измерений на борту космического аппарата.
5. **Разработан быстродействующий метод вычисления** гравитационных возмущений от Луны и Солнца непосредственно на борту космического аппарата. Новизна подхода заключается в исключении необходимости хранения больших массивов заранее вычисленных коэффициентов в ПЗУ, что критически важно для бортовых систем с ограниченными ресурсами.

6. **Выполнено оригинальное исследование по выявлению аномальных измерений** траектории движения космического аппарата, в результате создан критерий идентификации и отбраковки аномальных измерений.

7. **Создан инструмент, позволяющий оперативно анализировать варианты** результатов вычислительных экспериментов при баллистическом проектировании перспективных космических проектов. **Созданы методы и алгоритмы поиска оперативного решения** задач нахождения окон старта при полётах в Солнечной системе и определения соответствующих начальных условий с учётом полной модели гравитационных возмущений. Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

8. **Разработаны численные методы определения параметров движения** космического аппарата, которые позволили решить задачи высокоточного определения орбиты низкоорбитальных космических аппаратов с использованием измерений одного наземного измерительного пункта и бортовой телеметрической информации.

9. **Создан комплекс связанных математических моделей** для имитации работы всех ключевых систем посадочного лунного аппарата: от звёздного датчика и бесплатформенного инерциального блока до доплеровского измерителя скорости и сложной двигательной установки с двумя топливными системами. Новизна заключается в комплексности подхода, позволившего на едином стенде отработать численные методы, алгоритмы и комплекс программ терминального управления, использованные в проекте «Луна-25».

**Теоретическая значимость исследования** заключается в развитии методов небесной механики применительно к новым актуальным задачам. Предложены оригинальные подходы к интегрированию уравнений движения на бортовых ЭВМ с малой разрядностью, разработаны эффективные рекуррентные алгоритмы фильтрации для слежения за сигналом, а также адаптированы и введены в практику баллистического анализа инструменты, позволяющие исследовать свойства пучков траекторий.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается многолетним успешным использованием результатов в реальных космических проектах.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обеспечивается строгим применением фундаментальных законов механики, известных математических методов и алгоритмов вычислений (методы наименьших квадратов, фильтр Калмана, методы Рунге-Кутты, Левенберга-Марквардта и др.) и корректностью постановок задач. Правильность и безотказность разработанных комплексов программ подтверждена длительной успешной эксплуатацией разработанного комплекса программ в системах управления реальных космических аппаратов, а также валидацией результатов моделирования по данным реальных лётных испытаний.

**Личный вклад соискателя.** Все результаты диссертационной работы получены лично автором. Автором единолично разработаны методы, алгоритмы и комплексы программ для бортового вычислительного комплекса по определению геостационарных орбит и орбит с большим эксцентриситетом, включая систему обеспечения вычислительных процессов (операционную систему) для решения навигационных задач и приёма измерений на отечественных процессорах. Совместно с А.С. Гаммалом разработан бортовой программный комплекс управления движением космического аппарата «Луна-25». Вклад автора в публикации является определяющим, пять публикаций написаны автором единолично.

В ходе защиты диссертации вопросы соискателю задавали: председатель диссертационного совета Б.Н. Четверушкин, члены диссертационного совета: В.Ф. Тишкин, В.А. Гаранжа, И.Б. Петров, Ю.В. Василевский, И.С. Меньшов, М.А. Корнилина. На все вопросы и замечания, включая замечания в письменных отзывах, соискатель дал исчерпывающие и убедительные ответы, отраженные в стенограмме.

В дискуссии старший научный сотрудник ИКИ РАН, д.т.н. Б.С. Жуков отметил, что работа имеет большую перспективу дальнейших исследований при реализации посадочных миссий на Луну, а результаты будут использоваться в ИКИ РАН при создании оптической навигационной системы. Главный научный сотрудник отдела № 5 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, д.ф.-м.н. Г.К. Боровин отметил, что результаты работы применялись при запуске европейских аппаратов с космодрома во французской Гвиане с использованием отечественных средств выведения, а вклад соискателя в работу по созданию автономной навигационной системы является уникальным. Начальник сектора АО «НПО Лавочкина», к.т.н. Розин П.Е. акцентировал внимание на работах по Лунной программе. Он указал, что достижение Луны аппаратом «Луна-25» является непосредственной заслугой соискателя в составе коллектива ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Он также отметил, что численный метод решения задачи терминального управления имеет большую перспективу развития в отечественных проектах посадки на Луну. Председатель совета Б.Н. Четверушкин отметил, что, судя по выступлениям и заслушанным отзывам, соискатель пользуется большим заслуженным авторитетом среди сообщества, занимающегося баллистикой космических аппаратов. Соискатель сделал важный шаг в развитии этого направления и заслуживает присуждения искомой степени.

На заседании 19 марта 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Тучину Денису Андреевичу учёную степень доктора физико-математических наук за решение крупной научно-технической проблемы, связанной с созданием научных основ и практической реализацией высокоточных автономных бортовых систем навигационно-баллистического обеспечения действующих и перспективных космических аппаратов на основе отечественной вычислительной техники, что имеет критически важное значение для развития космической отрасли России.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против - нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 24.1.237.01

Б.Н. Четверушкин

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.1.237.01

М.А. Корнилина

19.03.2026

