



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»

д. т. н., профессор Равикович Ю. А.

«17» апреля 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
о диссертации Маштакова Ярослава Владимировича
«Использование прямого метода Ляпунова в задачах управления ориентацией космических аппаратов»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

Актуальность темы диссертации.

Важнейшей задачей спутниковой навигации является наблюдение за объектами/процессами на поверхности Земли или под её поверхностью. Совершенно очевидно, что решающую роль при этом играют алгоритмы управления ориентацией корпуса космического аппарата (КА). Типичной задачей в таком случае является применение так называемого спутникового приближения, когда орбита центра масс КА считается заданной, а в качестве математической модели рассматривается набор дифференциальных уравнений вращательного управляемого движения твердого тела КА.

В простейшей ситуации может быть рассмотрена задача переориентации спутника. Однако в реальных случаях чаще всего нужно отслеживать ориентацию КА в виде заданной функции времени, так называемого опорного режима. Более того, для возможности реализации этого режима на практике следует обеспечить устойчивость этого режима в силу системы уравнений возмущенного управляемого движения.

КА больших размеров в силу их дороговизны обычно многофункциональны, что приводит к необходимости последовательного решения ориентационных задач для различных заказчиков, а это еще сильнее увеличивает стоимость описываемого сервиса. Идеальным решением является применение малых недорогих спутников. Таким образом, решение задач ориентации

для таких объектов актуально с различных точек зрения. Рассматриваемая здесь диссертация решает ряд подобных проблем. Надо сказать, что эти проблемы достаточно сложны с математической точки зрения и требуют от автора диссертации значительной аналитической ловкости.

Общая характеристика работы.

Диссертация объёмом в 94 страницы машинописного текста состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 70 наименований и приложения.

Во Введении подробно описываются различные методики управления ориентацией КА малого размера. Имеется библиографический обзор значительного объема.

В первой главе рассмотрена общая задача об ориентировании КА. Проверяется выполнимость условий теоремы Барбашина – Красовского. Показано, что целые траектории не лежат на множестве нулевой производной от функции Ляпунова. Кроме добавляемых управлением новых положений равновесия, которые оказываются неустойчивыми. Здесь автор справедливо замечает, что вследствие наличия различных неучтенных возмущений точный закон управления невозможен. Оценка точности получаемого управления рассматривается в Разделе 1.5. В Главе 1 получены удобные формулы для оценок точности управления ориентацией и угловой скоростью. Эти формулы можно эффективно использовать при практических расчетах. Автор решает задачу кинематического анализа вращательного движения спутника двояко: а) при помощи направляющих косинусов, б) при помощи кватернионов. Такой подход имеет очевидную теоретическую и прикладную ценность.

Несомненный интерес представляет рассмотренная в Главе 2 задача об одноосной ориентации спутника с заданной угловой скоростью вращения вокруг этой оси. В самом деле, хорошо известно, что многие КА имеют заданную закрутку вокруг заданной оси, что позволяет получить дополнительное качество в соответствующей задаче об ориентировании. Во второй главе, кроме того, детально рассмотрена задача игнорирования ярких объектов на небесной сфере спутника. Исследованы случаи непересекающихся и пересекающихся пятен. Задача решается методом штрафных функций. При этом могут возникать дополнительные положения равновесия, которые приводят к замедлению и «застреванию» процесса управления.

В Главе 3 рассмотрена методика построения опорного решения задачи ориентации КА. Такое опорное решение должно отслеживать положение объекта на поверхности Земли. Данная глава носит чисто кинематический характер. В ней автор эффективно использует наличие в задаче малых параметров при анализе геометрии задачи о съемке объектов на поверхности Земли. Результаты главы позволяют строить практические рекомендации для оценивания качества съемки объектов на поверхности планеты.

Представляется оригинальным содержание Главы 4, где предлагается методика разгрузки маховиков, обеспечивающих управление ориентацией КА, при помощи моментов, создаваемых силами гравитации и светового давления. Процедуры разгрузки строятся для спутника на высокоэллиптической,

кеплеровой орбите, что позволяет учесть возможность использования моментов сил гравитации (в окрестности перицентра) и светового давления (в окрестности апоцентра). Задача о разгрузке кинетических моментов маховиков сводится к оптимизационной задаче с ограничениями в виде неравенств, которая, в свою очередь, решается при помощи теоремы Куна – Таккера. Оказалось, что задачи о разгрузке кинетического момента маховиков при помощи моментов сил светового давления и моментов сил гравитации динамически аналогичны одна другой и могут решаться при помощи похожих алгоритмов.

Результаты, полученные автором в главах 1 – 4, являются **новыми**.

Достоверность полученных результатов задается сравнением с другими, ранее полученными численными результатами.

Теоретическая значимость результатов определяется применением фундаментальных результатов теории устойчивости и теории оптимизации.

Практическая значимость работы: Работа, без сомнения, имеет очевидную практическую направленность. В ней решены интересные прикладные задачи, связанные с построением конкретных технических решений при реализации миссий наблюдения Земли из космоса.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 статей. Автор также выступил с докладами на не менее чем 7 конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертации рекомендуются к использованию при проектировании различных миссий, включающих задачи наблюдения объектов на поверхности Земли из космоса. При этом данные объекты могут находиться не только в окрестности Земли, но и других небесных тел: планет, их спутников, астероидов, комет.

К диссертации имеются **замечания:**

1. При анализе динамики спутника под действием сил светового давления были упущены ссылки на работы А. А. Карымова (ПММ, 1962, вып. 5; ПММ, 1964, вып. 5).

2. Автор использует термин «актюатор», хотя в робототехнике имеется соответствующий русский термин: «исполнительный механизм».

3. Имеются также мелкие стилистические замечания.

Оценка работы в целом.

Полученные в диссертации результаты представляются привлекательными и с общематематической точки зрения: здесь применяется достаточно мощный инструмент – теорема Барбашина – Красовского. Полученные с её помощью результаты одновременно имеют несомненное прикладное значение. Работа является примером высокой эффективности прямого метода Ляпунова. Автор преодолел значительные аналитические трудности, получая результаты при помощи чрезвычайно громоздких выкладок.

Диссертация посвящена актуальной теме в области динамики относительного управляемого движения космических аппаратов. Автор продемонстрировал хорошее владение математическим аппаратом, применяемым по теме диссертации. Перечисленные относительно несущественные замечания

не снижают общую положительную оценку уровня выполненной диссертационной работы. Применяются технологии теории устойчивости движения. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в специализированных журналах по теме работы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

В целом диссертация Ярослава Владимировича Маштакова «Использование прямого метода Ляпунова в задачах управления ориентацией космических аппаратов» отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры мехатроники и теоретической механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» «21» марта 2019 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой мехатроники
и теоретической механики
Московского авиационного института (НИУ),
профессор, д. ф.-м. н.

Б. С. Бардин

Профессор кафедры мехатроники
и теоретической механики
Московского авиационного института (НИУ),
профессор, д. ф.-м. н.

И. И. Косенко