

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 (технические
науки)»

Диссертационная работа Бориса Сергеевича Жукова посвящена разработке и внедрению методов и систем автономной оптической навигации космических аппаратов на примере полётов к Луне и Фобосу. Это важнейшая задача в планетных исследованиях, поскольку в настоящий момент для навигации в дальнем космосе, в основном, используются радиотехнические методы, обработка которых, также как и снимков с орбиты, осуществляется на Земле.

Между тем, в современных технологических условиях необходима автономная оптическая навигация, позволяющая определять положение космических аппаратов непосредственно в режиме реального времени, на борту. Это востребовано как для коррекции околопланетной или пролетной орбиты, но особенно при посадке космических аппаратов на поверхность небесных тел для повышения точности вывода в намеченный район, включая возможность уклонения от опасностей, таких как большие камни, крутые кратеры или затененные области. Кроме того, автономная оптическая навигация является дополнением и резервированием традиционных наземных траекторных измерений радиотехническими методами, что повышает надёжность и безопасность космических миссий.

Необходимость применения автономной навигации подтверждается успешными примерами ее использования в космических миссиях зарубежных государств, таких как США, Индия, Китай. Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблемы и задачи, решаемые в диссертационной работе весьма актуальны, соответствуют современным направлениям развития планетных исследований в мире и способствуют их внедрению в практику отечественных проектов по изучению дальнего космоса, предусмотренных Федеральной космической программой.

К существенно новым научным результатам следует отнести:

- метод автономных навигационных измерений по горизонту планеты по изображениям в оптическом диапазоне, учитывающий основные факторы, влияющие на точность (форму тела, геометрические свойства камеры, наличие терминатора, помех, ограничение поля зрения и др.);
- методику комбинирования навигационных измерений по горизонту и по

контрольным точкам, обеспечивающая возможность уточнить положение на околопланетных орбитах в полностью автономном режиме без использования дополнительной баллистической информации;

- метод построения фотометрической карты риска для выбора наиболее ровной посадочной площадки с учетом связи текстуры изображений (относительной дисперсии яркости) с характеристиками кратеров.

Несомненную практическую значимость имеют реализация и внедрение полученных результатов, в том числе:

- алгоритм и программное обеспечение формирования специализированных каталогов контрольных точек для автономной оптической навигации в окрестности безатмосферных тел на основе цифровых моделей рельефа их поверхности;

- каталог контрольных точек Луны;

- создание и апробирование в космических миссиях в Луне и Фобосу систем автономной оптической навигации на основе нового подхода к их функционированию на околопланетных орбитах и на трассах перелёта на основе указанных выше методов.

Вместе с тем, к содержанию автореферата имеются замечания:

1. В описании глав 1 и 3 есть понятие контрольной точки (КТ) как абсолютного ориентира на поверхности исследуемого тела с априори известными трехмерными координатами (в отличие от относительных ориентиров, координаты которых определяются в полете, при необходимости). Однако, по ходу изложения в автореферате встречаются множество других понятий, связанных с КТ, но никак не определенных в ходе изложения: «эталонное изображение» КТ, «трехмерная модель» КТ, «многомасштабная пирамида» КТ. Чем же все-таки является контрольная точка?

2. Из содержания реферата к описанию главы 1 не ясно, на основании чего сделан вывод о несущественности отличий закона отражения Хапке от закона Ломмеля–Зеелигера при формировании эталонных изображений для КТ.

3. Автором используется неточный описательный термин «топографическая модель» вместо определения «цифровая модель рельефа» (сокращенно ЦМР). Между тем в исследовании использованы конкретные ЦМР Луны включая GLD100 и LOLA (упомянутые, например, на стр. 14 автореферата), имеющие особую ячеисто-матричную структуру хранения координатно-высотной информации.

4. Далее автор совершенно верно говорит о необходимости создания моделей более высокого разрешения, но при этом указывает необходимую величину неточно (как «~10 м»), тогда как надо было соотнести ее с размером

ячейки (пикселя или шага ЦМР), указав правильную размерность этой величины как «10 м/пиксель». В результате в тексте реферата некорректно используется понятие точность (м) вместо понятия разрешение (м/пиксель).

5. В разделе по четвертой главе, где представлен фотометрический метод выбора безопасного места посадки космического аппарата сказано, что проиллюстрирована методика привязки в реальном времени получаемых изображений, но в самом тексте это описание, к сожалению, отсутствует. И хотя в заключении (п. 4) подчеркивается необходимость картографической привязки получаемых снимков в режиме реального времени на борту КА, в автореферате следовало бы представить эту важнейшую часть навигационной системы.

6. В описании тестирования разработанного программно-алгоритмического обеспечения на околоземных орбитах, по результатам съемки с помощью комплекса многозональной космической съёмки КМСС-2 на КА серии «Метеор-М», указано, что в обработанных маршрутах большая часть контрольных точек не была опознана из-за наличия облачности, что существенно снизило общий % распознаваемости КТ. Непонятно, зачем учитывать облачные участки? В результате возникает путаница со статистической информацией, когда из текста не ясно - из 11 583 распознанных КТ не относятся ли все к 1779 успешно обработанным кадрам?

7. Глядя на рисунок 9а реферата, подписанный как карта, невозможно понять, где самые опасные уклоны, поскольку рисунок не является картой: отсутствует географическая сетка и пояснения к цветовой шкале (легенда карты), не указан масштаб. Это всего лишь схема распределения указанного параметра, где выбранная цветовая шкала вводит в заблуждение, поскольку зеленый цвет ассоциируется с наиболее безопасной ситуацией. Рисунки 9 б,г также нельзя назвать картами риска по указанным выше причинам.

8. На страницах 8 и 9 вместо термина «картографирование» используется сленговое слово «картирование», которое в ГОСТ «Картография. Термины и определения» маркировано как недопустимое к употреблению.

Однако указанные недостатки не снижают общую положительную оценку исследования. Полученные результаты имеют научную новизну, которая заключается в обосновании концепции и принципов функционирования системы автономной навигации, разработке методов навигационных измерений, основанных на оптических изображениях поверхности небесных тел, включая оценку точности предложенных способов.

В автореферате диссертации, достаточно представлены результаты работы, апробация которой проводилась на научных семинарах и конференциях, что отражено в 30-ти публикациях, в том числе 6 – в

рецензируемых зарубежных изданиях. Достоверность исследований подтверждена результатами отработки на стенде и, что важно, натурными навигационными оптическими измерениями как на околоземных орбитах по снимкам комплекса многозональной космической съёмки КМСС-2, так и на окололунных орбитах и на трассе перелёта Земля–Луна космического аппарата «Луна-25».

Работа «Автономная оптическая навигация космических аппаратов при полетах к Луне и малым телам Солнечной системы», удовлетворяет требованиям Положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 1.3.1 — «Физика космоса, астрономия (технические науки)», а ее автор — Жуков Борис Сергеевич — заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Отзыв составила:

кандидат технических наук,
Карачевцева Ирина Петровна

Руководитель Комплексной лаборатории исследования
внеземных территорий (КЛИВТ)
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный университет геодезии и картографии»

адрес: 105064, Москва, Гороховский пер., 4

телефон: +7(499)267-35-13, 8 (499) 404-12-20 доб. 1919

электронная почта: mexlab@miigaik.ru

сайт: <https://www.miigaik.ru/>

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация
подписавшего отзыв: 25.00.33 — Картография

 Карачевцева И.П.

Подпись руки
заверено  Карачевцевой И.П.

