

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.075.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА МАШИНОВЕДЕНИЯ
ИМ. А.А. БЛАГОНРАВОГА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.06.2025 г., протокол № 25-2

**О присуждении Игнатову Александру Ивановичу, гражданину РФ,
учёной степени доктора технических наук.**

Диссертация «Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов» по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (технические науки) принята к защите 13.03.2025 г. (протокол заседания № 25-1) диссертационным советом 24.1.075.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук Министерства науки и высшего образования РФ, 119334, г. Москва, ул. Бардина, д. 4; приказ о создании № 1330/нк от 24.10.2022 г.

Целью диссертационной работы является решение научной проблемы, состоящей в разработке и исследовании комплекса режимов углового движения космического аппарата (КА), обеспечивающих на борту необходимые условия для проведения длительных научных экспериментов широкого спектра на околоземной орбите. Полученные результаты нацелены на сокращение стоимости и времени разработки системы ориентации и стабилизации, что имеет важное хозяйственное значение при создании современных КА.

Соискатель, Игнатов Александр Иванович, 1979 года рождения.

В 2002 году Игнатов Александр Иванович окончил факультет

«Специальное машиностроение» Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана по специальности «Динамика полета и управлением движением», диплом ИВС 0405942, рег. номер 141 от 27 июня 2002 года.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Исследование режимов вращательного движения искусственного спутника Земли для проведения экспериментов в области микрогравитации» защитил в 2012 году, в диссертационном совете Д 002.024.01, созданном на базе ИПМ имени М.В. Келдыша РАН, по специальности: 01.02.01 – Теоретическая механика. Диплом серия ДКН, номер 183726, приказ №201/нк-6 от 29 апреля 2013 года.

С 2020 года и по настоящее время Игнатов Александр Иванович работает в должности доцента кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ.

Официальные оппоненты:

1. Овчинников Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), г. Москва.

2. Красильников Павел Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Мехатроника и теоретическая механика» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

3. Седельников Андрей Валерьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теоретической механики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева», г. Самара.

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва» (ПАО «РКК «Энергия») г. Королев, Московская область. В своём положительном отзыве, обсужденном на расширенном заседании секции «Бортовые и наземные комплексы управления и радиотехнические системы» Научно-технического совета ПАО «РКК «Энергия» (протокол № 240 от 31 марта 2025 г.), подписанным главным специалистом ПАО «РКК «Энергия», д.т.н., профессором Беляевым Михаилом Юрьевичем, экспертом по системе управления и навигации ПАО «РКК «Энергия», д.т.н. Платоновым Валерием Николаевичем, начальником сектора ПАО «РКК «Энергия», д.т.н. Сумароковым Антоном Владимировичем и утвержденным Генеральным конструктором - заместителем генерального директора, академиком РАН В.А. Соловьевым, указала, что диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9 – 14, 25 «Положения о порядке присуждения 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 наук, а ее автор – Игнатов Александр Иванович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.7 Теоретическая механика и динамика машин (технические науки).

Соискатель имеет 64 опубликованные работы, в том числе 17

опубликованных работ по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях перечня ВАК, их них 11 статей в российских периодических научных изданиях, переводные версии которых индексируются международной реферативной базой данных Scopus, в том числе без соавторства 3. Получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях и тематических семинарах профильных организаций.

Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

Статьи в российских рецензируемых периодических научных изданиях перечня ВАК, переводные версии которых индексируются международной реферативных базах данных Scopus и Web of Sciences.

1. **Игнатов А.И.,** Иванов Г.А., Коломиец Е.С., Мартыненко Е.В. Реализация режима солнечной ориентации космического аппарата с помощью системы двигателей-маховиков // Космические исследования. – 2023 г. – Т. 61 – № 2 – С. 143-156. (0,88 п.л. / **0,64 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Ivanov G.A., Kolomietz E.S., Martynenkova E.V. IMPLEMENTATION OF A SPACECRAFT SOLAR-ORIENTATION MODEL USING A REACTION-WHEEL SYSTEM // Cosmic Research. – 2023. – Vol. 61. – No. 2. – P. 154-166. DOI: 10.1134/s0010952522700150 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в разработанной методике выбора параметров схемы расположения системы двигателей-маховиков на борту КА в режиме его солнечной ориентации.

2. **Игнатов А.И.** Выбор геометрических параметров расположения системы двигателей-маховиков при управлении вращательным движением космического аппарата // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2020 г. – № 3. – С. 164-176. (**1,31 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I. SELECTION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF AN REACTION WHEEL SYSTEM POSITIONING WHEN CONTROLLING THE

ANGULAR MOTION OF A SPACECRAFT // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2022. – Vol. 61. – No. 1. – P. 83-103. DOI: 10.1134/S1064230722010063 (Scopus, Web of Science).

В работе предложена и обоснована разработанная автором методика выбора параметров схемы расположения системы двигателей-маховиков на борту КА в режиме его орбитальной ориентации и программных разворотов.

3. **Игнатов А.И.** Оценка низкочастотных микроускорений на борту искусственного спутника Земли в режиме солнечной ориентации // Космические исследования. – 2022 г. – Т. 60 – № 1 – С. 43-56. (0,88 п.л.)

Переводная версия:

Ignatov A.I. ESTIMATION OF LOW-FREQUENCY MICROACCELERATIONS ONBOARD AN ARTIFICIAL EARTH SATELLITE IN THE SOLAR ORIENTATION MODE // Cosmic Research. – 2022. – Vol. 60 – No. 1. – P. 38-50. DOI: 10.1134/S001095252201004X (Scopus, Web of Science).

В работе исследованы микроускорения на борту КА в режиме его солнечной ориентации. Сам режим реализован с помощью разработанного автором закона управления, ограничивающего рост собственного кинетического момента гиросистемы.

4. **Игнатов А.И., Сазонов В.В.** Исследование установившихся движений искусственного спутника Земли в режиме одноосной магнитной ориентации // Космические исследования. – 2021 г. – Т. 59 – № 2 – С. 135-148. (0,88 п.л. / 0,50 п.л.)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. INVESTIGATION OF STEADY-STATE MOTION OF AN ARTIFICIAL EARTH SATELLITE IN THE UNIAXIAL MAGNETIC ORIENTATION MODE // Cosmic Research. – 2021. – Vol. 59. – No. 2. – P. 112-125. DOI: 10.1134/S0010952521020039 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в разработанной методике периодической аппроксимации ориентированного движения КА, используемой для численного параметрического исследования установившегося режима

углового движения КА в режиме одноосной магнитной ориентации, и в доказательстве существования периодических решений модифицированных уравнений движения при использования полной модели магнитного поля Земли.

5. **Игнатов А.И.** Стабилизация режима солнечной ориентации искусственного спутника Земли без накопления кинетического момента гиросистемы // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2020 г. – № 3. – С. 164-176. (**0,81 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I. STABILIZATION OF THE SOLAR ORIENTATION MODE OF AN ARTIFICIAL SATELLITE OF THE EARTH WITHOUT ACCUMULATION OF THE ANGULAR MOMENTUM OF THE GYRO SYSTEM // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2020. – Vol. 59. – No. 3. – P. 466-478. DOI: 10.1134/S1064230720030065 (Scopus, Web of Science).

В работе предложен и реализован разработанный автором закон управления трехосной солнечной ориентацией КА, ограничивающий рост собственного кинетического момента гиросистемы.

6. **Игнатов А.И., Сазонов В.В.** Стабилизация режима гравитационной ориентации искусственного спутника Земли электромагнитной системой управления // Космические исследования. – 2020 г. – Т. 58. – № 1. – С. 40-48. (**0,57 п.л. / 0,44 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. STABILIZATION OF THE GRAVITATIONAL ORIENTATION MODE OF AN ARTIFICIAL EARTH SATELLITE (AES) BY THE ELECTROMAGNETIC CONTROL SYSTEM // Cosmic Research. – 2020. – Vol. 58. – No. 1. – P. 33-41. DOI: 10.1134/S0010952520010037 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в применении разработанной им методики периодической аппроксимации ориентированного движения КА для выбора параметров закона управления режимом гравитационной ориентации

КА с помощью электромагнитных органов управления.

7. **Игнатов А.И., Сазонов В.В.** Реализация режима орбитальной ориентации искусственного спутника Земли без накопления кинетического момента гиросистемы // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2020 г. – № 1. – С. 129-142. (0,88 п.л. / **0,45 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. IMPLEMENTATION OF THE ORBITAL ORIENTATION MODE OF AN ARTIFICIAL SATELLITE OF THE EARTH WITHOUT ACCUMULATION OF THE ANGULAR MOMENTUM OF THE GYRO SYSTEM // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2020. – Vol. 58. – No. 6. – P. 1004-1017. DOI: 10.1134/S1064230719060066 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора состоит в предложенных законах управления собственным кинетическим моментом гиросистемы, позволяющих без его накопления поддерживать длительную и достаточно точную ориентацию КА в окрестности гравитационно устойчивых и неустойчивых положений равновесия.

8. **Игнатов А.И., Сазонов В.В.** Стабилизация режима солнечной ориентации искусственного спутника Земли электромагнитной системой управления // Космические исследования. – 2018 г. – Т. 56. – № 5. – С. 375-383. (0,57 п.л. / **0,42 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. STABILIZATION OF THE SOLAR ORIENTATION MODE OF AN ARTIFICIAL EARTH SATELLITE BY AN ELECTROMAGNETIC CONTROL SYSTEM // Cosmic Research. – 2018. – Vol. 56. – No. 5. – P. 388-399. DOI: 10.1134/S0010952518050015 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в разработке режима солнечной ориентации КА, реализуемого электромагнитными исполнительными органами и в применении разработанной автором методики периодической

аппроксимации ориентированного движения КА для выбора параметров закона управления указанного режима.

9. **Игнатов А.И.**, Сазонов В.В. Оценка остаточных микроускорений на борту ИСЗ в режиме одноосной солнечной ориентации // Космические исследования. – 2013 г. – Т 51, – № 5. – С. 380-388. (0,57 п.л. / **0,29 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. ESTIMATION OF RESIDUAL MICROACCELERATIONS ON BOARD AN ARTIFICIAL EARTH SATELLITE IN THE MONOAXIAL SOLAR ORIENTATION MODE // Cosmic Research. – 2013. – Vol. 51. – No. 5. – P. 342-349. DOI: 10.1134/S0010952513050055 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора состоит в применении разработанного им закона управления одноосной солнечной ориентацией КА, ограничивающем рост собственного кинетического момента гиросистемы.

10. **Игнатов А.И.**, Сазонов В.В. Реализация режимов вращательного движения ИСЗ с малым уровнем микроускорений электромеханическими исполнительными органами // Космические исследования, 2012 г. – Т. 50. – № 5. – С. 380-393. (0,88 п.л. / **0,46 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. REALIZATION OF MODES OF SATELLITE ATTITUDE MOTION WITH A SMALL LEVEL OF MICROACCELERATIONS USING ELECTROMECHANICAL EXECUTIVE DEVICES // Cosmic Research. – 2012. – Vol. 50. – No. 6. – P. 353-366. DOI: 10.1134/S0010952512050024 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в разработанной им методике прогнозирования и оценки минимального уровня микроускорений в заданной точке борта КА в режиме орбитальной ориентации.

11. **Игнатов А.И.**, Сазонов В.В. Исследование особых поверхностей систем безупорных гиродиннов методом продолжения по параметру // Космические исследования. – 2009 г. – Т. 47. – № 4. – С. 355-362.

(0,50 п.л. / **0,28 п.л.**)

Переводная версия:

Ignatov A.I., Sazonov V.V. STUDY OF SINGULAR SURFACES OF SYSTEMS OF UNSUPPORTED GYRODYNES BY THE PARAMETER CONTINUATION METHOD // Cosmic Research. 2009. – Vol. 47. – No. 4. – P. 322-329. DOI: 10.1134/S0010952509040078 (Scopus, Web of Science).

Личный вклад автора заключается в реализации нового способа построения области вариации собственного кинетического момента систем гиринов с использованием метода продолжения по параметру и в формализации достаточных условий, позволяющих определить тип особых поверхностей.

Работы в российских научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

12. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Стабилизация режима гравитационной ориентации искусственного спутника Земли электромагнитной системой управления // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2016. №28. 32 с. (2,00 п.л. / **1,63 п.л.**)

Личный вклад автора заключается в предложенном способе исследования возможностей законов управления режимом гравитационной ориентации КА с помощью электромагнитных органов управления при проведении экспериментов в области микроускорений.

13. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Стабилизация режима солнечной ориентации искусственного спутника Земли электромагнитной системой управления // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2017. №80. 31 с. (1,94 п.л. / **1,56 п.л.**)

Личный вклад автора заключается в применении разработанной им методики периодической аппроксимации ориентированного движения КА для исследования возможностей режима стабилизации солнечной ориентации КА с помощью электромагнитных органов управления на длительных интервалах времени.

14. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Стабилизация режима орбитальной

ориентации искусственного спутника Земли без накопления кинетического момента гиросистемы // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2018. №2. 30 с. (1,88 п.л. / **1,50 п.л.**)

Личный вклад автора состоит в предложенном им численно-аналитическом способе выбора параметров законов управления режимом орбитальной ориентации КА без накопления кинетического момента гиросистемы.

15. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Исследование установившихся движений искусственного спутника Земли в режиме одноосной магнитной ориентации // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2019. №25. 44 с. (2,75 п.л. / **2,38 п.л.**)

Личный вклад автора заключается в применении разработанной им методики периодической аппроксимации ориентированного движения КА для исследования возможностей стабилизации режима одноосной магнитной ориентации КА на длительных интервалах времени.

16. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Реализация режима солнечной ориентации искусственного спутника Земли без накопления кинетического момента гиросистемы // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2019. №99. 27 с. (1,69 п.л. / **1,31 п.л.**)

Личный вклад автора заключается в проведении исследования возможностей разработанного им закона управления трехосной солнечной ориентацией КА, ограничивающего рост собственного кинетического момента гиросистемы.

17. **Игнатов А.И.,** Сазонов В.В. Оценка уровня квазистатических микроускорений на борту искусственного спутника Земли в режиме солнечной ориентации // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2020. №54. 28 с. (1,75 п.л. / **1,38 п.л.**)

Личный вклад автора состоит в предложенной методике прогнозирования уровня микроускорений на борту КА при стабилизации режима трехосной солнечной ориентацией с помощью разработанного автором закона управления, ограничивающего рост собственного кинетического момента гиросистемы.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023681348. Программа расчета и визуализации сингулярных состояний силовых гироскопических комплексов (гироудинов) / А.И. Игнатов, Е.В. Мартыненко. Заявка №2023680642. Дата поступления 02.10.2023. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.10.2023.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024616504. Программно-математический комплекс для моделирования 293 управляемого углового движения космических аппаратов / А.И. Игнатов. Заявка №2024615271. Дата поступления 14.03.2024. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.03.2024.

Авторский вклад в опубликованных работах составляет в среднем 78 % от общего количества печатных листов. **В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения** об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1) **Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» (ПАО «РКК «Энергия»)**, ведущая организация. **Отзыв положительный.** Подписан главным специалистом ПАО «РКК «Энергия», д.т.н., профессором Беляевым Михаилом Юрьевичем, экспертом по системе управления и навигации ПАО «РКК «Энергия», д.т.н. Платоновым Валерием Николаевичем, начальником сектора ПАО «РКК «Энергия», д.т.н. Сумароковым Антоном Владимировичем и утвержден Генеральным конструктором - заместителем генерального директора, академиком РАН В.А. Соловьевым.

К работе имеется 8 замечаний:

1. В главе «Введение» приводится формула (В.1) для расчета микроускорений, а также приводятся некоторые численные оценки уровня микроускорений на борту КА серий «Фотон» и «Бион». При этом определение,

что называется микроускорением, приводится в диссертации ниже по тексту в разделе 1.5 главы 1.

2. В разделе 1.1 «Системы координат» главы 1 вводятся 6 систем координат и приводится описание двух наборов углов, задающих взаимное положение осей систем координат. При этом в описании углов приводится только последовательность поворотов, но не указано их направление. Рисунки в данной главе также отсутствуют, что в целом вносит некоторую неоднозначность в понимание углов ориентации.

3. В разделе 2.2 главы 2 приводится выражение (2.2) для функционала, а описание переменных входящих в этот функционал приводится ниже по тексту только через 2 абзаца.

4. В главе 2 диссертации описывается построение аппроксимирующего периодического движения, и сказано, что «построенная аппроксимация оказалась достаточно точной». Полезно было бы привести в диссертации численные оценки точности построенной аппроксимации.

5. В главе 4, в некоторых случаях, обеспечение асимптотической устойчивости выполняется путем выбора кратных действительных корней характеристического полинома, что не всегда эффективно.

6. В разделе 6.4 главы 6 не приведен алгоритм построения особых поверхностей систем гироскопов методом продолжения по параметру, хотя автором была реализована «программа расчета и визуализации сингулярных состояний силовых гироскопических комплексов (гироскопов)». Полезно было бы привести в приложении к диссертации блок-схему или листинг разработанной прикладной программы.

7. Крайне неудобным является выбор формы представления материала работы, когда вначале идет описательная часть, а в конце главы следуют результаты в виде графического материала. Предпочтительно приводить графические материалы после их первого упоминания в тексте работы.

8. В работе имеются отдельные стилистические и редакционные

погрешности: несогласованные окончания и пропущенные буквы. В частности, на стр. 13 присутствует фраза «задача исследования углового движения осесимметричного КА», на стр 21 фраза «в большинстве случаев будет происходить еще с большей скоростью» на стр. 151 фраза «к ним надо добавит соотношения» и т.д.

2) Овчинников Михаил Юрьевич, официальный оппонент, доктор физико-математических наук. **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем ИПМ им. М.В. Келдыша РАН Давыдовым А.А.

К работе имеется 7 замечаний:

1. Стр. 18 – О каком векторе $\mathbf{K}$ идет речь, если минимизируется квадрат его модуля?

2. Стр. 46 – Не учитывается в модели упругость солнечных батарей, микроускорения от деформации которых обсуждались в тексте.

3. Стр. 58 – Отсутствует обоснование корректности аппроксимации квазипериодических решений набором периодических решений и оценка точности такой аппроксимации.

4. Стр. 63 – Утверждается, что в рамках модели прямого диполя при изменении Ω_G резонансов не возникает. Однако резонансы возникают не при изменении параметра, их причина в близости собственных частот и частот изменения внешнего магнитного момента. Выбрав магнитный момент КА (l_0 в обозначениях автора) вблизи бифуркационной кривой, резонанс обнаружится и в рамках модели прямого диполя (см. [11]).

5. Стр. 153 – При переходе от (4.27) к (4.28) отброшено слагаемое, отражающее ограничение в реализации магнитного управления – невозможность создания механического момента вдоль вектора $\mathbf{B}$, что превратило управление в вязкое трение. Тогда причем здесь магнитное управление?

6. Стр. 176 – Исчез гироскопический момент $\mathbf{H}$ при переходе от (5.1) к (5.3).

7. В диссертационной работе имеются неprinципиальные опечатки (стр.

19, 43, 65, 125, 277).

3) Красильников Павел Сергеевич, официальный оппонент, доктор физико-математических наук. **Отзыв положительный**, заверен Заместителем начальника управления по работе с персоналом МАИ Ивановым М.А.

К работе имеется 3 замечания:

1. Описание резонансов на стр. 64-70 не убедительное. Вывод о наличии резонансов делается на основе увеличения амплитуды колебаний при некоторых значениях l_0 . Однако здесь необходим анализ частотного спектра с указанием целочисленных соотношений между частотами. Его нет. Резонансы характеризуются не только возрастанием амплитуды колебаний, но и качественным изменением картины колебаний, требующий подчас, изменения методов исследования. Соответствующий анализ отсутствует.

2. На стр. 106 диссертации указано, что среднее от $U(t)$ на интервале $[0, T]$ соответствует l_0 , доставляющей минимум функционалу (3.8). Из теоретических рассуждений это утверждение не следует. Если этот вывод является результатом численных исследований, то это надо объяснить, ссылаясь на результаты вычислений и их иллюстрации.

3. Вывод об устойчивости при $k_\Omega = 0$ некоторых периодических режимов вращения в линейном приближении (стр. 69) является необоснованным. Дело в том, что среди мультипликаторов периодического решения есть кратные, равные единице. Но кратные мультипликаторы приводят, как правило, к неустойчивости, так как они порождают решения, содержащие члены, подобные секулярным. Итак, необходим отдельный анализ этого случая.

4) Седельников Андрей Валерьевич, официальный оппонент, доктор технических наук. **Отзыв положительный**, заверен Начальником отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета Бояркиной У.В.

К работе имеется 8 замечаний:

1. При описании аэродинамического момента (стр. 42 - 44) с учетом геометрической формы космического аппарата (рисунок. 1.1) не учитывалась упругость панелей солнечных батарей. Был рассмотрен случай настолько жестких панелей, что все возмущающее воздействие через узел крепления (жесткая заделка) передавалось на корпус космического аппарата и влияло на его движение. Логично предположить, что такая оценка аэродинамического возмущения является завышенной. На мой взгляд, разумно было бы оценить степень завышенности и дать соответствующие рекомендации о учете или пренебрежении упругостью панелей солнечных батарей в различных ситуациях.

2. На рисунках 2.2 – 2.4 приведены графики зависимости угла $\varphi = \arccos(\mathbf{n} \cdot \mathbf{B})$. Судя по графика, все значения угла положительны. Однако четность функции $\cos(x)$ допускает неоднозначность трактовки знака угла. В работе отсутствуют пояснения о предпочтении положительных значений отрицательным. Также нет указаний на то, может ли этот угол менять свой знак.

3. В третьей главе работы соискателем решена задача определения закона управления угловым движением космического аппарата, обеспечивающим реализацию режима его орбитальной ориентации при малом росте величин гиросtatического момента исполнительных органов системы управления движением. Дополнительным условием, обеспечивающим малость роста гиросtatического момента, выделяется условие (3.8). Далее, приводится расчет микроускорений в режиме орбитальной ориентации космического аппарата при использовании найденного закона управления (3.6) удовлетворяющего (3.8). При этом в выводах по третьей главе отмечается, что эти микроускорения являются «эталонными», а, судя по названию третьей главы, - минимальными (Глава 3. Прогнозирование и оценка минимального уровня микроускорений на борту космического аппарата). Однако, в этом случае следовало бы показать явную связь между минимальностью микроускорений и реализацией закона управления (3.6), удовлетворяющего

(3.8). На мой взгляд, эта связь не очевидна и требует доказательств.

4. При описании путей достижения цели данной работы автор указал (стр. 11): «Поставленная цель подразумевает ... выбор приборного состава и исполнительных органов системы управления угловым движением КА». Далее ставится задача (стр. 11 – 12): «4. Обоснованный выбор параметров схемы расположения и характеристик гироскопических органов управления системы управления КА, обеспечивающих реализацию построенных законов управления». Глава 6 работы описывает решение этой задачи. Однако, на мой взгляд, выбор приборного состава и исполнительных органов подразумевает более широкую задачу, затрагивающую, в частности, разработку информационно-измерительной системы, без которой контроль работы исполнительных органов системы управления движением, а также вычисления погрешностей модели оценки микроускорений невозможен. Поэтому напрашивается более конкретизированная постановка задачи выбора приборного состава.

5. Описание теоремы на странице 66, на мой взгляд, нуждается в более обширных пояснениях, чем это представлено в работе.

6. На страницах 155 – 156 отмечено: «Известны примеры успешного решения этой задачи». На мой взгляд, было бы логично их описать или сослаться на источники, где они описаны более подробно.

7. Фраза на странице 58 «(ω_0 - среднее движение центра масс КА)» не совсем корректна.

8. На странице 178 указано: «... при достаточно большом значении ξ ...» и «Параметр ξ возьмем настолько большим...». Далее приводится «Ниже принято, что $\xi = 0.01 \text{ с}^{-1}$ ». Однако, данное значение не является большим в общепринятом смысле. Возможно, оно является большим в контексте решаемой задачи.

На автореферат диссертации поступило 11 положительных отзывов.

1) Акционерное общество «Научно-производственное объединение

имени С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»), г. Химки, Московская область. Отзыв подписан ведущим научным сотрудником, доктором технических наук Заниным Кириллом Анатольевичем, заверен заместителем генерального директора по персоналу и общим вопросам Шолоховой И.В.

Замечания к автореферату:

- Из автореферата не ясно, каким образом учитывалось влияние частоты вращения ротора гироскопических исполнительных органов в зависимости от их кинетического момента на возбуждение колебаний в областях собственных резонансных частот конструкции исследуемой системы.

- Не ясно, позволяет ли разработанная методика обеспечивать программные развороты КА не только с одинаковым значением, но и с заданным законом изменения угловой скорости и углового ускорения от времени.

- В автореферате не приводятся оценки влияния случайных и неопределенных факторов на уровень микроускорений, например, геометрических погрешностей установки приборов системы управления, погрешностей характеристик материалов магнитных исполнительных органов, разброс моментов инерции, аэродинамических коэффициентов, площади мишени КА и др.

- В тексте автореферата имеются опечатки.

2) Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения» (АО «ВПК «НПО машиностроения»), г. Реутов, Московская область. Отзыв подписан Помощником Генерального директора АО «ВПК «НПО машиностроения», доктором технических наук Палкиным Максимом Вячеславовичем, заверен ученым секретарем НТС АО «ВПК «НПО машиностроения» кандидатом физико-математических наук Точиловым Л.С.

Замечания к автореферату:

- Из автореферата нельзя понять рассматривались ли в работе вопросы, связанные с исследованием влияния погрешностей изготовления гироскопических органов управления, погрешностей характеристик

электромагнитных исполнительных органов и погрешностей измерений магнетометров на уровень микроускорений на борту, а также на точность ориентации КА.

- В тексте автореферата имеются опечатки и стилистические неточности.

3) Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»), г. Королев, Московская область. Отзыв подписан начальником отделения АО «ЦНИИмаш», кандидатом технических наук, доцентом Пустоваловым Евгением Васильевичем и старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук, Лобановым Валентином Степановичем, заверен главным ученым секретарем АО «ЦНИИмаш», доктором технических наук, старшим научным сотрудником Ключниковым В.Ю.

Замечания к автореферату:

- При формировании целей и задач работы в автореферате отмечено "выбор приборного состава и исполнительных органов системы управления угловым движением" (стр. 5 Автореферата). Между тем в материалах автореферата отсутствуют сведения о приборном составе системы ориентации и требования к характеристикам приборов СО (уходы гироскопических измерителей угловых скоростей, характеристики двигателей-моховиков, гиродиннов, измерителей магнитных моментов и др.).

- Судя по автореферату в работе отсутствует оценка требуемых вычислительных затрат на реализацию предложенных законов управления, и исходя из этого требований к вычислительным средствам КА.

4) Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан заведующим кафедрой теоретической механики и теории механизмов и машин, доктором технических наук, профессором Горбулиным Владимиром Ивановичем и профессором кафедры теоретической механики и теории механизмов и машин, доктором

экономических наук, профессором Радионовым Николаем Васильевичем, утвержден Заместителем начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по учебной и научной работе, доктором технических наук, профессором, генерал-майором Ю. Кулешовым.

Замечания к автореферату:

- В автореферате сказано, что построенная аппроксимация угловых движений КА периодическими решениями оказалось достаточно точной, но при этом не приведено никаких оценок точности.

- Из автореферата неясно, оценивалось ли влияние центробежных моментов инерции КА на точность режимов стабилизации КА и уровень микроускорений на его борту.

- В случае использования для управления сферическим движением КА гироскопических органов управления (стр.15 автореферата) для организации перспективного интеллектуального управления важно знать количество потребной электроэнергии, однако в диссертации, судя по автореферату, эти вопросы не рассматривались.

5) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан профессором кафедры Теоретической и прикладной механики Санкт-Петербургского государственного университета, доктором физико-математических наук, профессором Тихоновым Алексеем Александровичем, заверен начальником управления кадров Морозовой С.В.

Замечания к автореферату:

- Во многих местах в тексте отсутствуют запятые (например, см. последний абзац на с. 15, второй абзац на с. 16, первый абзац на с. 17 и т.д.).

- Опечатка на с. 15 (2-я строка снизу): «...уравнений к ним добавляется уравнение, описывающие изменение...».

- В третьем абзаце на с. 16 неясна природа упоминаемой в п.4 «силы, создаваемой органами управления», а также суть самих органов управления,

поскольку не разъясняется, каким движением может управлять система управления - орбитальным или угловым. Дополнительную неясность вносит следующая фраза в этом же абзаце: «Если КА совершает неуправляемое движение или для управления им используются гироскопические или магнитные исполнительные органы, то последняя из перечисленных причин исчезает». Судя по упоминанию гироскопических или магнитных исполнительных органов, речь идет об управлении не орбитальным, а угловым движением и, следовательно, о создании управляющих моментов сил. Но тогда непонятно, о какой исчезающей силе идет речь в этом абзаце.

- На с. 18 отмечено, что вектор $\mathbf{n}$ - орт оси симметрии КА. Однако, судя по уравнениям, приведенным на той же странице, $\mathbf{n}$ - орт оси динамической симметрии КА. На этой же стр. приведена довольно странная формула, определяющая «дипольный момент магнита КА», и не разъяснен смысл параметра l_0 , входящего в эту формулу.

- На с. 20 и 21 неоднократно упоминается периодическое решение, которое можно будет использовать как аппроксимацию установившегося решения исходной системы (2). Поскольку само это периодическое решение не приводится, то было бы целесообразно пояснить структуру этого периодического решения или хотя бы указать, в классе каких функций оно строится.

- Опечатки на с.29: «два стационарных решений системы», на с.32: «магнетометра», на с.33: «результаты численного моделирование», на с.35: «наличие аэродинамический момент».

б) Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (НИИ ПМЭ МАИ), г. Москва. Отзыв подписан директором НИИ ПМЭ МАИ, чл.-корр. РАН, доктором технических наук Петуховым Вячеславом Георгиевичем.

Замечания к автореферату:

- Интегрирование уравнений орбитального движения проводится в Гринвичской системе координат с учетом возмущающих ускорений от аэродинамических сил и гармоник геопотенциала до 36 степени и 36 порядка. При таком составе возмущающих ускорений, для обеспечения точности вычислений, следовало бы учитывать движение экватора Земли (как минимум, прецессию и нутацию геоэкватора). Судя по автореферату, изменения ориентации геоэкватора в используемой математической модели не учитывается.

- В выражении для ускорения $\mathbf{b}_a$ в формуле (1), вероятно, пропущен знак «-», так как оно должно быть направлено против вектора скорости.

7) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН), г. Москва. Отзыв подписан главным научным сотрудником ИПМех РАН, чл.-корр. РАН, доктором физико-математических наук Решминым Сергеем Александровичем, заверен Заместителем директора ИПМех РАН, доктором технических наук Ермоловым И.Л.

Отзыв замечаний не содержит.

8) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская область. Отзыв подписан профессором кафедры теоретической механики МФТИ, доктором физико-математических наук, Амеликиным Николаем Ивановичем, заверен ученым секретарем ученого совета МФТИ Евсеевым Е.Г.

Замечания к автореферату:

- В тексте автореферата нет подробного описания метода продолжения по параметру, используемого для анализа особых поверхностей в области вариации суммарного кинетического момента системы гиродинов.

- Термин «гиростат» не имеет непосредственного отношения к

гироскопам. Поэтому нельзя признать удачным использование термина «гиростатический момент» для обозначения суммарного кинетического момента гиросистемы.

9) Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»), г. Москва. Отзыв подписан Заместителем начальника экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы», академиком РАН, доктором технических наук, профессором Бетановым Владимиром Вадимовичем, заверен ученым секретарем АО «Российские космические системы», кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Федотовым С.А.

Замечания к автореферату:

- В контексте данной работы при численном моделировании уравнений движения КА порядок точности разложения гравитационного потенциала Земли в ряд по сферическим функциям вполне достаточно было бы учесть члены порядка (8,8) включительно, а не (36,36).

- В автореферате ничего не сказано про метод продолжения по параметру, который использовался в шестой главе при построении особых поверхностей для системы гиродинов.

10) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» («НИУ «МЭИ»), г. Москва. Отзыв подписан профессором кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, доктором физико-математических наук Кобриным Александром Исааковичем, заверен Заместителем начальника управления по работе с персоналом «НИУ «МЭИ» Полевой Л.И.

Отзыв замечаний не содержит.

11) Акционерное общество «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» (АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»), г. Москва.

Отзыв подписан ведущим инженером отдела динамических схем и динамики полета, кандидатом технических наук Володиным Валерием Дмитриевичем и ведущим конструктором отдела динамических схем и динамики полета, кандидатом физико-математических наук Давыдовым Алексеем Алексеевичем, утвержден Заместителем генерального директора АО «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева», Председателем научно-технического совета конструкторского бюро «Салют», кандидатом технических наук Соколовым М.Б.

Замечания к автореферату:

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

- 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.

Диссертационный совет считает, что на заседании 26 июня 2025 года соискатель своими ответами на все замечания к диссертационной работе и автореферату убедительно показал, что вышеуказанные замечания не влияют на основные результаты, полученные в диссертационной работе и не снижают ее научной ценности. Такой же вывод сделали все специалисты в своих отзывах на диссертацию и автореферат, рекомендовав присудить Игнатову А.И. учёную степень доктора технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (технические науки).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован:

- наличием публикаций в соответствующей сфере исследования;
- компетентностью;
- имеющимся большим опытом в создании и исследовании алгоритмов управления ориентацией и стабилизацией космических аппаратов с использованием гироскопических и электромагнитных органов управления,

решении проблем, связанных с наличием микроускорений при проведении космических экспериментов, и в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин;

- способностью определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» – ведущая организация, являющаяся головным предприятием и одним из мировых лидеров в области пилотируемого освоения космоса. В корпорации ведутся работы по созданию новой Российской орбитальной станции и эскизному проектированию перспективных космических аппаратов, предназначенных в том числе для проведения научных исследований в космосе. Диссертационная работа была обсуждена на расширенном заседании секции «Бортовые и наземные комплексы управления и радиотехнические системы» Научно-технического совета ПАО «РКК «Энергия» (протокол № 240 от 31 марта 2025 года). Отзыв на диссертацию подписали ученые, которые много лет непосредственно занимаются вопросами создания алгоритмов управления долговременных космических станций (д.т.н. Сумароков Антон Владимирович), вопросами выбора и управления гироскопическими исполнительными органами (д.т.н. Платонов Валерий Николаевич), и вопросами планирования научных экспериментов в космосе, а также обеспечения условий их проведения (д.т.н., профессор Беляев Михаил Юрьевич).

Овчинников Михаил Юрьевич – автор более 180 научных трудов в области относительного движения космических аппаратов. Специалист в области, прикладной небесной механики, а также в области систем ориентации и стабилизации космических аппаратов. Член Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике (2019 г.), действительный член Международной академии астронавтики (IAA M2, 2010 г.), ведущий эксперт Американского института аэронавтики и астронавтики (AIAA, Senior Fellow, 2009г.) и т.д. Один из авторов монографии «Магнитные системы

ориентации малых спутников» 2016 г. Является членом диссертационного совета 24.1.237.02 на базе Института прикладной математики им М.В. Келдыша РАН по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин (физико-математические науки).

Красильников Павел Сергеевич – автор более 90 научных трудов в областях, связанных с движением КА относительно центра масс в сложных гравитационных полях. Им описаны основные эволюционные эффекты вращений твердого тела, что существенно продвинуло теорию относительных движений как естественных небесных тел (планет Солнечной системы), так и искусственных тел (космических аппаратов). Красильников П.С. признанный специалист в области колебаний и теории устойчивости стационарных движений механических систем. Автор книги «Прикладные методы исследования нелинейных колебаний» 2015 г. Является председателем диссертационного совета 24.2.327.08 на базе Московского авиационного института по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин (физико-математические науки).

Седельников Андрей Валерьевич – автор более 100 научных трудов в областях, связанных с динамикой полета КА, исследованием внешних воздействий на КА, а также с проведением экспериментов в области микроускорений. Один из немногих признанных специалистов в области обеспечения требуемых условий на борту КА при проведении исследований в области микроускорений. В 2016 году защитил диссертацию на тему «Разработка комплексного метода контроля и оценки микроускорений на борту космического аппарата», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук. Автор монографии «Проблема микроускорений: от осознания до фрактальной модели» 2012 г.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, хорошо структурирована, обладает внутренним единством, что выполненные автором исследования являются теоретической и практической базой для создания новых перспективных КА для проведения длительных

научных исследований на орбите Земли, в частности, позволяют значительно сократить время и затраты на создание системы ориентации и стабилизации КА на этапе эскизного проектирования.

Научная новизна полученных результатов в диссертационной работе обусловлена спецификой требований, предъявляемых к управляемым угловым движениям КА, условиям проведения экспериментов на борту, а также особенностями конструкции рассматриваемого КА. Новизна заключается в том, что:

1. Разработана методика численного параметрического исследования устойчивости установившихся режимов угловых движений КА, близких к периодическим, основанная на аппроксимации таких движений последовательностью периодических решений модифицированных уравнений движения. Указанная методика позволяет эффективно выбирать необходимые значения параметров используемых законов управления угловым движением космического аппарата.

2. Для режима одноосной магнитной ориентации осесимметричного КА доказано существование периодических решений модифицированных уравнений движения в случае использования полной модели магнитного поля Земли (МПЗ). С помощью методики численного параметрического исследования установившихся режимов угловых движений КА изучено влияние значений параметров уравнений движения на возникновение резонансов между вращением вектора индукции МПЗ вдоль орбиты и колебания продольной оси симметрии КА относительно этого вектора.

3. Для режима орбитальной ориентации КА разработана методика прогнозирования и оценки минимального уровня микроускорений в заданной точке борта. С помощью разработанной методики получены оценки уровня микроускорений для КА в режиме его орбитальной ориентации близкой к гравитационно устойчивой.

4. На основе известной ранее функции Ляпунова построен закон управления режимом орбитальной ориентации КА с помощью системы

гироскопических исполнительных органов. Построенный закон помимо поддержания заданной ориентации КА ограничивает накопление собственного кинетического момента гиросистемы. Реализованы варианты закона, обеспечивающие орбитальную ориентацию КА как в окрестности гравитационно устойчивого, так и неустойчивого положений равновесия. Предложена численно-аналитическая методика выбора параметров для всех вариантов реализации закона управления.

5. Построен закон управления режимом солнечной ориентации КА, реализуемый с помощью системы гироскопических исполнительных органов в условиях ограничения накопления гиросtatического момента и отсутствия возможности изменения положения солнечных батарей относительно корпуса КА. Такой закон управления позволяет не только поддерживать солнечную ориентацию КА на длительных интервалах времени, но и проводить разгрузку накопленного кинетического момента гиросистемы.

6. На основе известного ранее теоретического исследования разработан и с помощью разработанной методики исследован режим солнечной ориентации КА, реализуемый системой магнитных исполнительных органов при наличии постоянного гиросtatического момента и отсутствии возможности изменения положения солнечных батарей относительно корпуса КА.

7. Разработана методика выбора геометрических параметров схемы расположения и физических характеристик двигателей-маховиков, обеспечивающих реализацию предложенных режимов углового движения КА. Получены аналитические зависимости для выбора геометрических параметров системы двигателей-маховиков, расположенных по схеме «четырехугольная пирамида» при реализации режима программных разворотов КА, а также для поддержания орбитальной и солнечной ориентации КА.

8. Предложен и обоснован способ расчета и построения особых поверхностей систем безупорных гиросилов, основанный на методе продолжения по параметру. Формализованы достаточные условия,

позволяющие определить тип особых поверхностей. Реализован соответствующий программно-математический комплекс, используемый при выборе геометрических параметров схемы расположения гиродинов.

Все полученные в работе результаты можно использовать как в совокупности для реализации главной цели работы, так и по отдельности для решения прикладных задач, связанных с управлением угловым движением КА различного назначения.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

- изложена и обоснована методика прогнозирования и оценки уровня микроускорений на борту КА в зависимости от начальных параметров целевой орбиты и реализуемого режима углового движения КА;
- изложена и обоснована методика численного параметрического исследования устойчивости установившегося ориентированного движения КА, центр масс которого движется по околоземной орбите, близкой к круговой;
- предложены и исследованы новые эффективные законы управления угловым движением КА при наличии функциональных ограничений и в течение длительных интервалов времени;
- изложена и обоснована методика выбора параметров схем расположения и характеристик гироскопических органов системы управления КА, обеспечивающих реализацию предложенных законов управления различными режимами углового движения КА.

Каждый из полученных теоретических результатов диссертационной работе можно рассматривать как решение самостоятельной задачи, которое можно эффективно использовать при разработке систем ориентации и стабилизации КА различного назначения.

Шесть из семнадцати основных опубликованных работ соискателя по теме диссертации были выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проекты 08-11-00467, 11-01-00262, 14-01-000423, 17-01-00143.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- результаты проведенных исследований использовались на этапах эскизного проектирования при разработке систем ориентации различных КА и разгонных блоков, как уже созданных, так и вновь создаваемых в АО «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева» и в ООО «Спутникс»;

- результаты диссертационной работы легли в основу дисциплины «Математическое моделирование систем гироскопических и электромагнитных органов управления угловым движением космических аппаратов», которая читается студентам кафедры «Теоретическая механика» МГТУ имени Н.Э. Баумана по направлению подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование»;

- созданная на основе результатов представленной работы «Программа расчета и визуализации сингулярных состояний силовых гироскопических комплексов (гиродинов)» внедрена в учебный процесс и используется при подготовке студентов МГТУ имени Н.Э. Баумана в рамках дисциплин «Математическое моделирование систем гироскопических и электромагнитных органов управления угловым движением космических аппаратов» (кафедра «Теоретическая механика») и «Электромеханические исполнительные органы систем управления КА» (кафедра «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»);

- разработанный и использованный в рамках данной работы «Программно-математический комплекс для моделирования управляемого углового движения КА», внедрен в учебный процесс и используется при подготовке студентов МГТУ имени Н.Э. Баумана в рамках дисциплины «Движение искусственных спутников Земли относительно центра масс» (кафедра «Теоретическая механика»).

Соискателем получено 6 актов о внедрении результатов диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию на предприятиях ракетно-космической отрасли:

- методика численного параметрического исследования устойчивости установившихся режимов угловых движений КА, близких к периодическим;
- методика прогнозирования и оценки минимального уровня микроускорений в заданной точке борта для режима орбитальной ориентации КА;
- законы управления режимом орбитальной ориентации КА реализуемые с помощью системы гироскопических исполнительных органов, ограничивающие накопление собственного кинетического момента гиросистемы;
- закон управления режимом солнечной ориентации КА, реализуемый с помощью системы гироскопических исполнительных органов в условиях ограничения накопления гиростатического момента и отсутствия возможности изменения положения солнечных батарей относительно корпуса КА;
- методика выбора геометрических параметров схемы расположения и физических характеристик двигателей-маховиков, обеспечивающих реализацию предложенных режимов углового движения КА;
- способ расчета и построения особых поверхностей систем гиродинов, основанный на методе продолжения по параметру.

Указанные выше результаты рекомендуются к применению во всех организациях, занимающихся разработкой КА и разгонных блоков, таких как ПАО «РКК «Энергия» имени С.П. Королева», АО «РКЦ «Прогресс», АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева, АО «НПО Лавочкина», АО «ВПК «НПО машиностроения» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты представленных в диссертации исследований получены и обоснованы применением современных методов теоретической механики, теории орбитального движения искусственных спутников Земли, теории

устойчивости, математической теории автоматического управления, методов анализа временных рядов, методов оптимизации и численных методов. Результаты исследований являются достоверными вследствие корректности использованных моделей, достоверности математических методов исследования, соответствия результатов теоретических исследований с численным моделированием, а также сравнения с полученными ранее результатами, опубликованными в научных изданиях другими авторами.

Кроме того, достоверность подтверждается использованием некоторых из полученных результатов диссертации при разработке эскизных проектов изделий ракетно-космической техники прошедших летные испытания.

Личный вклад соискателя состоит в том, что поставленная им научная проблема разработки и исследования комплекса режимов углового движения КА, обеспечивающих на борту необходимые условия для проведения длительных научных экспериментов широкого спектра на околоземной орбите решена полностью, что подтверждается результатами разработанных методик, математических моделей и уровнем их реализации (внедрения). Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора. Все результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно. Соискатель лично разработал программное обеспечение использованное при получении результатов диссертации. Соискатель непосредственно принимал участие в получении новых научных результатов, лично участвовал в апробации результатов исследований. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад соискателя был определяющим.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

В диссертации все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора и (или) источник заимствования, и не обнаружены

результаты работ, выполненных соискателем в соавторстве, без ссылок на соавторов. Тем самым диссертация Игнатова А.И. соответствует критериям, установленным п. 14 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к докторским диссертациям.

Тема и содержание диссертации Игнатова А.И. соответствуют паспорту научной специальности 1.1.7 «Теоретическая механика, динамика машин (технические науки)» по следующим пунктам направлений исследований: 2 – «Теория устойчивости движения. Прикладные проблемы устойчивости равновесия и движения механических систем»; 3 – «Теория колебаний механических систем»; 8 – «Теория гироскопических и навигационных систем»; 10 – «Динамика летательных аппаратов и космических конструкций»; 14 – «Математическое и компьютерное моделирование кинематики и динамики механических систем, в том числе машин, приборов и их элементов при динамических, статических тепловых и других видов воздействий статических, динамических, тепловых, коррозионных и других воздействиях».

На заседании 26 июня 2025 года диссертационный совет пришел к выводу, о том, что диссертация представляет собой законченную научно – квалификационную работу, которая содержит новые ценные научные результаты, свидетельствующие о большом личном вкладе соискателя в науку, и соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (ред. 16 октября 2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве _17_ человек, из них _16_ докторов наук по специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин (технические науки), участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – _17_, против – _0_, недействительных бюллетеней – _0_.

Диссертационный совет принял решение присудить Игнатову Александру Ивановичу учёную степень доктора технических наук за решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение для создания перспективных космических аппаратов, предназначенных для проведения научных исследований широкого спектра на околоземной орбите.

Председатель диссертационного
совета 24.1.075.02, академик РАН,
д.т.н., профессор



Ганиев Ривнер Фазылович

Учёный секретарь диссертационного
совета 24.1.075.02, к.т.н

Гранова Галина Николаевна

«26» июня 2025 г.