

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института проблем механики  
им. А.Ю. Ишлинского  
Российской академии наук  
д.ф.-м.н. член-корреспондент РАН  
Якуш С.Е.



2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук на диссертацию Охитиной Анны Сергеевны «Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических аппаратов с использованием метода роя частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин

### Актуальность темы диссертации

Магнитные системы управления ориентацией позволяют значительно снизить расходы на создание космических аппаратов и миссий в целом, а также ускорить процесс разработки необходимых алгоритмов. В настоящее время перспективным и востребованным направлением как для промышленных, так и для научно-технических целей является разработка новых алгоритмов для обеспечения трехосной магнитной ориентации. Применение соответствующих систем затруднено в связи с проблемой предельно допустимой точности ориентации, которую можно достичь с помощью магнитной системы. С расширением возможностей магнитной системы класс задач, которые можно будет решить с помощью малых космических аппаратов, увеличивается. Таким

образом, создание алгоритмов, повышающих точность ориентации, является важным и актуальным предметом исследования.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 116 страниц, включая 31 рисунок и 15 таблиц. Список литературы включает 90 наименований.

*Во введении* проведен обзор существующих проблем, связанных с ориентацией космических аппаратов, обосновывается актуальность и практическая значимость проводимого в диссертационной работе исследования, сформулированы цели и задачи, описана научная новизна и изложено краткое содержание диссертационной работы.

*Первая глава* посвящена проблеме обеспечения требуемой трехосной ориентации космических аппаратов (КА) при помощи магнитной системы управления. Предложен подход к построению опорного движения вблизи заданного положения КА так, чтобы обеспечить наименьшую проекцию необходимого управляющего момента на вектор геомагнитной индукции. Это позволяет реализовать построенное движение с хорошей точностью с помощью магнитной системы. Для поиска оптимальных параметров опорного движения применен метод глобальной оптимизации, называемый методом роя частиц. Затем предложен закон управления, обеспечивающего стабилизацию КА на выбранном опорном движении, и обоснована работоспособность алгоритма. Для проверки эффективности предложенного способа выполнено численное моделирование.

*Во второй главе* рассмотрено влияние внешних возмущений на итоговую точность ориентации КА. Предложены и обоснованы процедуры, позволяющие учесть и уменьшить негативные последствия: неточности сведений о геомагнитном поле Земли, неопределенности величин компонентов тензора инерции КА, а также недостатка информации о взаимодействии аппарата с атмосферой. Адаптация коэффициентов управления к параметрам возмущенной задаче позволила сохранить асимптотическую устойчивость итогового движения. Проведено численное моделирование для демонстрации улучшения

результатирующей точности ориентации в возмущенной задаче при использовании предложенных процедур.

*В третьей главе* разработанный метод применен к задачам обеспечения заданных орбитальной и инерциальной ориентациях спутника. Для каждого режима проведено численное исследование для предварительного выбора наилучших целевых функций в рамках задач, учитывающих различные возмущения и поставленных в первой и второй главах. За счет этого уменьшено отклонение итоговой ориентации от опорного движения. Проведено численное моделирование в полной модели, учитывающей возмущение внешней среды, неточности используемых моделей, а также погрешности в определении компонентов тензора инерции.

*В заключении* сформулированы основные достигнутые в работе результаты.

*В приложениях* приведены громоздкие аналитические преобразования, дополняющие основной текст работы.

**Автореферат** полностью соответствует содержанию диссертации.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и заключений** подтверждается адекватным выбором методов исследования и проведенным численным моделированием.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 отечественных и международных конференциях и 9 научных семинарах, а также отражены в 6 печатных работах, включенных в перечень рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science: 4 из них — статьи в журналах, индексируемых в Scopus и/или Web of Science, 2 — статьи в сборниках трудов конференций, индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science.

**Научная новизна.** Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, являются новыми. Разработана методика построения управляемого углового движения КА, оснащенного только магнитной системой управления ориентацией. Предложенный двухэтапный подход состоит из построения специального опорного движения и поиска оптимальных коэффициентов управления, обеспечивающих асимптотическую устойчивость. Предложены

способы уменьшения влияния возмущений, неучтенных на этапе построения опорного движения и управления, что позволяет улучшить итоговую точность ориентации по сравнению с известными подходами. В численном моделировании на примере типовых ориентаций продемонстрирован результат применения новой методики.

**Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов.** Теоретическая значимость определяется применением фундаментальных методов теоретической механики, динамики космического полета, теории устойчивости. Представленная диссертация вносит существенный вклад в исследования и разработку методов для обеспечения трехосной магнитной ориентации малых космических аппаратов. Предложенный подход к учету ограничения на управление позволяет использовать надежные и дешевые токовые катушки для стабилизации КА в при заданных режимах углового движения. Результаты могут быть использованы профильными организациями (НПО им. С.А. Лавочкина, РКК Энергия, ИСС им. М.Ф. Решетнева и др.) при проектировании космических миссий с использованием малых аппаратов, оснащенных магнитными управляющими органами в качестве основных, за счет чего появляется возможность удешевления аппаратов в целом. Также предложенный в диссертационной работе подход позволяет улучшить точность ориентации для наиболее востребованных режимов движения космических аппаратов, что значительно расширяет потенциальный круг решаемых задач.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты диссертации рекомендованы к использованию при проектировании космических миссий, входе которых применяются спутники с магнитной системой управления ориентацией.

**Замечания по диссертационной работе.** Со стороны ведущей организации к работе имеется ряд замечаний.

1. В диссертации не рассмотрены вопросы, связанные с влиянием магнитных полей, создаваемых размещенной непосредственно на КА аппаратурой. Разработчикам приборов для КА необходимо знать допустимые параметры магнитного поля этих устройств для того, чтобы не нарушать работу системы ориентации КА, основанной на магнитных органах управления.

2. Абсолютно все публикации результатов диссертации выполнены в соавторстве. Персональные публикации автора диссертации отсутствуют. Поскольку речь не идет о результатах работы коллектива на сложной экспериментальной установке, где разделение ролей участников зачастую затруднительно и не имеет смысла, выделение личного вклада автора диссертации весьма существенно. В этой связи на странице 14 текста диссертации сказано: «Содержание диссертационной работы и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы и получены лично автором». Вклад соавторов заключается в том, что «Постановки задач, некоторые методические аспекты и результаты исследований обсуждались с научным руководителем С.С. Ткачевым и соавторами». На практике очень часто данный вклад не приводит к необходимости включения в число соавторов даже рядовой статьи. Персональные публикации аспиранта обычно предполагают именно такой вклад научного руководителя (в этом, как правило, и заключена работа последнего). В рассматриваемом же случае речь идет, в частности, о трех публикациях в журналах из первого квартиля WoS, где фамилия автора диссертации идет первой. К сожалению, выделить вклад прочих соавторов в этих публикациях, исходя из содержания последних, затруднительно, поскольку они почти полностью исчерпываются текстом диссертации. Это не позволит в будущем соавторам опираться на указанные статьи при защите собственных диссертаций или, скажем, при попытках получения финансирования в составе коллектива, не включающего автора рассматриваемой диссертации.

3. В тексте диссертации не везде достаточно четко проведено различие между требуемым управляющим моментом и реализуемым управляющим моментом, что может привести к недоразумениям. Например, на странице 5 сказано, что «с помощью МСО невозможно выдавать управление вдоль вектора геомагнитной индукции», а далее, на странице 8, говорится о специальном опорном угловом движении, «на котором проекция управляющего момента на вектор геомагнитной индукции минимальна».

4. Местами в тексте использован сленг. Например, на странице 23: «... вдоль вектора геомагнитной индукции невозможно выдать компоненту

механического момента ...», на странице 58: «... необходимо будет пересчитывать опорное движение на следующий виток ...».

Приведенные замечания **не снижают** научной и практической ценности полученных результатов и **не влияют** на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне. Научные положения, выводы и результаты работы являются **полностью обоснованными**.

### **Оценка работы в целом**

В диссертации рассмотрена интересная задача обеспечения заданной пространственной ориентации космического аппарата с использованием исключительно магнитной системы управления. С точки зрения теории представляет интерес замена требуемого конечного состояния механической системы на иное, близкое к требуемому в некотором смысле. Это состояние следует выбирать из соображений удобства реализации с помощью выбранной системы управления. С прикладной точки зрения продемонстрирована возможность достижения приемлемой точности ориентации космического аппарата без использования дорогостоящих механических устройств. Исследование основано на методах теоретической механики и эвристических численных алгоритмах.

Автор показал, что хорошо владеет теорией и способен эффективно решать достаточно сложные вычислительные задачи применительно к реальным техническим устройствам. Указанные выше замечания не снижают общую положительную оценку научного уровня представленной диссертационной работы. Полученные результаты в достаточной степени опубликованы в специализированных журналах по теме исследования и достаточно полно апробированы.

### **Заключение ведущей организации**

Кандидатская диссертация Охитиной Анны Сергеевны «Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических аппаратов с

использованием метода роя частиц» удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. — «Теоретическая механика, динамика машин», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв о диссертационной работе Охитиной А.С. обсужден и одобрен на семинаре Лаборатории механики управляемых систем, протокол № 14 от «07» сентября 2023 г.

Отзыв составил

Шматков Антон Михайлович

доктор физико-математических наук, профессор РАН,  
ведущий научный сотрудник Лаборатории механики управляемых систем  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,  
119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1,  
Тел.: +7-495-434-32-38, e-mail: ipm@ipmnet.ru

*Шматков*

«07» сентября 2023 г.

*Подпись Шматкова А.М. заверяю.  
С.И. Гвоздева, отдел кадров ИПМех РАН  
08.09.2023 г.*

