

Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

от 13.05.2025 № РКС НТС-13

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Жукова Бориса Сергеевича
«Автономная оптическая навигация космических аппаратов при полетах к
Луне и малым телам Солнечной системы», представленной на соискание
ученой степени доктора технических наук
по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия**

В работе выполнено физико-техническое обоснование возможности создания системы, решающей задачу получения навигационных параметров на основе бортовой обработки в реальном времени данных телевизионных измерений направлений на горизонт планеты, объекты на ее поверхности и звезды путем их распознавания с использованием соответствующих каталогов. На этой концептуальной основе базируется разработка методов измерений, состава и параметров технических средств, а также программно математического обеспечения и технологии его отработки. Рассматриваемое направление исследований **является безусловно актуальным.**

Основные результаты работы. Научная новизна.

1. Метод автономных оптических навигационных измерений по горизонту планеты. Метод разработан для применения на околопланетных орбитах и на трассах перелета с учетом геометрии наблюдения, условий освещения, характеристик камеры, положения тела в поле зрения, наличия помех и др. Использование эффективных вычислительных алгоритмов позволяет проводить навигационные измерения на борту в реальном времени.

В автономном режиме траекторные измерения по горизонту в практике космических полетов до настоящего времени не проводились.

2. Метод автономных оптических навигационных измерений по контрольным точкам (КТ) – абсолютная навигация. Метод разработан для применения на околопланетных орбитах и при посадке космических аппаратов. За счет использования трехмерных моделей КТ обеспечивается автоматическая адаптация к изменению структуры изображения КТ на поверхности безатмосферных тел при изменении условий освещения. Использование

эффективных вычислительных алгоритмов поиска контрольных точек позволяет проводить навигационные измерения на борту в реальном времени.

В автономном режиме подобные измерения на околопланетных орбитах до настоящего времени не проводились. При посадке на поверхность Луны и Марса в американских миссиях применялся метод относительной навигации по ранее полученным орбитальным изображениям. По сравнению с ним разработанный автором метод имеет следующие преимущества : инвариантность к условиям освещения за счет использования 3D-моделей контрольных точек, учет высоты рельефа и перспективных искажений и значительная (на 1-2 порядка) экономия бортовой памяти.

3. Метод формирования каталогов контрольных точек на поверхности тел Солнечной системы для задач автономной оптической навигации. Каталоги КТ строятся на основе критериев оптимальной локализации, уникальности в области поиска, инвариантности к условиям наблюдения в широком диапазоне за счет использования трехмерных моделей КТ, независимости от объектов, не входящих в область определения КТ, и соответствия иерархическим алгоритмам навигационных измерений.

С использованием предложенного алгоритма построен новый специализированный глобальный каталог контрольных точек на поверхности Луны для задач автономной оптической навигации, содержащий более 40 тыс. КТ. Подобные специализированные каталоги КТ на поверхности Луны до настоящего времени отсутствовали. Имеющие каталоги кратеров на поверхности Луны мало пригодны для целей автономной оптической навигации

4. Метод построения фотометрической карты риска для определения направления на наиболее безопасную площадку при посадке на поверхность безатмосферных тел. Метод основан на использовании критериев минимизации относительной дисперсии яркости площадки и порогов по теням и средней яркости площадки. Метод впервые использован в навигационной системе ТСНН на КА «Фобос-Грунт». В дальнейшем схожие методы построения карты риска использовались при посадке китайских и индийских аппаратов на поверхность Луны.

Показано, что при использовании автономной оптической навигации для повышения точности вывода КА в район посадки и автономного выбора места посадки по телевизионным изображениям вероятность посадки на опасные уклоны может быть уменьшена до ~3%.

5. На основе разработанных методов предложен новый подход к построению систем автономной оптической навигации, сочетающий навигационные измерения по горизонту и по контрольным точкам с использованием одновременных измерений ориентации космического аппарата и

времени. Такой подход обеспечивает автономность и высокую точность навигационных измерений.

6. Разработанные в диссертации методы и подходы к решению задач автономной оптической навигации использованы при построении следующих новых навигационных систем:

- телевизионная система навигации и наблюдения ТСНН для КА «Фобос-Грунт» для навигационных измерений при посадке на Фобос, прошедшая стендовую отработку и испытания в составе КА (запуск КА «Фобос-Грунт» в 2011 г. окончился неудачей);

- оптическая навигационная система для Пилотируемого транспортного корабля для навигационных измерений на трассе перелета Земля-Луна и на окололунных орбитах, прошедшая стендовую отработку;

- телевизионная система навигации ТСНН-2 для КА «Луна-27» для навигационных измерений на траектории подлета к району посадки и выбора безопасного места посадки (в настоящее время разрабатывается)..

Теоретическая и практическая значимость. Методы автономной оптической навигации, разработанные автором, и созданные на их основе оптические навигационные системы позволяют повысить надежность и безопасность космических полетов к Луне, Марсу, Венере и малым телам Солнечной системы, предусмотренных Федеральной космической программой.

На трассе перелета и на околопланетных орбитах автономное уточнение орбиты в реальном времени особенно важно при выводе КА на околопланетную орбиту и после коррекций орбиты, при пролете малых тел Солнечной системы, орбита которых недостаточно хорошо известна, а также в нештатных ситуациях.

Автономная оптическая навигация на этапе основного торможения при посадке КА на поверхность небесных тел позволит радикально повысить точность вывода КА к месту посадки, что даст возможность выбирать для посадки районы меньших размеров и в большей степени ориентироваться на научные задачи миссии, а не на наличие больших ровных площадей.

Безопасность посадки космических аппаратов на поверхность небесных тел напрямую связана с уклонением в реальном времени от опасных уклонов и камней, которые вследствие относительно малого размера могут не быть распознаны с орбиты вследствие недостаточного разрешения орбитальных съемочных систем. Кроме того, вследствие значительных размеров эллипса рассеяния точки выведения КА в район посадки в его пределах всегда будет иметься большое число опасных неровностей рельефа.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается результатами математического моделирования, обработки космических изображений Фобоса и Луны,

систематической навигационной обработки изображений, получаемых Комплексом многозональной спутниковой съемки на КА «Метеор-М», а также стендовой отработки реальных оптических навигационных систем.

Вместе с тем, по автореферату к представленной работе необходимо сделать **следующие замечания:**

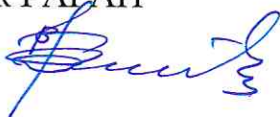
1. По результатам стендовой отработки оптической навигационной системы для пилотируемого транспортного корабля показано, что на трассе перелета достигается высокая точность определения направления на центр Луны, но ошибки определения расстояния до нее могут составлять многие километры. Для компенсации ошибок измерения расстояния следовало бы рассмотреть комплексирование оптических измерений с наземными радиолокационными траекторными измерениями, имеющими высокую точность измерения расстояния и низкую точность угловых измерений.

2. Показано, что на околопланетных орбитах и при посадке КА узкоугольная навигационная камера обеспечивает высокую точность определения горизонтальных координат КА и относительно низкую точность определения высоты КА. Следовало бы рассмотреть способы компенсации ошибок определения высоты, например, путем дополнительного использования альтиметрических систем.

Указанные замечания не снижают общий высокий уровень работы.

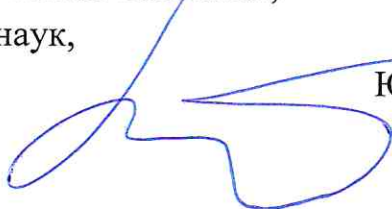
На основании автореферата можно заключить, что диссертация Б.С. Жукова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в выполнение Федеральной космической программы. **Диссертация соответствует требованиям ВАК к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени доктора технических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».**

Главный научный сотрудник-
заместитель начальника экспертно-аналитического центра
АО «Российские космические системы»,
д.т.н, профессор, академик РАН



Владимир Вадимович Бетанов

Главный конструктор направления-заместитель начальника отделения
АО «Российские космические системы»,
кандидат технических наук,



Юрий Михайлович Гектин

Подписи главного научного сотрудника-заместителя начальника центра Бетанова Владимира Вадимовича и главного конструктора направления-заместителя начальника отделения Гектина Юрия Михайловича заверяю.

Ученый секретарь

АО «Российские космические системы»,

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

Сергей Анатольевич Федотов

«13» мая 2025 г.



АО «Российские космические системы»

111250, г. Москва, Авиамоторная ул., д. 53

Тел. 8-495-673-94-30 E-mail contact@spacecorp.ru

: