Математические модели и методы навигационного обеспечения и баллистического проектирования полётов космических аппаратов

Денис Андреевич Тучин
(по материалам докторской диссертации)

Специальность: 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Аннотация

Работа выполнена в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Реализация сложных отечественных проектов исследований ближнего и дальнего космоса требует обеспечения высокой вероятности успеха и минимизации просчётов и ошибок. Численные методы, алгоритмы и реализующие их комплексы программ должны быть разработаны с учётом развития отечественной наземной и бортовой вычислительной техники. Перед реализацией любого космического проекта необходимо провести вычислительные эксперименты с применением методов математического моделирования для надёжного выполнения поставленных задач.

Созданы численные методы, алгоритмы и комплекс бортовых программ автономной навигационной системы космического аппарата, которая позволяет определять орбиту по малому количеству видимых навигационных спутников. Создан комплекс бортовых программ режимов управления движением космического аппарата с посадкой на поверхность Луны. Выполнено математическое моделирование работы бортовых систем навигации и управления при выполнении посадки на поверхность Луны. Решена задача проектирования полётов космических аппаратов в Солнечной системе на основе статистического моделирования перелётных траекторий между небесными телами.

Abstract

The work was carried out at the M.V. Keldysh Institute for Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences.

The work was carried out at the Keldysh Institute of Applied Mathematics. The implementation of complex domestic projects for near- and far-space research requires ensuring a high probability of success and minimizing miscalculations and errors. Numerical methods, algorithms, and software packages implementing them must be developed taking into account the development of domestic ground-based and onboard computing equipment. Before implementing any space project, it is necessary to conduct computational experiments using mathematical modeling methods to ensure reliable completion of the assigned tasks.

Numerical methods, algorithms, and a set of onboard programs for the spacecraft's autonomous navigation system have been developed, allowing for the

determination of the spacecraft's orbit based on a small number of visible navigation satellites. A set of onboard programs for controlling the spacecraft's movement during its landing on the lunar surface has been created. Mathematical modeling of the spacecraft's onboard navigation and control systems during its landing on the lunar surface has been performed. The task of designing spacecraft missions in the Solar System based on statistical modeling of flight trajectories between celestial bodies has been solved.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 70 печатных изданиях, 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. Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

Основные публикации автора 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. *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).

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. *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).

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, VAK).

10. *Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин А.Г., Тучин Д.А., Федотов В.П.* Системы управления движущимися объектами управление на этапе основного торможения при посадке на Луну космического аппарата с комбинированной двигательной установкой // Изв. РАН. ТиСУ. — 2016. — № 2. — С. 104—114. — URL: https://doi.org/10.7868/S0002338816010121. — (WoS, Scopus, ВАК).

11. *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. — URL: https://doi.org/10.26162/LS.2021.54.4.004. — (ВАК).

12. *Арефьев В.А., Лутовинов А.А., Мольков С.В., Погодин А.В., Тучин А.Г., Тучин Д.А.* Решение навигационной задачи с использованием измерений сигналов рентгеновского пульсара по данным космического аппарата «Интеграл» // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2025. — № 6. — URL: https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2025-6. — (ВАК).

13. *Ильин И.С., Заславский Г.С., Лавренов С.М., Сазонов В.В., Степаньянц В.А., Тучин А.Г., Тучин Д.А., Ярошевский В.С.* Баллистическое проектирование траекторий перелёта с орбиты искусственного спутника Земли на галоорбиту в окрестности точки L2 системы Солнце-Земля // Космич. исслед. — 2014. — Т. 52, № 6. — С. 476—320. — URL: https://doi.org/10.7868/S0023420614060028. — (WoS, Scopus, ВАК).

14. *Заславский Г.С., Захваткин М.В., Ильин И.С., Корянов В.В., Самотохин А.С., Степаньянц В.А., Тучин А.Г., Тучин Д.А., Шишов В.А., Ярошевский В.С.* Баллистико-навигационное обеспечение полёта космического аппарата «Спектр-Р» // Космонавтика и ракетостроение. — 2014. — Т. 74, № 1. — С. 15—29. — (ВАК).

15. *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).

16. *Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., Тучин Д.А.* Методика формирования больших наклонений 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).

17. *Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., Тучин Д.А.* Синтез орбит космических аппаратов с большим наклонением посредством гравитационных манёвров около Венеры // ДАН. — 2019. — Т. 484, № 3. — С. 281—284. — URL: https://doi.org/10.31857/S0869-56524843281-284. — (WoS, Scopus, ВАК).

18. *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).

19. *Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., Тучин Д.А.* Универсальное свойство интеграла Якоби для гравитационных маневров в Солнечной системе // Космич. исслед. — 2020. — Т. 58, № 4. — С. 312—320. — URL: https://doi.org/10.31857/S0023420620040068. — (WoS, Scopus, ВАК).

20. *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 полета КА к планетам и телам (включая полеты к Марсу и Луне) Солнечной системы в интересах реализации проектов, планируемых в рамках ФКП-2025, и последующих программах [Текст] / Г. «Роскосмос». — № 2018619769 ; заявл. 13.07.2018 ; опубл. 10.08.2018, 2018617318 (Рос. Федерация).