



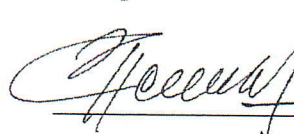
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»

(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»)

ул. Земеца, д. 18, г. Самара, 443009, тел. (846) 955-13-61, факс (846) 992-65-18, E-mail: mail@samspace.ru
ОКПО 43892776, ИНН 6312139922, КПП 997450001

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель
генерального директора -
генеральный конструктор, д.т.н.

 Равиль Нургалиевич
Ахметов*)

«__» _____ 2025 г.

ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертации. Диссертация Жукова Б.С. посвящена актуальной тематике управления космическими аппаратами в дальнем космосе, когда время распространения радиосигнала слишком велико для принятия оперативных решений в следующих ситуациях: после коррекции орбиты космического аппарата, при пролете малых тел Солнечной системы, и особенно при посадке на поверхность тел Солнечной системы.

Целью работы является комплексная разработка и внедрение методов автономной оптической навигации космических аппаратов в практику космических полетов в дальний космос на примере полетов к Луне и к Фобосу.

Научная новизна полученных результатов диссертации:

- предложен новый подход к построению систем оптической навигации телевизионных камер, который сочетает навигационные измерения по горизонту и по контрольным точкам (КТ);
- разработаны новые методы бортовых навигационных измерений по горизонту и по контрольным точкам, которые учитывают условия космических съемок, отражательные характеристики тел Солнечной системы и характеристики

телевизионных камер и используют эффективные вычислительные алгоритмы, учитывающие ограничения бортовых вычислительных средств;

- разработана новая методика формирования каталогов контрольных точек на поверхности тел Солнечной системы;

- разработана методика автономного выбора наиболее безопасного места посадки по телевизионным изображениям.

Практическая значимость результатов диссертации:

- полученные в диссертации методы автономной оптической навигации позволяют повысить надежность и безопасность космических полетов к телам Солнечной системы;

- также автономная оптическая навигация на этапе основного торможения при посадке космического аппарата на поверхность небесных тел позволяет радикально повысить точность вывода аппарата к месту посадки.

Автором опубликованы 24 научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 6 статей в рецензируемых иностранных журналах.

Достоверность и обоснованность разработанных автором методов и технических решений подтверждена результатами стендовых испытаний и отработки указанных систем, обработки реальных снимков Фобоса и Луны, а также результатами систематической навигационной обработки данных с КА «Метеор-М».

К достоинствам диссертационной работы безусловно следует отнести новый подход к построению систем оптической навигации в телевизионных камерах, который сочетает навигационные измерения по горизонту и по контрольным точкам (КТ). При этом используются независимые измерения ориентации КА. Измерения по горизонту не требуют априорной баллистической информации и позволяют оценить положение космического аппарата с точностью в пределах ~ 10 км. Эта информация используется для определения области поиска контрольных точек и уточнения по ним положение КА с точностью до десятков-сотен метров. Подобные измерения в реальном времени на борту космических аппаратов до настоящего времени не проводились.

Для реализации данного подхода автор разработал новые методы бортовых навигационных измерений по горизонту и по контрольным точкам, которые учитывают условия космических съемок, отражательные характеристики тел Солнечной системы и характеристики телевизионных камер и используют эффективные вычислительные алгоритмы, учитывающие ограничения бортовых вычислительных средств. Для обеспечения инвариантности к условиям наблюдения КТ характеризуются их трехмерными моделями, по которым проводится расчет их эталонных изображений в реальном времени.

Подобные навигационные измерения в реальном времени на борту космических аппаратов до настоящего времени также не проводились, хотя в наземных условиях схожие методы применяются при решении задач по географической привязке космических изображений и по геометрической калибровке космических съемочных систем; в том числе в опубликованных работах автора.

Для реализации метода навигации по контрольным точкам автор разработал новую методику формирования каталогов контрольных точек на поверхности тел Солнечной системы. В качестве критерия выбора контрольных точек используется известный детектор углов Харриса. Проводится проверка уникальности контрольных точек в потенциальной области поиска и независимость их изображений от объектов, не входящих в область их определения. КТ описываются многомасштабными пирамидами их трехмерных моделей. По данной методике разработан новый глобальный каталог контрольных точек на поверхности Луны, содержащий более 40 тыс. КТ. В отличие от имеющихся каталогов кратеров на поверхность Луны, контрольные точки в созданном автором каталоге обладают свойством уникальности и легко распознаются известными методами.

Важной частью работы является разработка методики автономного выбора наиболее безопасного места посадки по телевизионным изображениям. В качестве естественного критерия наиболее ровной площадки используется известный критерий дисперсии яркости изображений. Исследована связь этого критерия с характеристиками кратеров и проведена оптимизация разрешения съемочной системы для повышения чувствительности метода к опасным кратерам. Метод включает также тесты на степень затенения площадки и на ее среднюю яркость для контроля общего наклона площадки. Большие камни распознаются по отбрасываемым ими теням. Показано, что при использовании автономных траекторных измерений по контрольным точкам для повышения точности вывода КА в район посадки и при выборе наиболее безопасного места посадки предложенным методом вероятность посадки на опасные уклоны может быть уменьшена до ~3%.

На основе разработанных автором новых методов и подходов созданы новые системы оптической навигации:

- телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН) для КА «Фобос-Грунт»,
- оптическая навигационная система (ОНС) для пилотируемого транспортного корабля.

Эти системы успешно прошли стендовую отработку и подтвердили эффективность заложенных в них технических решений.

В процессе разработки находится - телевизионная система навигации и наблюдения ТСНН-2 для КА «Луна-27».

В качестве **недостатков** можно отметить следующее:

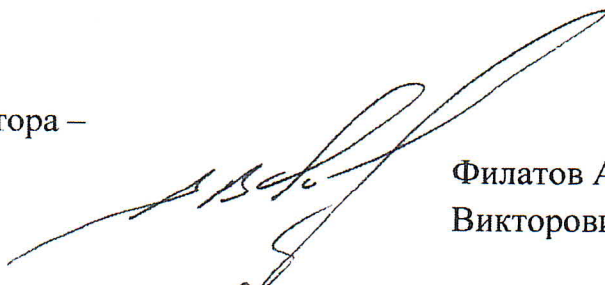
1) При описании стенда отработки оптической навигационной системы следовало бы более подробно рассмотреть ограничения стендовых измерений по сравнению с навигационными измерениями в условиях реального космического полета;

2) В Главе 2 при определении радиус-вектора космического аппарата по горизонту автор аппроксимирует наблюдаемое тело сферой или эллипсоидом вращения. Использование реальной топографической модели тела могло бы улучшить точность навигационных измерений по горизонту.

Вывод: В целом автореферат свидетельствует о том, что докторская диссертация на тему «Автономная оптическая навигация космических аппаратов при полетах к Луне и малым телам Солнечной системы» является законченной научно-исследовательской работой и соответствует п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., и ее автор, Жуков Борис Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Первый заместитель
генерального конструктора –
первый заместитель
начальника ЦСКБ

Главный конструктор –
начальник отделения по
системам управления и
управлению полётом КА




Филатов Артем
Викторович^{**)}

Сафиуллин Гумар
Абдуразакович^{***)}

*) - ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8(846) 992-65-29; e-mail: ARN@samspace.ru

**) - ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8(846) 992-64-89; e-mail: mail@samspace.ru

***) - ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8(846) 228-59-11; e-mail: mail@samspace.ru

Ахметов Р.Н., Филатов А.В., Сафиуллин Г.А. выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени доктора технических наук Жукова Б.С. и их дальнейшую обработку.