



Госкорпорация «Роскосмос»

Акционерное общество

«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА»

(АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)

Новозаводская ул., д. 18, г. Москва, 121309, тел.: 8 (499) 749 99 34, факс: 8 (499) 749 51 24
Тел.: 8 (499) 749 83 43, факс: 8 (499) 142 59 00, e-mail: agd@khrunichev.ru, <http://www.khrunichev.ru>
ОГРН 5177746220361, ИНН/КПП 7730239877/773001001

№ _____

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора

АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,

Председатель НТС КБ «Салют», к.т.н.

М.Б. Соколов



«29» мая 2025г

121309, г. Москва, ул. Новозаводская, д.18

salut@khrunichev.ru, тел.8 (499) 749 99 56

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Игнатова Александра Ивановича**

**«Динамика и управление угловым движением космического аппарата,
предназначенного для проведения длительных научных экспериментов»,**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по

специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин

(технические науки).

Актуальность проблемы диссертации, связана с необходимостью разработки методик, алгоритмов, режимов ориентации и угловой стабилизации для космических аппаратов нового поколения с созданием условий микрогравитации на борту для проведения длительных научных экспериментов условиях микрогравитации, близких к полной невесомости.

Актуальность темы диссертации диктуется практической необходимостью решения проблем, возникших на ОС «Мир» и МКС в процессе проведения длительных научных экспериментов в условиях микрогравитации, которые были связаны с недостаточной жесткостью конструкции при включении двигателей ориентации и стабилизации и рядом других причин. Использование космических аппаратов (КА) серии «Бион/Бион-М» и «Фотон/Фотон-М», по мнению автора, несколько нейтрализовало указанную проблему, но не позволило реализовать длительные условия микрогравитации, что подчеркивает важность рассматриваемых автором проблем в интересах создания КА нового поколения с уникальными свойствами на основе:

- а) новых принципов и алгоритмов в системах ориентации и угловой стабилизации;
- б) системы гироскопических или электромагнитных исполнительных органов (ИО) управления;
- в) рациональных схем расположения и физических характеристик гироскопических ИО (двигателей-маховиков или гиродинов).

Область исследований представляемой диссертации соответствует паспорту научной специальности «Теоретическая механика, динамика машин».

Целью диссертационной работы является решение научных проблем по разработке и исследованию комплекса режимов углового движения КА при обеспечении на борту необходимых условий для проведения длительных научных экспериментов на околоземной орбите в условиях близких к полной невесомости.

Для достижения цели диссертации автором решаются следующие задачи:

1. Разработка и исследование законов углового движения КА в режимах длительной эксплуатации с возможностью поддержания орбитальной и солнечной ориентации с приемлемыми условиями для исследования микрогравитации на борту КА, что связано:

- а) с использованием научного оборудования с большим потребляемым объемом электрической энергии;

б) с необходимостью использования в качестве ИО системы ориентации КА гироскопических или электромагнитных органов.

2. Оценка минимального уровня квазистатических микроускорений на борту КА в возможных местах установки научной аппаратуры в зависимости от целевой орбиты и потребного режима углового движения КА.

3. Исследование установившегося углового движения КА в рамках разработанных режимов управления для выбора необходимых параметров законов управления.

4. Обоснование и выбор параметров схемы расположения и характеристик гироскопических ИО для реализации сформированных законов управления и угловой стабилизации КА.

Методы проведения исследований в диссертационной работе основаны на основах теоретической механики в части: орбитального и углового движения КА; устойчивости движения; автоматического управления; методов математического моделирования движения КА.

Научная новизна результатов диссертации обусловлена спецификой требований по реализации управляемого углового движения рассматриваемых новых типов КА с обеспечением условий для длительных космических экспериментов в условиях микрогравитации и заключается в разработанных автором:

- а) методике прогнозирования уровня микроускорений на борту КА;
- б) методике параметрического исследования устойчивости ориентированного движения центра масс КА на круговой орбите;
- в) новых законов управления угловым движением КА в режимах длительной эксплуатации;
- г) методике выбора параметров схем расположения и характеристик гироскопических ИО для управления КА.

Практическая значимость и реализация результатов заключается в том, что теоретические и практические результаты могут использоваться на предприятиях космической отрасли РФ при создании перспективных типов КА

и систем ориентации и стабилизации для проведения длительных научных экспериментов на околоземных орбитах в условиях микрогравитации. Эти результаты легли в основу нескольких дисциплин кафедры «Теоретическая механика» им. профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Достоверность и апробация работы подтверждается:

а) использованием классических методов теоретической механики и апробированных численных методов для разработки и исследования рассматриваемых задач;

б) сопоставлением полученных результатов с другими известными работами в рамках рассматриваемой темы. Результаты диссертационной работы докладывались автором на 8-ми всероссийских и международных конференциях и 9-ти научных семинарах.

Публикации. По теме проведенных исследований имеется 17 публикаций, 6 из которых опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Все они достаточно полно характеризуют **личный вклад автора**. Автором получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из 300 страниц машинописного текста, 3-х таблиц и 126 рисунков и включает в себя введение, шесть глав, заключение, список литературы из 172 наименований, приложение с копиями актов о внедрении результатов работы.

Положения, выносимые на защиту, разработаны и исследованы во введении и шести главах диссертации. К ним относятся:

1. Методика параметрического исследования устойчивости угловых движений КА, основанная на аппроксимации периодических решений уравнений движения и выборе параметров законов управления угловым движением КА.

2. Результаты моделирования на основе разработанных методик:

- Для одноосной магнитной ориентации осесимметричного КА, доказавшие возможность периодических решений исследуемых уравнений движения при использовании апробированной модели IGRF магнитного поля Земли (МПЗ).

- По влиянию параметров уравнений движения КА на возможные резонансы в динамической системе между вращением вектора индукции МПЗ вдоль орбиты КА и колебаниями продольной оси симметрии КА относительно этого вектора.

3. Методика оценки минимально допустимого уровня микроускорений в заданной точке КА в режиме длительной ориентации близкой к гравитационно устойчивой и результаты оценок.

4. Законы управления режимом орбитальной ориентации для КА с системой гироскопических ИО, позволяющие помимо поддержания заданной ориентации КА ограничивать накопление собственного кинетического момента гиросистемы.

5. Закон управления режимом солнечной ориентации КА с фиксированным положением солнечных батарей на корпусе и гироскопическими ИО с учетом ограничений на накопления гиростатического момента с возможностью разгрузки этого момента.

6. Результаты разработки и исследований режима солнечной ориентации КА с магнитными ИО при фиксированном положении солнечных батарей на корпусе и наличии постоянного гиростатического момента.

7. Методика выбора параметров схемы расположения и двигателей-маховиков для реализации потребных режимов углового движения КА и результаты моделирования для реализации программных разворотов КА и поддержания орбитальной и солнечной ориентации КА.

8. Способ, достаточные условия, примеры моделирования и программно-математический комплекс для формирования особых поверхностей систем безупорных гиродинов, основанный на методе продолжения по параметру.

В качестве замечаний к автореферату следует отметить:

1. Во введении целесообразно было бы показать сущность и важность научных работ и экспериментов на низкоорбитальных КА нового поколения в условиях длительной микрогравитации.

2. В тексте автореферата: а) следовало бы явно выписать систему (2'), ссылки на которую используются в автореферате; б) при описании системы (2) опущено определение параметра ω_E , а также приведено некорректное обозначение дипольного момента КА.

В качестве пожелания автору диссертационной работы, в планах дальнейших работ в развиваемом направлении, хотелось бы обратить внимание на актуальность проработки:

- выведения КА нового поколения для длительных исследований на околоземной орбите в условиях полной невесомости;

- доставки КА или контейнера с результатами космических исследований на Землю после окончания цикла работ;

на основе космического ракетного комплекса в составе:

а) РН тяжелого класса (например, «Ангара А5»);

б) многоразового орбитального корабля (МОК) на верхней ступени РН с самолетной посадкой на аэродром в комфортных условиях с перегрузкой $n_{\text{сум}} \leq 2$, что важно для сохранения результатов космических экспериментов.

В этом варианте возможно повторное использование КА после проведения диагностических и восстановительных работ.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости работы и могут найти отражение в дальнейших научных работах автора.

В целом, судя по автореферату, учитывая актуальность работы, научную новизну, практическую значимость и широкую апробацию работы, диссертация «Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Автор диссертационной работы Игнатов А.И. заслуживает

присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.7.
Теоретическая механика и динамика машин (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета КБ «Салют» (секции НТС ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) – протокол № 2513 от 29 мая 2025г.

Отдел «Динамических схем и динамики полёта» КБ «Салют»

АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,

Ведущий инженер отдела, к.т.н. Володин Володин Валерий Дмитриевич

Отдел «Динамических схем и динамики полёта» КБ «Салют»

АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,

Ведущий конструктор отдела, к.ф.м.н. Давыдов Давыдов Алексей Алексеевич

Подписи Володина В.Д. и Давыдова А.А. заверяю:

Ученый секретарь НТС КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»

к.т.н. Белкин Белкин Андрей Андреевич.

Мы, Давыдов Алексей Алексеевич и Володин Валерий Дмитриевич, даем согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы, связанные с защитой диссертационной работы Игнатова Александра Ивановича «Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов», и их дальнейшую обработку.

Ведущий инженер отдела, к.т.н. Володин Володин Валерий Дмитриевич

Ведущий конструктор отдела, к.ф.м.н. Давыдов Давыдов Алексей Алексеевич