

На правах рукописи

*Танеева*

**Танеева Анастасия Сергеевна**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ПО  
МИКРОУСКОРЕНИЯМ**

2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания  
и эксплуатация летательных аппаратов

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

Казань - 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» на кафедре космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова.

**Научный руководитель:**

**Седельников Андрей Валерьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Космическое машиностроение имени генерального конструктора Д. И. Козлова» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

**Официальные оппоненты:**

**Бормотов Алексей Николаевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный технологический университет»;

**Косицын Валерий Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Авиа- и ракетостроение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

**Ведущая организация:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск.

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета 24.2.311.03 на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», по адресу: 420015, г. Казань, ул. Толстого, д.15.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»:

[http://datadocs.kai.ru/dissertation/files/file\\_468/text\\_diss.pdf](http://datadocs.kai.ru/dissertation/files/file_468/text_diss.pdf).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10, КНИТУ-КАИ, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.311.03.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.т.н.

Н.В. Левшонков

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы.**

Существенный прогресс в области космических технологий тесно связан с бурно развивающейся в настоящее время индустрией малых космических аппаратов (МКА). Поэтому исследования по использованию МКА для выполнения широкого спектра являются чрезвычайно важными. МКА уже хорошо зарекомендовали себя при решении целого круга различных задач (например, МКА дистанционного зондирования Земли).

Своевременность проектирования, производства, испытания и эксплуатация МКА технологического назначения (ТН) заключается в возможности существенно более интенсивного развития космических технологий с использованием МКА. Эти возможности практически не использованы в настоящее время, несмотря на широкое применение МКА. Создание и успешная эксплуатация МКА ТН даст серьёзное преимущество по срокам, стоимости и интенсивности реализации космических технологических проектов, а также оперативности внесения изменений при получении новых знаний и наработке опыта эксплуатации.

Однако созданию МКА ТН должны предшествовать исследования, связанные с обеспечением требований по микроускорениям, как важнейшей характеристики космического аппарата (КА) ТН. Они будут служить основой для проектирования, производства, испытания и эксплуатация МКА ТН.

Таким образом, диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для соответствующей отрасли знаний в области космического материаловедения, направленной на расширение областей использования космической техники путём проектирования и создания перспективных малых космических аппаратов технологического назначения.

**Степень разработанности темы.** За почти полувековую историю существования проблемы микроускорений был наработан значительный опыт. Первые технологии производства сверхчистых полупроводников и монокристаллов были успешно реализованы именно в космических лабораториях. На советских долговременных орбитальных станциях (ДОС) серии «Салют» и американской «Skylab» было проведено большое количество технологических экспериментов. Анализ результатов позволил выявить влияние поля микроускорений на качество их реализации. Изучение природы микроускорений и способов их нейтрализации превратилось в одну из самых важных задач.

Направление, связанное с реализацией гравитационно-чувствительных процессов на специализированном лабораторном модуле ДОС, успешно развивается и в настоящее время. Большое количество экспериментов было проведено на орбитальном комплексе «Мир», МКС, станциях серии «Tiangong». Именно при использовании ДОС в качестве базы для реализации технологических процессов возникла потребность в разработке и применении специализированных микрогравитационных устройств, которые защищают от микроускорений некоторое пространство, называемое защищённой зоной. Первые микрогравитационные устройства использовали механический принцип работы. Затем стали применяться микрогравитационные устройства на магнитном принципе работы. Их эксплуатация показала преимущества и недостатки микрогравитационных устройств, а также пути их дальнейшего совершенствования.

Многозадачность ДОС снижает их возможности в части удовлетворения требований по микроускорениям даже с учётом применения микрогравитационных устройств. Поэтому параллельно с разработкой лабораторных модулей развивалось направление по созданию специализированных КА технологического и биомедицинского назначения. Однако и здесь был выявлен ряд проблем, ограничивающих возможности развития космических технологий.

Широкое развитие МКА, проектирование, производство, испытания и эксплуатация новых современных образцов МКА ТН создаёт новые возможности для космических технологий. Однако, как показывают исследования и эксперименты удовлетворение требований по микроускорениям во внутренней среде МКА является более сложной задачей, чем для КА других классов. По этой причине к моменту написания данной диссертационной работы не реализовано ни одного проекта МКА ТН. Новой является и идея использования микрогравитационных платформ на МКА.

Орбитальному движению МКА посвящено достаточно большое количество работ. Исследованиям поля микроускорений во внутренней среде МКА посвящены работы Абрашкина В.И., Аншакова Г.П., Бабкина Е.В., Белоусова А.И., Беляева М.Ю., Полежаева В.И., Путина Г.Ф., Сазонова В.В., Седельникова А.В., Сёмкина Н.Д., W. Dong, Hu W.R. и других авторов.

Исследованиям поля микроускорений в защищённой зоне микрогравитационных платформ посвящены работы Абрашкина В.И., Акуленко, Борисова А.Е., Левтова В.Л., Пузина Ю.Я., Седельникова А.В., Dong W., Jones D.I., Liu C., Ming C., Tryggvason B.V., Whorton M. и других авторов.

Работы по исследованию поля микроускорений в защищённой зоне микрогравитационных платформ, установленных на МКА, в настоящее время практически отсутствуют.

**Актуальность настоящей диссертации** заключается в том, что в ней на базе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика проектирования МКА ТН с микрогравитационной платформой, которая позволила создать его проектный облик. Проведена оценка поля микроускорений защищённой зоны микрогравитационной платформы, демонстрирующая способность удовлетворять требования по микроускорениям при реализации гравитационно-чувствительных процессов на борту МКА ТН. Это создаст условия для успешного проведения экспериментов, в том числе и в области космических технологий, расширяя области применения МКА.

Из актуальности диссертации следует её **цель**: *совершенствование проектного облика малого космического аппарата для реализации гравитационно-чувствительных процессов с использованием микрогравитационных платформ путем разработки методики проектирования.*

**Объектом исследования** является малый космический аппарат технологического назначения.

**Предметом исследования** является поле микроускорений внутри защищённой зоны микрогравитационной платформы.

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели необходимо решить следующие **основные задачи**.

1. Анализ проблемы реализации на борту КА гравитационно-чувствительных процессов.
2. Анализ проектного облика МКА ТН.

3. Анализ опыта применения микрогравитационных платформ для реализации гравитационно-чувствительных процессов.

4. Разработка концептуальной модели МКА ТН с микрогравитационной платформой.

5. Построение модели поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, установленной на МКА ТН.

6. Разработка методики проектирования МКА ТН.

7. Разработка проектного облика МКА ТН с применением микрогравитационной платформы и учётом требований по микроускорениям.

8. Проведение численного моделирования поля микроускорений микрогравитационной платформы.

При решении этих задач получены **результаты, обладающие научной новизной.**

1. На основе анализа движения МКА при реализации на его борту гравитационно-чувствительных процессов предложена концепция проектирования МКА ТН, позволяющая разрабатывать методики проектирования МКА ТН и отличающаяся от известных использованием микрогравитационной платформы для удовлетворения требований по микроускорениям.

2. На основе анализа движения МКА с учётом основных возмущающих факторов построена модель поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, установленной на МКА ТН, позволяющая оценивать величины микроускорений внутри защищённой зоны микрогравитационной платформы и отличающаяся от известных моделей учётом особенностей МКА по сравнению с КА других классов.

3. На основе предложенной концепции проектирования МКА ТН с применением известных методов проектирования и анализа построенной модели поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, установленной на МКА ТН, разработана методика проектирования, позволяющая создавать варианты проектного облика МКА ТН и отличающаяся от известных методик наиболее полным учетом специфики реализуемого гравитационно-чувствительного процесса.

4. На основе разработанной методики проектирования создан проектный облик МКА ТН, позволяющий удовлетворять требования по микроускорениям и отличающийся от известных возможностью реализации гравитационно-чувствительных процессов на борту МКА.

5. На основе предложенного проектного облика МКА ТН и построенных моделей проведено численное моделирование, результаты которого позволяют утверждать о возможности удовлетворения требований по микроускорениям на МКА и проведении на его борту гравитационно-чувствительных процессов.

**На защиту выносятся** следующие положения:

1. Методика проектирования МКА ТН;

2. Модель поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, установленной на МКА ТН;

3. Результаты численного моделирования поля микроускорений.

**Область исследования.** Основные положения диссертации соответствуют паспорту специальности научных работников 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов и охватывает направления исследования, предусмотренные паспортом:

п. 1 в части разработки математического и программно-алгоритмического обеспечения для выбора оптимальных облика и параметров МКА ТН;

п. 2 в части создания теоретической и методической баз, позволяющих обеспечить требуемые показатели качества по микроускорениям внутри защищённой зоны микрогравитационной платформы;

п. 5 в части разработки моделей и программного обеспечения для принятия оптимальных решений проектно-конструкторских задач при заданных ограничениях по микроускорениям;

п. 12 в части совершенствования эффективных способов применения МКА ТН для реализации гравитационно-чувствительных процессов с учётом требований по микроускорениям.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в построении концептуальной модели МКА ТН с микрогравитационной платформой и проведении её декомпозиции.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в разработке методики проектирования МКА ТН с микрогравитационной платформой, удовлетворяющего требованиям по микроускорениям и предназначенного для реализации гравитационно-чувствительных процессов.

**Методы исследования** включают в себя анализ источников, формулировку задач, математическое моделирование движения МКА с микрогравитационной платформой с учётом основных возмущающих факторов и сравнение результатов, полученных в вычислительном эксперименте, с данными натурных испытаний. Использование системного подхода при создании проектного облика МКА ТН и метода Парето при выборе проектных параметров МКА ТН. Математическое моделирование основывается на применении известных законов теоретической механики, теории колебаний, включая метод конечных элементов.

**Достоверность результатов**, полученных в диссертационной работе, достигается корректным применением известных методов проектирования, законов механики, теории колебаний, а также сравнением полученных результатов с экспериментальными данными и результатами других авторов.

**Результаты работы апробированы** на 31 международной и Всероссийской конференциях, опубликованы в 14 научных изданиях из перечня ВАК, в том числе по специальности 2.5.13 Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов – 8, а также 18 работ в ведущих мировых журналах, входящих в наукометрические базы Web of Science и Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Работа выполнена при поддержке** грантов министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта (соглашение № 075-15-2024-558 от 25.04.24) и госзадания (Проект FSSS-2023-0007).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** отмечена важность и актуальность разработки методики проектирования МКА ТН как темы диссертации. Проведен анализ степени разработанности темы с учетом накопленного опыта реализации гравитационно-чувствительных процессов в космических условиях. Сформулирована цель диссертационной работы и перечислены основные

задачи, решение которых обеспечивает её достижение. Выделены предмет и объект исследования, отмечены результаты, обладающие научной новизной, и положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен анализ требований по микроускорениям для реализации технологических экспериментов, проектного облика МКА ТН в контексте особенностей использования МКА для проведения на его борту гравитационно-чувствительных процессов. Рассмотрены перспективные проектные облики МКА ТН. Проанализированы требования к конструктивно-компоновочной схеме (ККС) и проектному облику системы управления движением (СУД) технологических космических аппаратов. Проведен обзор накопленного опыта реализации гравитационно-чувствительных процессов в космических условиях. На основе проведенного анализа и в соответствии с поставленной целью работы сформулированы и описаны задачи диссертации.

Во **второй главе** обсуждена идея микрогравитационных платформ с точки зрения их преимуществ и недостатков при использовании на МКА ТН с учетом принципов их работы. Проведен обзор результатов применения микрогравитационных платформ на КА различных классов. Сформулированы принципы проектирования микрогравитационных платформ на МКА ТН с учётом результатов их применения.

• *Принцип индивидуальности.*

Этот принцип заключается в максимально возможном учёте всех требований реализуемого гравитационно-чувствительного процесса путём использования всего спектра возможностей проектирования. В рамках этого принципа предполагается решение следующих задач:

- выбора технического облика МКА и микрогравитационной платформы;
- выбора их проектных параметров, включая параметры исполнительных органов (ИО) СУД МКА и управления платформой;
- компоновки платформы и технологического оборудования внутри МКА.

• *Принцип достижимости.*

Заключается в обеспечении конструктивными методами и алгоритмами управления требуемого уровня микроускорений. В рамках этого принципа предполагается решение следующих задач:

- компоновки обеспечивающей аппаратуры;
- выбора оптимальных режимов работы целевой и обеспечивающей аппаратуры;
- разработки алгоритмов управления ИО СУД МКА;
- разработки алгоритмов управления ИО системы контроля относительного движения подвижной части платформы.

• *Принцип контролируемости.*

Он заключается в обеспечении подтверждения достижимости требуемого уровня микроускорений с заданной точностью. В рамках этого принципа предполагается решение следующих задач:

- разработки концепции информационно-измерительной системы (ИИС);
- выбора количества и состав средств измерений;
- компоновки ИИС на МКА;
- разработки методологии обработки данных измерений, обеспечивающей заданную точность оценки микроускорений.

В **третьей главе** получены уравнения модели поля микроускорений. Для этого было разработано целевое и концептуальное описание МКА ТН с микрогравитационной платформой.

Проведена декомпозиция концептуальной модели МКА ТН:

- Построение концептуальной модели предметной области;
- Построение обобщенной концептуальной модели процессов;
- Построение концептуальных моделей контуров управления МКА ТН;
- Построение концептуальных моделей подсистем МКА ТН.

Проведено построение модели предметной области, включающее в себя рассмотрение трех типов микрогравитационных платформ (рисунок 1):

- а) на механическом принципе работы;
- б) автоматической поворотной платформы;
- в) на магнитном принципе работы.

Моделью предметной области будет являться модель поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, которая будет обеспечивать требуемые значения микроускорений.

Для построения модели поля микроускорений внутри защищённой зоны микрогравитационной платформы введен ряд упрощающих предположений.

- Контейнер с целевой аппаратурой закреплён на подвижной поверхности микрогравитационной платформы жёстко и не может перемещаться относительно неё.
- Перемещения подвижной части микрогравитационной платформы малы.
- Неподвижная часть микрогравитационной платформы жёстко прикреплена к корпусу КА.

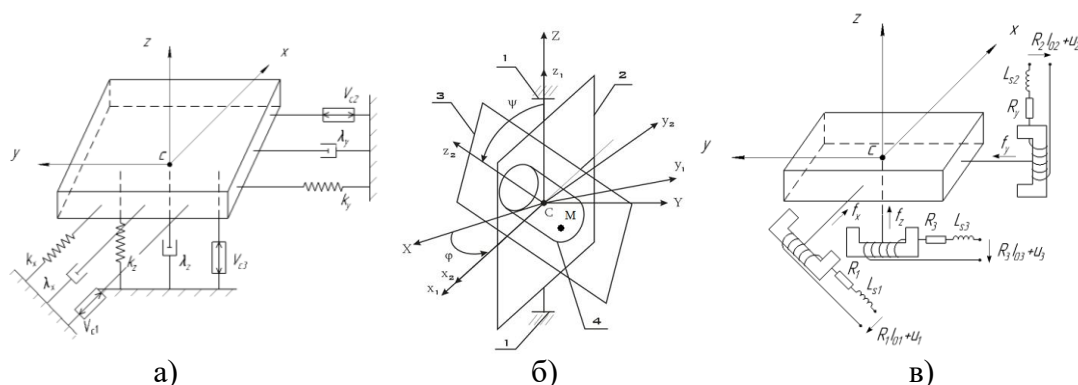


Рисунок 1 – Схемы микрогравитационных платформ:

а) на механическом принципе; б) поворотная; в) на магнитном принципе  
 Рассмотрена механическая микрогравитационная платформа (рисунок 1а).  
 Абсолютное ускорение центра масс подвижной части платформы (точки С) будет иметь вид:

$$\vec{w}_C = \vec{w}_C^r + \vec{w}_C^e + \vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_e \times \vec{r}_C + \vec{\varepsilon}_e \times \vec{r}_C + \vec{w}_C^K \quad (1)$$

где  $\vec{w}_C^r$  – относительное ускорение точки С относительно неподвижной части платформы;  $\vec{w}_C^e$  – переносное ускорение, связанное с поступательной частью движения основания платформы;  $\vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_e \times \vec{r}_C$  – переносное центростремительное ускорение;  $\vec{\varepsilon}_e \times \vec{r}_C$  – переносное вращательное ускорение;  $\vec{r}_C$  – радиус-вектор точки С относительно центра масс МКА;  $\vec{w}_C^K$  – ускорение Кориолиса.

Выражение (1) упрощается с учётом предположения о малости перемещения подвижной части платформы:

$$\vec{w}_C = \vec{w}_C^r + \vec{w}_C^e + \vec{\varepsilon}_e \times \vec{r}_C \quad (2)$$

Динамические уравнения Эйлера в главной связанной системе координат:

$$\begin{cases} I_{xx}^* \dot{\omega}_x + \dot{I}_{xx}^* \omega_x + \omega_y \omega_z (I_{zz}^* - I_{yy}^*) = M_x \\ I_{yy}^* \dot{\omega}_y + \dot{I}_{yy}^* \omega_y + \omega_x \omega_z (I_{xx}^* - I_{zz}^*) = M_y \\ I_{zz}^* \dot{\omega}_z + \dot{I}_{zz}^* \omega_z + \omega_x \omega_y (I_{yy}^* - I_{xx}^*) = M_z \end{cases} \quad (3)$$

В этом случае законы управления подвижной частью платформы должны обеспечивать соблюдение приближённого равенства:

$$\vec{\omega}_C^e + \vec{\varepsilon}_e \times \vec{r}_C \approx -\vec{\omega}_C^r \quad (4)$$

Тогда уравнение относительного движения центра масс подвижной части механической микрогравитационной платформы имеют вид:

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} + \lambda_x^* \dot{x} + k_x x = BV_{c1}; \\ m_0 \ddot{y} + \lambda_y^* \dot{y} + k_y y = BV_{c2}; \\ m_0 \ddot{z} + \lambda_z^* \dot{z} + k_z z = BV_{c3}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\vec{\omega}_C^r(\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z})$  – относительное ускорение точки  $C$  и его компоненты в системе координат, показанной на рисунке 3, относительно неподвижной части платформы;  $B = A/R$ ;  $\lambda_i^* = AB/R + \lambda_i$  ( $i = x, y, z$ );  $V_{cj}$  – управляющие напряжения по различным контурам электродинамического привода ( $j=1,2,3$ ) (рисунок 1а).

Выполнение приближённого равенства (4) в этом случае сводится к выбору жесткостей пружин  $k_i$ , коэффициентов демпфирующих устройств  $\lambda_i$ , а также разработке законов изменения управляющих напряжений контуров  $V_{ci}$ .

Абсолютное ускорение точки  $M$  внутренней среды автоматической поворотной платформы (рисунок 1б) в некоторой неподвижной системе координат:

$$\vec{\omega}_M = \vec{\omega}_C + (\vec{\varepsilon}_e + \vec{\varepsilon}_r) \times \vec{r}_M + (\vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_r) \times \vec{r}_M + (\vec{\omega}_e + \vec{\omega}_r) \times (\vec{\omega}_e + \vec{\omega}_r) \times \vec{r}_M, \quad (6)$$

где  $\vec{\omega}_e$  и  $\vec{\varepsilon}_e$  – соответственно векторы угловой скорости и углового ускорения МКА (переносное вращение);  $\vec{\omega}_r$  и  $\vec{\varepsilon}_r$  – соответственно векторы угловой скорости и углового ускорения вращения технологического оборудования относительно МКА (относительное вращение);  $\vec{r}_M$  – радиус-вектор точки  $M$  относительно центра масс  $C$ .

В этом случае динамические уравнения Эйлера в главной связанной системе координат МКА можно разделить на две системы. Первая система будет описывать переносное вращение под действием внешних моментов:

$$\begin{cases} I_{xx}^* \varepsilon_{ex} + \dot{I}_{xx}^* \omega_{ex} + \omega_{ey} \omega_{ez} (I_{zz}^* - I_{yy}^*) = M_x^e \\ I_{yy}^* \varepsilon_{ey} + \dot{I}_{yy}^* \omega_{ey} + \omega_{ex} \omega_{ez} (I_{xx}^* - I_{zz}^*) = M_y^e, \\ I_{zz}^* \varepsilon_{ez} + \dot{I}_{zz}^* \omega_{ez} + \omega_{ex} \omega_{ey} (I_{yy}^* - I_{xx}^*) = M_z^e \end{cases} \quad (7)$$

где  $\vec{M}^e(M_x^e, M_y^e, M_z^e)$  – вектор внешних по отношению к микрогравитационной платформе возмущающих моментов, исключая управляющий момент внутренней рамки платформы.

Вторая система определяет относительное вращение под действием моментов управления:

$$\begin{cases} I_{xx}^* \varepsilon_{rx} + \dot{I}_{xx}^* \omega_{rx} + (\omega_{ey} \omega_{rz} + \omega_{ry} \omega_{ez} + \omega_{ry} \omega_{rz}) (I_{zz}^* - I_{yy}^*) = M_x^c \\ I_{yy}^* \varepsilon_{ry} + \dot{I}_{yy}^* \omega_{ry} + (\omega_{ex} \omega_{rz} + \omega_{rx} \omega_{ez} + \omega_{rx} \omega_{rz}) (I_{xx}^* - I_{zz}^*) = M_y^c, \\ I_{zz}^* \varepsilon_{rz} + \dot{I}_{zz}^* \omega_{rz} + (\omega_{ex} \omega_{ry} + \omega_{rx} \omega_{ey} + \omega_{rx} \omega_{ry}) (I_{yy}^* - I_{xx}^*) = M_z^c \end{cases} \quad (8)$$

где  $\vec{M}^c(M_x^c, M_y^c, M_z^c)$  – вектор управляющего момента внутренней рамки

платформы.

В этом случае законы управления подвижной частью платформы должны обеспечивать соблюдение приближённого равенства:

$$(\vec{\varepsilon}_e + \vec{\varepsilon}_r) \times \vec{r}_M + (\vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_r) \times \vec{r}_M + (\vec{\omega}_e + \vec{\omega}_r) \times (\vec{\omega}_e + \vec{\omega}_r) \times \vec{r}_M \approx 0. \quad (9)$$

При выполнении (9) с учётом (6) будет справедливо:

$$\vec{\omega}_M \approx \vec{\omega}_C. \quad (10)$$

Таким образом, автоматическая поворотная платформа не снижает микроускорения от поступательной части движения МКА.

Третьей была рассмотрена микрогравитационная платформа на магнитном принципе работы. Для поступательного движения центра масс подвижной части микрогравитационной платформы (рисунок 1в) имеем уравнения относительного движения:

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} = f_x; \\ m_0 \ddot{y} = f_y; \\ m_0 \ddot{z} = f_z \end{cases} \quad (11)$$

$f_x, f_y, f_z$  – проекции динамической части магнитной силы, действующей на подвижную часть платформы (рисунок 1в).

Где производная правой части (11), будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{df_x}{dt} = -f_x \frac{R_1}{L_{01}} + \frac{L_{01} - L_{s1}}{m_0} \left( \frac{I_{01}}{x_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{L_{01} - L_{s1}}{L_{01}} \right) \dot{x} + \frac{L_{01} - L_{s1}}{m_0} \frac{R_1}{L_{01}} \left( \frac{I_{01}}{x_0} \right)^2 x - \frac{L_{01} - L_{s1}}{m_0} \frac{I_{01}}{L_{01} x_0} u_1; \\ \frac{df_y}{dt} = -f_y \frac{R_2}{L_{02}} + \frac{L_{02} - L_{s2}}{m_0} \left( \frac{I_{02}}{y_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{L_{02} - L_{s2}}{L_{02}} \right) \dot{y} + \frac{L_{02} - L_{s2}}{m_0} \frac{R_2}{L_{02}} \left( \frac{I_{02}}{y_0} \right)^2 y - \frac{L_{02} - L_{s2}}{m_0} \frac{I_{02}}{L_{02} y_0} u_2; \\ \frac{df_z}{dt} = -f_z \frac{R_3}{L_{03}} + \frac{L_{03} - L_{s3}}{m_0} \left( \frac{I_{03}}{z_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{L_{03} - L_{s3}}{L_{03}} \right) \dot{z} + \frac{L_{03} - L_{s3}}{m_0} \frac{R_3}{L_{03}} \left( \frac{I_{03}}{z_0} \right)^2 z - \frac{L_{03} - L_{s3}}{m_0} \frac{I_{03}}{L_{03} z_0} u_3. \end{cases} \quad (12)$$

В этом случае задачей обеспечения требуемого уровня микроускорений и ограничений на положение подвижной части платформы относительно неподвижной является разработка законов управления возмущениями напряжений  $u_i = u_i(t)$  таких, чтобы путём влияния на параметры относительного движения соблюдалось приближённое равенство:

$$\vec{w}_r \approx 0. \quad (13)$$

На основании полученных моделей поля микроускорений и наложенных ограничений на них в завершении построения концептуальной модели предметной области, исходя из задач использования МКА ТН, условий его работы в околоземном космическом пространстве и сформулированных принципов проектирования с выделением совокупности значимых факторов, обуславливающих проектный облик МКА ТН, сформулированы этапы проектирования рассмотренных микрогравитационных платформ.

**Четвёртая глава** посвящена разработке методики проектирования и созданию на её основе проектного облика МКА ТН с микрогравитационной платформой. Проанализирована структура основных процессов, обеспечивающих решение целевых задач МКА ТН, и построена обобщенная концептуальная модель этих процессов. Концептуальная модель процессов позволила выделить контуры управления. Контур управления реализацией гравитационно-чувствительного процесса моделируется при проектировании технологического оборудования и включает в себя переключение режимов его работы, изменение параметров состояния реализуемого процесса в зависимости от его специфики. С точки

зрения проектирования МКА ТН эффективное функционирование этого контура управления означает выполнение требований по энергопотреблению, компоновке оборудования, а также ограничений по микроускорениям.

В контексте структуры основных процессов, обеспечивающих решение целевых задач МКА ТН, и структурной схемы контуров управления этими процессами предложена концептуальная модель подсистем МКА ТН.

Используя разработанную концепцию проектирования, проанализированы различные подходы к созданию МКА ТН. В рамках первого подхода предполагается использование существующих наработок с незначительными изменениями, касающимися специфики реализуемого гравитационно-чувствительного процесса. Второй подход является противоположным первому и заключается в создании полностью нового МКА. Третий подход является компромиссным и основывается на том, что часть систем МКА проектируется заново, а часть берется в качестве готовых решений.

Затем проводилась оценка проектных параметров МКА ТН. Для этой цели использовалась многокритериальная оптимизация с двумя критериями оптимальности: минимум массы; максимум энерговооруженности.

При получении нескольких оптимальных решений в качестве дополнительного ограничения выступает модуль микроускорений, создаваемый при управлении движением МКА.

В рамках диссертационной работы была сформулирована проектная задача. *Необходимо подобрать такой проектный облик МКА ТН из множества проектных вариантов, при котором достигается минимум массы МКА ТН при достаточной электрической мощности, вырабатываемой ПСБ.*

$$\begin{cases} M(X^*) = \min_{\forall X \in \Omega} M(X) \\ N(X^*) = \max_{\forall X \in \Omega} N(X) \end{cases}, \quad (14)$$

где  $\Omega$  – область допустимых значений;  $X$  – множество проектных параметров;  $M(X)$ ,  $N(X)$  – целевые функции массы и энерговооруженности соответственно.

Для решения поставленной многокритериальной задачи оптимизации ей необходимо было придать однокритериальный вид. Минимум массы МКА принимается приоритетным критерием, а критерий по энерговооруженности заменяется субъективным ограничением. Имеем:

$$F(X^*) = \min_{\forall X \in \Omega} M(X), \quad (15)$$

В (15)  $\Omega$  определяется множеством проектных параметров, включая ограничения:

$$X = \left\{ \cos \hat{\alpha}_{cp} (\cos \alpha_{cp}), \hat{M} (M_{сЭП} + M_{ДУ}), N_{cp}, |\bar{w}| \right\},$$

$$\Omega = \left\{ \begin{array}{l} 0,65 \leq \cos \alpha_{cp} \leq 0,9; \\ M_{сЭП} + M_{ДУ} \leq M_{МКА}; \\ N_{cp} \geq N_{\min}; \\ 1 \text{ кг} \leq M_{МКА} \leq 1000 \text{ кг}; \\ |\bar{w}| \leq |\bar{w}|_{\max} \end{array} \right\} \quad (16)$$

В (16) отражены ограничения, накладываемые на  $\cos \alpha_{cp}$  – косинус допустимого угла между нормалью к ПСБ и направлением на Солнце; суммарную массу системы электропитания и ДУ;  $N_{cp}$  – средневитковую электрическую

мощность;  $N_{\min}$  – минимальное значение средневитковой мощности, необходимое для штатного функционирования МКА ТН;  $M_{МКА}$  – массу МКА;  $|\vec{w}|$  – модуль вектора микроускорений.

Выбранные для оптимизации параметры достаточны на этапе проектирования МКА ТН и отражают необходимые характеристики для дальнейшего численного моделирования поля микроускорений. Особенностью МКА ТН является выполнение требований по микроускорениям, которые определяются гравитационно-чувствительными процессами. Это используется как дополнительное условие при оптимизации.

Для минимизации массы МКА целевой функцией является его общая масса:

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 \rightarrow \min, \quad (17)$$

где  $m_0$  – общая масса МКА;  $m_1$  – масса целевой аппаратуры;  $m_2$  – масса корпуса МКА;  $m_3$  – масса ПСБ МКА;  $m_4$  – масса СУД;  $m_5$  – масса обеспечивающей аппаратуры.

Ряд параметров (17) является постоянным. В рамках данной диссертационной работы не оптимизируются массы целевой аппаратуры, корпуса МКА и обеспечивающей аппаратуры, поэтому:

$$m_1, m_2, m_5 = \text{const}. \quad (18)$$

Варьируемыми параметрами являются  $m_3$  и  $m_4$ . Они зависят от суммарного времени работы ДУ и максимально допустимого угла между нормалью к ПСБ и направлением на Солнце.

Таким образом (17) с учётом (18) преобразуется к виду:

$$m_3 + m_4 \rightarrow \min, \quad (19)$$

Кроме минимизации массы было необходимо выполнить требование энерговооруженности. С учетом этого критерия (19) примет вид:

$$m_3 + m_4 \rightarrow \min_{N_{cp} \geq N_{\min}}, \quad (20)$$

Для расчёта проектных параметров солнечных и аккумуляторных батарей использовались данные электрической мощности и времени работы приборов на одном витке (за период  $T$ ).

$$N_{cp} \cdot T = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot \Delta t_i), \quad (21)$$

где  $n$  – количество приборов;  $N_i$  – мощность  $i$ -го прибора;  $\Delta t_i$  – время работы  $i$ -го прибора за один виток.

Для проектируемого МКА ТН предполагается в качестве готовых проектных решений использование оборудования, которое не связано с выполнением требований по микроускорениям и было установлено на МКА «Аист-2Д». Площадь и масса ПСБ определялась по следующим формулам:

$$S_{сб} = \frac{N_{cp}}{N_{сб}^{y\delta} \cdot \cos \alpha_{cp}}, \quad (22)$$

где  $S_{сб}$  – площадь ПСБ;  $N_{сб}^{y\delta}$  – удельная мощность ПСБ.

$$M_{сб} = N_{сб}^{y\delta} \cdot S_{сб} \cdot M_{сб}^{y\delta}, \quad (23)$$

где  $M_{сб}$  – масса ПСБ;  $M_{сб}^{y\delta}$  – удельная масса ПСБ.

Учитывая нахождение в тени, рассчитывалась также ёмкость и масса аккумуляторных батарей:

$$C_{аб} = \frac{E_{тени}}{U_{аб} \cdot 3600}, \quad (24)$$

где  $E_{тени}$  – суммарная энергия, потребляемая приборами на теневом участке орбиты;  $C_{аб}$  – ёмкость аккумуляторных батарей;  $U_{аб}$  – разность потенциалов бортовой цепи.

$$M_{аб} = M_{аб}^{уд} \cdot C_{аб}, \quad (25)$$

где  $M_{аб}$  – масса аккумуляторной батареи;  $M_{аб}^{уд}$  – удельная масса аккумуляторной батареи.

Поскольку в рамках разрабатываемого проектного облика МКА ТН предполагается разгружать основные исполнительные органы СУД с помощью ЭТМД, то для определения массы рабочего тела учитывалось различное время работы двигателей при разгрузке КУДМ и вариативность потребляемой мощности нагревательными элементами. Численные расчёты по формулам (21) – (25) позволили получить взаимосвязь потребляемой аппаратурой мощности и массы МКА ТН.

По данным расчетам было составлено поле вариантов МКА для параметров масса-энерговооруженность и проведена безусловная оптимизация. Далее отсеивались варианты, не удовлетворяющие ограничению  $N_{ср} \geq N_{min}$ , представленному в критерии (20) и получено Парето-оптимальное множество вариантов для проектируемого МКА ТН, которое представлено на рисунке 2.

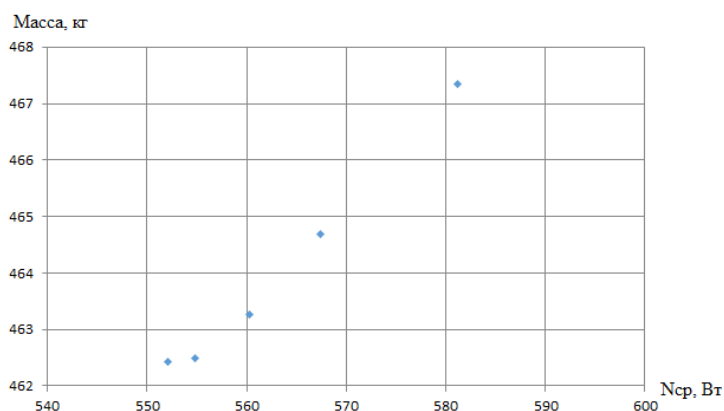


Рисунок 2 – Парето-оптимальное множество вариантов для проектируемого МКА ТН в рамках безусловной оптимизации

Для проведения условной оптимизации было необходимо учитывать микроускорения, создаваемые работой ЭТМД при разгрузке КУДМ так, чтобы их модуль, возникающий во внутренней среде МКА в зоне размещения технологического оборудования, был наименьшим в течение всего периода проведения гравитационно-чувствительного процесса.

На основе концепции проектирования в работе была предложена методика проектирования МКА ТН с микрогравитационной платформой с учетом требований по микроускорениям.

Методика состоит из следующих основных пунктов:

1. На основе требований по микроускорениям и массо-габаритным параметрам целевой аппаратуры подбирается тип и проектные параметры платформы.
2. Исходя из целевой задачи, определяется базовая платформа МКА и состав бортовой аппаратуры и выделяется та её часть, которая подлежит проектированию с учётом особенностей реализуемого гравитационно-чувствительного процесса.
3. На основе подобранной аппаратуры проводится оптимизация масса-энерговооруженность с учетом дополнительных ограничений по

микроускорениям. По проведенной оптимизации осуществляется выбор основных проектных параметров МКА.

4. На основе выбранных проектных параметров и минимизации микроускорений от внутренних возмущающих факторов формируется ККС МКА ТН.

5. На основе ККС формируется проектный облик МКА ТН и его твердотельная модель.

Разработанная методика позволяет учесть основные особенности реализуемого гравитационно-чувствительного процесса с помощью различных конструктивных решений, что повышает эффективность выполнения целевой задачи МКА ТН, а также расширяет область возможного применения космической техники, в частности МКА, для нужд космического материаловедения. Она отличается от известных методик учетом основных особенностей реализуемого на его борту гравитационно-чувствительного процесса.

В качестве примера реализации предложенной методики создан проектный облик МКА ТН с целевой аппаратурой «Ростовая установка», закрепленной на автоматической поворотной виброзащитной платформе «Флюгер».

Первым этапом методики является выбор типа микрогравитационной платформы, исходя из анализа требований к микроускорениям реализуемого гравитационно-чувствительного процесса, а также массо-габаритных параметров целевой аппаратуры.

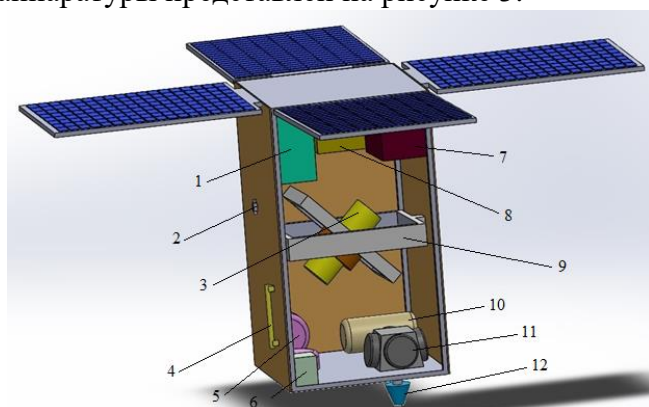
На втором этапе был выбран МКА типа «Аист-2Д» в качестве базы для проектируемого МКА ТН. Готовыми проектными решениями предлагается воспользоваться для унифицированной бортовой аппаратуры, которая была использована на МКА «Аист-2Д».

На третьем этапе осуществляется подбор проектных параметров МКА на основе проведения оптимизации и построения Парето-оптимального множества вариантов МКА технологического назначения.

На четвертом этапе, осуществляется формирование ККС МКА технологического назначения на базе МКА «АИСТ-2Д».

На заключительном этапе происходит формирование проектного облика МКА ТН и его твердотельной модели с учетом проведенных исследований на предыдущих этапах.

Пример компоновки МКА технологического назначения на базе МКА «АИСТ-2Д» с Ростовской установкой на платформе «Флюгер» в качестве целевой аппаратуры представлен на рисунке 3.



1 – БСКУ; 2 – ЭТМД; 3 –  
Научная аппаратура «Ростовая  
установка»; 4 – Антенное  
приемное устройство БСКУ; 5  
– Двигатель маховик; 6 –  
Аккумуляторная батарея; 7 –  
УМВС; 8 – БАКУР; 9 – АПВП  
«Флюгер»; 10 – Топливный  
бак; 11 – ОИУС;  
12 – Антенное передающее  
устройство БСКУ.

Рисунок 3 – Проектный облик МКА ТН, созданный на основе разработанной методики проектирования

В пятой главе проведено численное моделирование поля микроускорений в рабочей зоне технологического оборудования для созданного проектного облика. Сформирован оптимальный с точки зрения минимума микроускорений закон управления подвижной частью автоматической поворотной платформы. В качестве примера на рисунке 4 представлены зависимости компонентов управляющего момента подвижной частью автоматической поворотной платформы. При этом были использованы измерения параметров вращательного движения МКА «Аист-2Д» (момент времени  $t=0$  соответствует 15:17:14 Московского времени 31.07.2016).

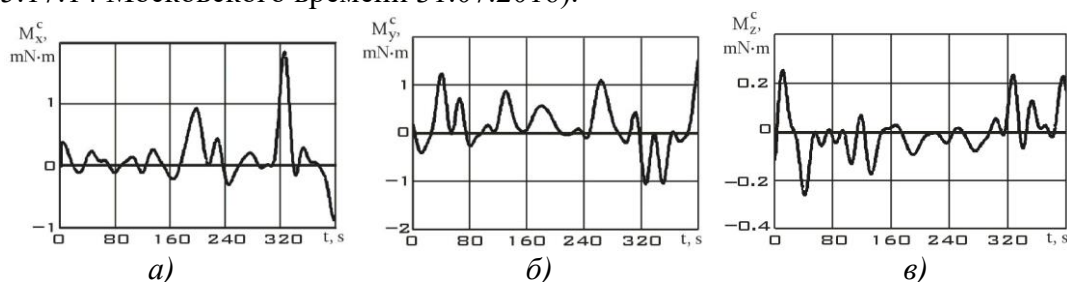


Рисунок 4 – Зависимости компонентов управляющего момента в системе координат, жёстко связанной с внутренней рамкой поворотной платформы. Проведено исследование точности результатов численного моделирования с использованием измерений, выполненных на борту МКА «Аист-2Д». Разница между моделируемыми и измеренными микроускорениями представлена на рисунке 5.

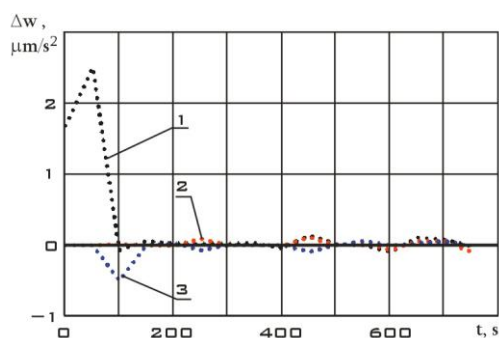


Рисунок 5 – Разность между измеренными и рассчитанными по модели значениями микроускорений: 1 –  $\Delta w_x$ ; 2 –  $\Delta w_y$ ; 3 –  $\Delta w_z$ . Как видно из представленных рисунков, наблюдается хорошая сходимость результатов.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведённые в диссертационной работе исследования позволили получить следующие результаты, обладающие научной новизной.

- 1 Предложена концепция проектирования МКА ТН, позволяющая разрабатывать проектный облик МКА ТН и отличающаяся от известных использованием микрогравитационной платформы для удовлетворения требований по микроускорениям.
- 2 Построена модель поля микроускорений внутренней среды микрогравитационной платформы, установленной на МКА ТН, позволяющая оценивать величины микроускорений внутри защищённой зоны микрогравитационной платформы и отличающаяся от известных моделей учётом особенностей концепции проектирования МКА ТН.
- 3 Разработана методика проектирования, позволяющая создавать проектный

облик МКА ТН и отличающаяся от известных методик максимальным учетом специфики реализуемого гравитационно-чувствительного процесса.

4 Создан проектный облик МКА ТН, позволяющий удовлетворять требования по микроускорениям и отличающийся от известных возможностью реализации гравитационно-чувствительных процессов на борту МКА.

5 Проведено численное моделирование, результаты которого позволяют утверждать о возможности удовлетворения требований по микроускорения на МКА и проведении на его борту гравитационно-чувствительных процессов.

Таким образом, решённая в представленной работе задача реализации гравитационно-чувствительных процессов на борту МКА ТН обеспечивает повышение эффективности использования и расширение допустимых областей применения космической техники для нужд космических технологий. Рекомендуются использование разработанной методики проектирования МКА ТН для создания перспективных образцов космической техники.

**Дальнейшая разработка** этой тематики может быть направлена на:

- 1) разработку эффективных законов управления подвижной частью микрогравитационной платформы с целью максимального снижения микроускорений во внутренней среде технологического оборудования;
- 2) разработку эффективных законов управления движением МКА с целью повышения возможностей микрогравитационной платформы путём максимального снижения микроускорений во всей внутренней среде МКА;
- 3) проектирование микрогравитационных платформ нового поколения с целью обеспечения широкого применения МКА ТН в области космических технологий для реализации гравитационно-чувствительных процессов.

Таким образом, в работе достигнута поставленная цель и полностью решены все поставленные задачи, обеспечивающие достижение этой цели.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**ВАК по специальности:**

1. Аншаков Г. П., Белоусов А. И., Седельников А. В., **Горожанкина А. С.** Оценка эффективности использования электротермических микродвигателей в системе управления движением космического аппарата технологического назначения // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2018. – № 3. – С. 28-34.
2. Седельников А.В., **Танеева А.С.**, Орлов Д.И., Формирование проектного облика малого космического аппарата технологического назначения на основе опыта проектирования и эксплуатации космических аппаратов технологического назначения других классов // Вестник Московского авиационного института. – 2020. – Т. 27. № 3. – С. 84-93.
3. Седельников А. В., Еськина Е. В., **Танеева, А. С.** Хнырева Е. С., Матвеева Е. С., Проблема обеспечения требований по микроускорениям на борту МКА // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2022. – Т. 6. № 2. – С. 90-98.
4. Седельников А.В., **Танеева А.С.** Моделирование поля микроускорений в защищённой зоне виброзащитных устройств для реализации гравитационно-чувствительных процессов на борту малого космического аппарата технологического назначения // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2023. – Т. 7. № 2. – С. 65-72.
5. Седельников А.В., **Танеева А.С.**, Чугунков Е.В. и др. Оценка угловой скорости вращения малого космического аппарата «АИСТ-2Д» по данным измерений вектора индукции магнитного поля Земли // Авиакосмическое приборостроение. – 2023. – № 5. – С. 14-20.
6. Седельников А.В., **Танеева А.С.** Концептуальная модель малого космического аппарата технологического назначения // Вестник Московского авиационного института. – 2024. – Т. 31. № 2. – С. 44-55.
7. Седельников А.В., **Танеева А.С.** Методика проектирования малого космического аппарата технологического назначения // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2024. – Т. 8. № 4. – С. 73-79.

8. Седельников А.В., Макк Д.Ю., **Танеева А.С.** Повышение эффективности отделения космических аппаратов от ракеты-носителя // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2025. – № 5. – С. 3-15.

#### **Scopus/WoS:**

1. Sedelnikov A., Salmin V., Lazarev Y., Orlov D., **Taneeva A.**, Compensating Microaccelerations from a Temperature Shock // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – 2022. – P. 291-300.
2. Volotsuev V.V., **Taneeva A.S.** Use of an Electric-Reactive Engine in the Mode of Discrete Activations to Support the Working Orbit of a Small Spacecraft for Remote Earth Sensing // *Advances in Transdisciplinary Engineering*. – 2023. – Vol. 40. – P. 904-912.
3. Sedelnikov A.V., Eskina E.V., **Taneeva A.S.** etc. The problem of ensuring and controlling microaccelerations in the internal environment of a small technological spacecraft // *Journal of Current Science and Technology*. – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 1-11.
4. Sedelnikov A., Skidanov R., **Taneeva A.** etc. Investigation of the Applicability of the Boer Formula for Estimating the Angular Velocity of Rotation Of a Small Spacecraft by Measuring the Components of The Induction Vector of the Earth's Magnetic Field in Evaluating Micro-Accelerations and Forming Control Laws // *Microgravity Science and Technology 2024*. – Vol. 36, № 6.
5. Sedelnikov A.V., **Taneeva A.S.**, Manukyan L.A. Estimation of the microaccelerations on an automatic rotary vibration isolation device // *Space: Science & Technology*. – 2025. – Vol. 5. – 0292.

#### **ВАК прочие:**

1. Седельников А.В., Филиппов А.С., **Горожанкина А.С.**, Проблемы обработки данных магнитного поля Земли средствами измерений научной аппаратуры “МАГКОМ” // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2017, № 7, С. 33-40.
2. Седельников А.В., Пузин Ю.Я., Филиппов А.С., Хнырева Е.С., Ивашова Т.А., **Горожанкина А.С.** Тест проверки корректности работы магнитометров на лётном образце малого космического аппарата “Аист” // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2018, № 2, С. 34-39.
3. Седельников А.В., **Танеева А.С.**, Сердакова В.В., Николаева А.С., Браткова М.Е., Исследование возмущающего воздействия на малый космический аппарат «Аист» по данным измерений магнитного поля Земли // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2022. – № 4. – С. 5-10.
4. Седельников А.В., Чугунков Е.В., **Танеева А.С.** и др. Моделирование управления движением космического аппарата на участке построения солнечной ориентации на основе измерительных данных // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2023. – № 12. – С. 1-7.

#### **Материалы конференций:**

1. **Горожанкина А.С.**, Филиппов А.С., Седельников А.В., О принципе контроля микроускорений на малом космическом аппарате // *Международная молодежная научная конференция «XIV Королёвские чтения»*. – 2017. – С. 20.
2. Аншаков Г. П., Белоусов А. И., Седельников А. В., **Горожанкина А. С.** Оценка эффективности использования электротермических микродвигателей в системе управления движением космического аппарата технологического назначения // *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. – 2018. – № 3. – С. 28-34.
3. Sedelnikov A.V., Filippov A.S., **Gorozhankina A.S.**, Evaluation of calibration accuracy of magnetometer sensors of Aist small spacecraft // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 1015, № 3.
4. Белоусов А. И., Седельников А. В., **Горожанкина А. С.** Моделирование работы системы управления движением малых космических аппаратов с электротермическим микродвигателем // *Сборник трудов ИТНТ-2019*. – Самара: Новая техника. – 2019. – С. 390-395.
5. Anshakov G.P., Belousov A. I., Sedelnikov A.V., **Gorozhankina A.S.**, The micrometeoroid influence estimate on the microaccelerations level onboard small spacecraft // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1210, № 1.
6. Belousov A. I., Sedelnikov A.V., **Gorozhankina A.S.**, The simulation results of the operation of a small spacecraft motion control system with an electrothermal microdrive // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1368, № 4.
7. **Gorozhankina A.S.**, Orlov D.I., Belousova D.A., Problems of development motion control algorithms for a small spacecraft for technological purpose taking into account temperature deformations of solar panels // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1546, № 1.
8. **Танеева А.С.** Принципы проектирования системы управления движением малого космического аппарата с учетом требований по микро-ускорениям // *Международная молодежная научная конференция «XVI Королёвские чтения»*. – 2021. – Т. 1. – С. 26.
9. **Taneeva A.S.**, The formation of the target function in the design of a small spacecraft for

technological purposes // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1901, № 1.

10. **Танеева А.С.** Моделирование проектных параметров электротермического микродвигателя по результатам его испытаний // XXII Научно-техническая конференция ученых и специалистов. – 2021. – С. 158-160.

11. Anshakov G.P., Belousov A. I., Sedelnikov A.V., **Taneeva, A.S.**, Analysis of micro-acceleration requirements in the context of designing a small technological spacecraft // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1791, № 1.

12. **Taneeva A.S.**, Lukuanchik V.V., Khnyryova E.S., Modeling the dependence of the specific impulse on the temperature of the heater of an electrothermal micro-motor based on the results of its tests // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2096, № 1.

13. Sedelnikov A.V., **Taneeva A.S.**, Khnyryova E.S., Kamaletdinova M.V., Martynova E.D., Investigation of the rotational motion stability of the aist small spacecraft prototype according to the measurements of the earth's magnetic field // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1901, № 1.

14. Седельников А.В., Еськина Е.В., **Танеева А.С.** и др. Проблема обеспечения требований по микроускорениям на борту МКА // XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли». – 2022. – С. 133-135.

15. Sedelnikov A.V., **Taneeva A.S.**, Dynamic characteristics modeling of rotary platform installed on board of a small spacecraft // OMF-2021. – 2022. – Vol. 2182, № 1.

16. Седельников А.В., **Танеева А.С.** Концепция проектирования малого космического аппарата технологического назначения // XXV Всероссийский семинар по управлению движением и навигации летательных аппаратов. – 2022. – С. 94-97.

17. Волоцуев В.В., **Танеева А.С.** Системы коррекции низкой орбиты малого космического аппарата дистанционного зондирования Земли // VII Международная научно-техническая конференция "Проблемы машиноведения". – 2023. – С. 74-75.

18. **Taneeva A.S.** Analysis of the requirements for microaccelerations and the design appearance of a small spacecraft for technological purposes // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 458.

19. **Танеева А.С.**, Ши Л., Седельников А.В. Использование микрогравитационных платформ для космических технологий // Всероссийская молодёжная научная конференция с международным участием «XVII Королёвские чтения». – 2023. – Т. 1. – С. 45-45.

20. Орлов Д.И., **Танеева А.С.**, Хнырева Е.С. и др. Разработка алгоритма разгрузки двигателя-маховика с использованием магнитных исполнительных органов // IX Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2023). – 2023. – Т. 2. – 023282.

21. **Танеева А.С.**, Седельников А.В. Концептуальная модель микрогравитационной платформы, установленной на борту малого космического аппарата технологического назначения // XIV Международная молодёжная научно-практическая конференция с элементами научной школы "Прикладная математика и фундаментальная информатика". – 2024. – С. 53-55.

22. **Taneeva A.S.**, Bratkova M.E., Maslova U.V., Model of a microgravity platform based on the mechanical principle of operation // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 531. – 01009.

23. Волоцуев В.В., Пересыпкин К.В., **Танеева А.С.** Исследование проектных параметров телескопического комплекса для сверхнизкоорбитального космического аппарата наблюдения со сверхвысоким пространственным разрешением // 23-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». – 2024. – С. 185.

24. Peresyupkin K.V., Volotsuev V.V., **Taneeva A.S.** Investigation of the parameters of a power truss for fixing mirrors in a telescopic complex for an ultra-low-orbit spacecraft // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 592.

#### **Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:**

1 Свид. № 2023684025 Программа для исследования концентрации напряжений в композитной пластине в результате кромочного эффекта в пакете ANSYS / Скворцов Ю.В., Глушков С.В., Седельников А.В., Евтушенко М.А., **Танеева А.С.**, Хнырева Е.С., заявл. 27.10.2023, опубл. 13.11.2023.

2 Свид. № 2024680706 Программа для исследования прогиба многослойной пластины при температурном ударе в пакете ANSYS с учетом колебаний / Седельников А.В., Глушков С.В., Евтушенко М.А., Скворцов Ю.В., **Танеева А.С.**, Николаева А.С., заявл. 14.08.2024, опубл. 02.09.2024.