

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ролдугина Дмитрия Сергеевича на тему "Динамика космических аппаратов с активной магнитной системой ориентации", представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.7 - "Теоретическая механика, динамика машин"

В настоящее время усиленно развивается индустрия малых космических аппаратов (КА), особенно с появлением стандарта Кубсат.

При создании малых КА большое внимание уделяется минимизации габаритно-массовых характеристик и энергопотребления служебных систем, что, соответственно, позволяет высвободить эти ресурсы под полезную нагрузку. Популярность активной магнитной системы (АМС) объясняется ее основными преимуществами, особенно актуальными для малых КА. Это цена, размер и масса, энергопотребление, надежность, отсутствие расхода рабочего тела. В то же время АМС присущи недостатки - невысокие точность ориентации и быстродействие, обусловленные исходным "теоретическим" недостатком магнитного управления, управляющий момент не создается вдоль вектора геомагнитной индукции. Практическое преодоление проблемы этого ограничения на направление управляющего момента требует специфических подходов.

В этих условиях **актуальность** диссертационной работы Д.С.Ролдугина, направленной на определение достижимых характеристик эффективности работы системы управления для основных ключевых режимов движения и разработку новых перспективных алгоритмов управления движением для КА с АМС в условиях ускоренного создания малых аппаратов, не вызывает сомнений, а ее результаты позволяют значительно сократить время анализа и подбора параметров системы ориентации КА на этапе эскизного проектирования.

Работа посвящена решению научной проблемы, состоящей в исследовании движения КА с активным магнитным управлением в основных востребованных режимах ориентации. С этой целью решаются задачи анализа динамики КА под управлением АМС ориентации в основных режимах углового движения, с определением конкретных приближенных выражений, характеризующих решение или его ключевые параметры (амплитуды колебаний, степень устойчивости и другие), что позволяет получить общее представление о зависимости свойств движения аппарата от его параметров, в первую очередь инерционных, и от параметров управления, а также предлагаются новые алгоритмы ориентации.

Полученные результаты нацелены на сокращение стоимости и времени разработки системы ориентации, что имеет важное хозяйственное значение



при создании современных спутниковых систем.

**Научная новизна** состоит в дальнейшем развитии и дополнении общей теории управляемого движения КА под управлением АМС ориентации, а именно в полученных приближенных решениях уравнений движения КА под управлением АМС ориентации в режимах гашения угловой скорости, поддержания одноосной и трехосной ориентации КА с ротором, одноосной стабилизации аппарата в режиме вращения, стабилизации в направлении Солнца, стабилизации в произвольном трехосном положении. Получены выражения для точностных и временных характеристик движения в этих режимах работы. Предложены новые алгоритмы управления.

**Практическая значимость** заключается в том, что полученные в диссертации результаты позволяют значительно сократить время анализа и подбора параметров системы ориентации КА на этапе эскизного проектирования, предоставляя при этом общее понимание динамики его управляемого движения, связи характеристик движения и параметров спутника и его системы ориентации.

**Достоверность** полученных научных результатов подтверждается соответствием результатов теоретических исследований, численного моделирования, лабораторных и летных испытаний, сравнением с результатами, опубликованными другими авторами по схожим проблемам. Основные результаты докладывались на ведущих конференциях, школах и семинарах.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 36 рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе 35 статей в изданиях, входящих в базы данных Web of Science или Scopus, из них 15 публикаций в изданиях, входящих в первый квартиль Web of Science. Получен патент, а также выпущена монография.

Результаты проведенных исследований, судя по материалам автореферата, использовались при разработке систем ориентации и анализе полунатурных и летных испытаний успешно запущенных аппаратов Чибис-М, ТаблетСат-Аврора, СХВН-2, Зоркий, СириусСат, а также КА, разрабатываемых в настоящее время АО "Российские космические системы", АО "Информационные спутниковые системы" имени академика М. Ф. Решетнёва", АО "Корпорация "ВНИИЭМ", ООО "Спутникс".

**В качестве замечаний** следует отметить следующее:

1. Судя по материалам автореферата, в работе на основе полученных приближенных решениях уравнений движения КА под управлением активной магнитной системы ориентации и выражениях для различных характеристик движения, предложены новые алгоритмы управления движением. В тоже время отсутствует сравнение с существующими



алгоритмами.

2. Из материалов автореферата неясно, где проводится расчет управляющих параметров для предложенных алгоритмов, на борту КА или на Земле с последующей закладкой программы управления.

3. В автореферате, несмотря на в целом строгий стиль изложения, присутствуют "неудачные" высказывания:

"Можно надеяться, что в случае близости вращения требуемому этот алгоритм будет поддерживать вращение КА ...", что затрудняет понимание.

Приведенные замечания не снижают общий высокий научный уровень работы.

**Выводы:**

Судя по автореферату, диссертация Ролдугина Дмитрия Сергеевича представляет законченное научное исследование, в котором решена важная научная проблема, выполнена на актуальную тему, результаты имеют практическое значение в области разработки малых космических аппаратов под управлением активной магнитной системы ориентации и, по нашему мнению, заслуживает положительной оценки, а её автор Ролдугин Дмитрий Сергеевич достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.7 - "Теоретическая механика, динамика машин".

И.о. начальника Центра АО "ЦНИИмаш"  
доктор технических наук



Е.М. Твердохлебова

Начальник отделения АО "ЦНИИмаш"  
кандидат технических наук, доцент

Е.В. Пустовалов

141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4,  
Тел. (495)513-59-51, Факс (495)512-21-99  
e-mail: corp@tsniimash.ru

Подписи Евгения Владимировича Пустовалова и Екатерины Михайловны Твердохлебовой удостоверяю

Главный ученый секретарь АО "ЦНИИмаш"  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

В.Ю. Ключников

02.10.2023