

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Ярослава Владимировича Маштакова
на тему:
«Использование прямого метода Ляпунова в задачах
управления ориентацией космических аппаратов»
по специальности 01.02.01 – «теоретическая механика»

Диссертация Я.В. Маштакова посвящена изучению различных аспектов задачи управления ориентацией космических аппаратов, и включает в себя как разработку новых алгоритмов отслеживания заданных угловых движений, так и сравнительный анализ с существующими классическими подходами. Особое внимание уделяется методикам синтеза опорных угловых движений, обеспечивающих выполнение тех или иных целевых задач.

Современные разработки и достижения микроэлектронной промышленности позволяют создавать космические аппараты (КА) малых размеров при этом, в достаточной мере отвечающих потребностям при проведении научных и прикладных исследований. Так, использование нескольких аппаратов в одной миссии позволяет проводить одновременные распределенные в пространстве измерения, например, осуществлять стереографическую съёмку земной поверхности. Однако при использовании таких аппаратов необходимо учитывать ограничения, связанные с мощностью бортового вычислителя. Тема диссертационной работы представляется **актуальной**, поскольку принадлежит к исследованиям простых алгоритмов управления на основе прямого метода Ляпунова. Последние, в свою очередь, становятся особенно значимыми в свете указанных особенностей малых КА.

Считаю, что результаты, полученные в диссертационной работе Я.В.

Маштакова, даже с учётом работ других авторов на близкие темы, обогащают наше представление о методах построения опорных движений КА, базирующихся на алгоритмах, построенных на основе прямого метода Ляпунова.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав основного текста, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении даётся в достаточной степени полный обзор литературы по теме исследования и описывается современное состояние рассматриваемой в диссертации проблемы. Отмечаются новизна, научная и практическая значимость исследования. Выделяются основные положения, выносимые на защиту. Кратко излагается содержание работы.

В первой главе проводится исследование трёхосных алгоритмов ориентации на основе прямого метода Ляпунова. Представлен вывод законов управления при помощи функции Ляпунова. Показано, что с точностью до замены одного из параметров в окрестности требуемого движения имеет место совпадение алгоритмов на основе матриц направляющих косинусов и кватернионов. Получены достижимые оценки точности работы этих алгоритмов в виде конечных соотношений.

Во второй главе рассматривается задача одноосной стабилизации КА, в частности, решается задача переориентации КА. Представлен оригинальный закон управления, опирающийся на построенную автором функцию Ляпунова. Кроме этого, выполнена модификация алгоритма, позволяющая учесть наличие запрещённых зон, куда не должна попадать некоторая выделенная ось аппарата. Показано, что синтезированный таким образом закон управления может порождать дополнительные положения равновесия (как неустойчивые равновесия, так и асимптотически устойчивые), и предложена методика их устранения.

В третьей главе рассматривается задача синтеза опорного углового движения космического аппарата, выполняющего съёмку земной поверхности. Предложен оригинальный алгоритм съёмки сложных

маршрутов. Обсуждается качество съёмки траектории (согласно введённому критерию) в зависимости от ошибок ориентации и стабилизации аппарата. Получены конечные соотношения, позволяющие оценить максимально допустимую кривизну снимаемой траектории в зависимости от возможностей активных элементов, установленных на спутнике.

В четвертой главе решается задача бестопливной разгрузки избыточного кинетического момента, накопленного системой маховиков. При этом предполагается, что в выборе ориентации космического аппарата есть некоторая свобода: единственным условием является осуществление подзарядки аккумуляторных батарей. Предлагается способ подбора ориентации аппарата, обеспечивающей сброс кинетического момента под действием внешних моментов, обусловленных влиянием солнечного давления и гравитации.

В заключении формулируются основные результаты диссертации.

Список цитируемой литературы достаточно полон и отражает современное состояние исследуемой задачи.

В приложение вынесены расчеты по решению минимизационной задачи, возникающей в ходе построения алгоритма разгрузки маховиков при помощи момента сил солнечного давления.

Тема представленной к защите диссертационной работы является **актуальной**, диссертация в целом представляется законченным научным исследованием, содержащим **новые важные научные результаты**.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Все выносимые на защиту результаты достаточно полно опубликованы и апробированы.

Практическая значимость представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- Оценки точности работы алгоритмов на основе прямого метода Ляпунова могут быть использованы для упрощения выбора рациональных параметров системы ориентации.

- Простой с вычислительной точки зрения алгоритм переориентации может быть реализован на бортовых вычислителях спутников.

- Алгоритм построения опорного углового движения для отслеживания сложных маршрутов на поверхности Земли может положительно отразиться на возможностях малых аппаратов дистанционного зондирования Земли.

- Метод бестопливной разгрузки избыточного кинетического момента позволяет увеличить время активного существования аппаратов на высоких орбитах и/или увеличить массу их полезной нагрузки.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В целом, принципиальных замечаний по представленной диссертационной работе нет. Следует отметить, однако, что существуют некоторые шероховатости связанные со стилем изложения. Так, например, в пункте 3.8 стр. 62 имеется предложение «Получены как сложные, так и упрощенные оценки качества снимаемого изображения в зависимости от точности ориентации и стабилизации аппарата, что, совместно с выражениями из первой главы, позволяет на предварительном этапе проектирования.»

Хотя обзор литературы в достаточной степени полон, но можно указать некоторые работы, с результатами которых было бы полезно сравнить результаты, выносимые на защиту.

Так, например, в работе С.Н. Фирсова «Аналитический метод определения параметров управления системы ориентации космического аппарата». Авиационно-космическая техника и технология, 2012, № 4 (91) 55-59 обсуждается функция Ляпунова, участвующая в синтезе управления, схожая с употребляемой в диссертации стр. 15 формула (1.4).

В работе Kevin A. Ford, Christopher D. Hall «Flexible spacecraft

reorientations using gimbaled momentum wheels», Paper AAS 97-723 at the AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Sun Valley, Idaho, August 4-7, 1997

обсуждается применение функции Ляпунова в случае кватернионного описания относительной ориентации КА. Слагаемые, содержащие компоненты кватерниона, для функции Ляпунова из указанной статьи отличаются от аналогичных слагаемых функции Ляпунова, используемой в обсуждаемой диссертационной работе. Возникает вопрос о сопоставлении результатов при имеющихся различиях в выборе функции Ляпунова.

Так же представляет интерес сравнение результатов, полученных в диссертационном исследовании с результатами из работы Tsiotras P., Shen H., Hall Ch. Satellite Attitude Control and Power Tracking with Energy/Momentum Wheels. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 2001. 24. 23-34.

Отсутствуют какие-либо рассуждения об общем принципе выбора коэффициентов управления k_ω, k_r, k_a, k_q . В модельной задаче (стр. 40), демонстрирующей предложенный алгоритм переориентации КА, в списке параметров без пояснений указываются конкретные значения коэффициентов управления k_ω, k_r .

Вместе с тем, указанные замечания **не снижают** научной и практической значимости проведенного исследования.

Научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, получены и **обоснованы** с использованием корректных математических подходов и подтверждены в ходе математического моделирования.

Считаю, что работа «Использование прямого метода Ляпунова в задачах управления ориентацией космических аппаратов» удовлетворяет требованиям положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «теоретическая механика».


Таким образом, соискатель Маштаков Ярослав Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «теоретическая механика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

научный сотрудник отдела 24 Вычислительного центра им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и Управление» Российской Академии Наук

НИКОНОВ Василий Иванович

 «23» октября 2019 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (963) 767-49-77; e-mail: nikon_v@list.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.01 теоретическая механика

Адрес места работы:

119333, Москва, ул. Вавилова, 40

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Тел.: +7 (499) 135-35-90; e-mail: nikon_v@list.ru

Подпись сотрудника Никонова Василия Ивановича удостоверяю:

Ученый секретарь ФИЦ ИУ РАН

д.т.н. В.Н. Захаров



«23» октября 2019г.