

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки Приборостроение  
Профиль Системы ориентации, стабилизации и навигации  
Кафедра точного приборостроения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Гравитационная система ориентации малого космического аппарата с двигателем-маховиком</b>

УДК 629.782.05-022.51:531.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Костюченко Т.Г.	К. Т. Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Николаенко В.С.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ.	Мезенцева И.Л.	ассистент		

По разделу «Вопросы технологии»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гормаков А. Н.	К. Т. Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Точное приборостроение	Бориков Валерий Николаевич	Д. Т. Н.,		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	<b>Способность</b> совершенствовать и повышать свои специальные знания в области математических, физических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;
P2	<b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.
P3	<b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P4	<b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты инженерной деятельности в областях контроля деформации измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.
P5	<b>Умение</b> использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя макеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении.
P6	<b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и социальную ответственность.
P7	<b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.

P8	<b>Умение</b> разрабатывать результаты исследований по анализу; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности.
P9	<b>Умение</b> организовывать современное обеспечение технологических процессов производства приборных систем; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.
P10	<b>Способность</b> проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.
P11	<b>Способность</b> формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего Контроля  
Направление подготовки Приборостроение  
Профиль Системы ориентации, стабилизации и навигации  
Кафедра Точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Бори́ков В. Н.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович

Тема работы:

Гравитационная система ориентации малого космического аппарата с двигателем-маховиком	
Утверждена приказом директора	№ 643/с от 03.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является гравитационная система ориентации малого космического аппарата (спутника). Цель исследования – создание гравитационной системы ориентации для студенческого МКА ТПУ. Ожидаемые результаты: будут рассмотрены типы систем ориентации малых космических аппаратов, проведены необходимые расчеты, проработана на компоновочном уровне конструкция МКА, спроектирована гравитационная система ориентации студенческого МКА ТПУ.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Особенности пассивных систем стабилизации;</li><li>2. Принцип работы гравитационной системы стабилизации;</li><li>3. Вывод космического аппарата на солнечно-синхронную орбиту;</li><li>4. Состав служебных систем аппаратуры на борту малого космического аппарата;</li><li>5. Конструкция МКА на компоновочном уровне;</li><li>6. Установка служебных систем на борту МКА;</li><li>7. Подготовка МКА к транспортировке на орбиту;</li><li>8. Перевод МКА из транспортного положения в рабочий режим;</li><li>9. Конструкция гравитационной штанги;</li><li>10. Конструкция барабана;</li><li>11. Установка гравитационной системы ориентации на МКА.</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b>	- Презентация PowerPoint; - Две анимации перевода МКА из транспортного положения в рабочий режим;
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич, ассистент
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, ассистент
Технология	Гормаков Анатолий Николаевич, к.т.н., доцент
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
7. Малый космический аппарат. 7. Small satellite	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Костюченко Т.Г.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович

Институт	ИНК	Кафедра	Точное приборостроение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

<b>Исходные данные к разделу «Вопрос конструирования и технологии»:</b>	
1. Объект разработки и области его применения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Объектом исследования является пассивная гравитационная система ориентации (ГСО).</li> <li>- Область применения: космическое приборостроение, малые космические аппараты</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка технологичности конструкции гравитационной системы ориентации и стабилизации.</li> <li>2. Оценка барабана на технологичность;</li> <li>3. Оценка технологичности лент гравитационной штанги;</li> <li>4. Технологический процесс сборки конструкции гравитационной системы ориентации;</li> <li>5. Технологический процесс изготовления лент гравитационной штанги;</li> <li>6. Технологический процесс изготовления барабана.</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гормаков А. Н.	К. Т. Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович

Институт	ИНК	Кафедра	Точное приборостроение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	-В данной работе проводится исследование и разработка пассивной гравитационной системы ориентации малого космического аппарата (МКА). Выбранная для исследований система содержит две ленты и барабан.
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1) Производственная безопасность</b> Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1.1. Вредные факторы при разработке пассивной гравитационной системы ориентации: Вредные вещества; монотонность труда; повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенный уровень шума на рабочем месте; повышенная температура воздуха рабочей зоны; отклонение показателей микроклимата в помещении; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенная пульсация светового потока; повышенная концентрация вредных веществ в воздухе. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке гравитационной системы ориентации и конструкции МКА на компоновочном уровне: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Термические опасности;</li> <li>• Электрический ток.</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность</b>	Анализ воздействия на окружающую среду
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Перечень возможных чрезвычайных ситуаций: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Солнечные вспышки (при эксплуатации)</li> <li>• Столкновение с небесными телами (при эксплуатации)</li> <li>• Пожар (во время исследований и разработки)</li> <li>• землетрясение</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Мезенцева И.Л.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович

Институт	ИНК	Кафедра	Точное приборостроение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах. Расчет бюджета научно-исследовательской работы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа; выявление потребностей заказчика; анализ конкурентотехнических решений с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения; проведение SWOT-анализа; проведение оценки готовности проекта к коммерциализации.
1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИ, бюджет НИ.
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График проведения и бюджет НИ</li> <li>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> <li>5. Потенциальные риски</li> </ol>	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Николаенко В.С.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Дамдинов Батор Очирович		

## Реферат

Пояснительная записка содержит 128 с., 34 таблиц, 36 рисунков, 26 источников, 12 графических материалов, 2 приложения.

Ключевые слова: малый космический аппарат, гравитационная система ориентации, трубчатая штанга, упругая лента.

Объектом разработки является гравитационная система ориентации для малого космического аппарата.

Цель работы: проектирование малого космического аппарата. Создание унифицированной конструкции гравитационной системы ориентации для облегчения процесса сборки и наращивания модуля полезной нагрузки. Создание всех служебных систем малого космического аппарата на компоновочном уровне. Создание новых малых космических аппаратов различного функционального назначения на базе гравитационной системы ориентации.

Назначение малого космического аппарата – дистанционное зондирование Земли.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. Построение 3D-моделей комплекта для МКА, разработка конструкции гравитационной системы ориентации и анимации сделаны в программе T-FLEX-CAD 15.

## Определения

**Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)** – наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Методы зондирования могут быть пассивные, и активные – использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия.

**Космическая Платформа** (или **Спутниковая Платформа**) – это общая унифицированная модель для построения космических аппаратов (КА), которая включает в себя все служебные системы спутника (т. н. Модуль Служебных Систем), а также конструкцию модуля полезной нагрузки, но без целевой ретрансляционной аппаратуры.

**Космический аппарат (КА)** – общее название технических устройств, используемых для выполнения разнообразных задач в космическом пространстве, а также проведения исследовательских и иного рода работ на поверхности различных небесных тел. Средствами доставки космических аппаратов на орбиту служат ракеты-носители или самолёты.

**Ракета-носитель (РН)** – ракета, предназначенная для выведения полезной нагрузки в космическое пространство.

**Межконтинентальная баллистическая ракета (МБР)** — управляемая баллистическая ракета класса «земля — земля», дальностью не менее 5500 километров.

**Малый космический аппарат (МКА)** – тип искусственных спутников земли, имеющих малый вес и размеры. Обычно малыми считают спутники с массой менее 0.5 – 1 тонны. Существует более подробная классификация типов в зависимости от массы. Запуск малых спутников на орбиту может производиться более простыми ракетами (например, РН на базе МБР) или в качестве дополнительной нагрузки к обычным спутникам.

**Полезная нагрузка космического аппарата или полезный груз космического аппарата** – это количество, тип или масса полезного оборудования, ради которого создается или запускается данный космический аппарат. В технической литературе обычно используются сокращения этого термина: «ПГ» (полезный груз) или «ПН» (полезная нагрузка).

**Система ориентации малого космического аппарата** – бортовая система космического аппарата, обеспечивающая определённое положение осей аппарата относительно некоторых заданных направлений. Необходимость данной системы обусловлена следующими задачами:

- ориентирование солнечных батарей на Солнце;
- для навигационных измерений;
- для проведения различных исследований;
- передача информации с помощью остронаправленной антенны.

## Обозначения и сокращения

- ВУЗ – высшее учебное заведение;
- ГШ – гравитационная штанга;
- ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли;
- ДМ – двигатель-маховик;
- КА – космический аппарат;
- КП – космическая платформа;
- МБР – межконтинентальная баллистическая ракета;
- МКА – малый космический аппарат;
- МКС – международная космическая станция;
- НИ ТПУ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет;
- РН – ракета-носитель;
- СБ – панели солнечных батарей;
- ГСО – гравитационная система ориентации;
- ГСС – гравитационная система стабилизации;
- СО – система ориентации;
- СОС – система ориентации и стабилизации;
- УКП – унифицированная космическая платформа;
- ЭМИО – электромеханический исполнительный орган.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	16
1 Назначение малых космических аппаратов и область их применения.....	17
2 Перспективы развития малых спутников.....	19
3 Реализация малых спутников.....	20
4 Общие сведения о системах ориентации и стабилизации.....	22
4.1 Классификация систем ориентации и стабилизации.....	22
4.2 Основные требования, предъявляемые к системе ориентации и стабилизации.....	23
5 Активная система ориентации МКА.....	24
6 Основная пассивная гравитационная система ориентации МКА.....	25
6.1 Особенности пассивных систем стабилизации.....	25
6.2 Гравитационная стабилизация МКА.....	26
6.3 Принцип работы гравитационной системы стабилизации.....	27
7 Малый космический аппарат.....	29
7.1 Исходные данные для проектирования малого космического аппарата.....	29
7.2 Вывод космического аппарата на солнечно-синхронную орбиту.....	29
7.3 Состав служебных систем и аппаратуры на борту малого космического аппарата.....	32
7.4 Конструкция МКА на компоновочном уровне.....	33
7.4.1 Модуль служебной нагрузки МКА.....	35
7.4.2 Модуль полезной нагрузки. Функциональное назначение.....	36
7.5 Установка служебных систем на борту МКА.....	37
7.6 Подготовка МКА к транспортировке на орбиту.....	40
7.7 Перевод МКА из транспортного положения в рабочий режим.....	40

7.8 Конструкция гравитационной штанги .....	42
7.9 Конструкция барабана .....	46
7.10 Установка гравитационной системы ориентации на МКА .....	49
8 Вопросы конструирования и технологии .....	51
8.1 Оценка технологичности конструкции гравитационной системы ориентации и стабилизации .....	51
8.2 Оценка барабана на технологичность.....	52
8.3 Оценка технологичности лент гравитационной штанги.....	53
8.4 Технологический процесс сборки гравитационной системы ориентации и стабилизации.....	53
8.5 Технологический процесс изготовления лент ГШ .....	55
8.6 Технологический процесс изготовления барабана.....	57
9. Социальная ответственность .....	59
9.1 Профессиональная социальная безопасность .....	59
9.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований .....	61
9.3 Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения .....	69
9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	73
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	76
10.1 Предпроектный анализ .....	76
10.2 Инициация проекта .....	82
10.3 Планирование научно-техническим проектом .....	84
10.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	95
Заключение .....	97

Список публикаций.....	98
Список использованных источников .....	99
Приложение А .....	102
Приложение Б.....	117

## **Введение**

Современная наука и технологии продолжают развиваться, не имея какого-либо предела. В настоящее время космические аппараты стараются сделать все более малыми и компактными, при этом они не уступают в функциональном назначении аппаратам, выпускаемым в прошлом. С начала 90-х годов XX века активно разрабатывались малые спутники. В XXI веке началось активное развитие отрасли производства малых космических аппаратов (МКА).

Уменьшение массы и габаритов является большим преимуществом в области космического приборостроения, поскольку это напрямую отражается на финансовых затратах на проектирование и вывод КА на орбиту.

Это привлекает малые предприятия и ВУЗы большинства стран к созданию малых космических аппаратов.

На сегодняшний день вокруг планеты Земля кружит огромное количество малых космических спутников, созданных в ведущих ВУЗах мира, в числе которых находится и НИ ТПУ.

В 2016 году в честь юбилея Томского политехнического университета был осуществлен запуск студенческого малого космического аппарата под названием «Томск-ТПУ-120». Кафедра точного приборостроения ТПУ приняла активное участие в создании такого космического аппарата. Габариты спутника составляют 300x100x100 мм. Такой спутник относится к классу наноспутников. Особенность этого спутника в том, что его корпус был напечатан на 3D-принтере. Цель запуска – испытания перспективных материалов и жизнеспособности 3D-печатных деталей в условиях космоса: бортовые датчики будут измерять температуру конструкции, аккумуляторов и электронного оборудования. Малый спутник передал поздравления с юбилеем ТПУ на Землю на 11 языках[1].

Целью ВКР является проектирование МКА для дистанционного зондирования Земли, комплектация МКА на компоновочном уровне и разработка конструкции гравитационной системы ориентации.

Результаты зондирования можно использовать в интересах экономики Томской области: для предотвращения крупномасштабных лесных пожаров, определение изменения площади лесных массивов, вопросы экологии и т.д.

## **1 Назначение малых космических аппаратов и область их применения**

МКА – это такой вид искусственных спутников Земли, который имеет малую массу и габариты. Обычно малыми считают спутники, которые имеют массу менее 0.5–1 тонны. На таблице 1.1 показана классификация малых спутников, которая подразделяется в зависимости от массы искусственного спутника[2].

Таблица 1.1 – Классификация малых космических аппаратов

Класс КА	Диапазон масс
Малые КА верхнего массового диапазона	100 – 500 кг
Микроспутник	10 – 100 кг
Наноспутник	1 – 10 кг
Пикоспутник	Менее 1 кг
Фемтоспутник	10 – 100 г

Технологические МКА используются для отработки и демонстрации технологий, например, для отработки и сертификационных испытаний систем и узлов ракетно-космической техники. Научные МКА могут быть использованы для проведения исследований в области солнечной и космической физики, планетологии, астрономии и астрофизики, науки о Земле, космической биологии. С их помощью осуществляют исследование границ земной атмосферы, суточные и глобальные наблюдения земных процессов, которые изменяются в течение дня, исследование физико-химических свойств поверхности планет или их атмосфер, исследование выживания и адаптации

организмов к космическому пространству (к микрогравитации и к высоким уровням радиации). Пример – научный КА “Чибис”[3].

Одним из главных и важных преимуществ космических аппаратов является оперативность поступления информации на центральные, региональные и частные станции приема и обработки информации. При помощи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космическим аппаратом возможно получать информацию о природно-экологическом состоянии окружающего региона в режиме прямой съемки и передачи информации, что очень важно при решении задач, связанных с экологической обстановкой.

Таким образом, космические средства получения информации являются одним из приоритетных инструментов изучения процессов, протекающих на поверхности Земли и в околоземном пространстве. Данный инструмент является достаточно дорогостоящим перед разработчиками космических систем, особенно в условиях экономии ВВП в России. Возникает большая проблема в области финансовых расходов по созданию космических аппаратов с ДЗЗ. Решение этой проблемы лежит в нескольких направлениях.

Задачи ДЗЗ, решаемые с помощью космических средств, были сформулированы во многих работах специалистов различных областей народного хозяйства и науки. Они могут быть классифицированы по следующим тематическим направлениям [4]:

- сельское хозяйство;
- климатология, контроль глобальных атмосферных изменений;
- поиск полезных ископаемых и энергоносителей;
- землепользование;
- наблюдение прибрежных зон и океанов;
- лесное хозяйство;
- контроль водных ресурсов;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций.

Наиболее перспективным направлением является создание серии КА с унифицированной системой ориентации с малой погрешностью для наиболее качественного мониторинга планеты Земля.

Унифицированная космическая платформа (УКП)– это платформа, имеющая на борту служебные системы для обеспечения питания, жизнедеятельности и ориентации КА на орбите. Все эти системы относятся и к служебным модулям МКА. Также предусматривается наращиваемый модуль полезной нагрузки для обеспечения функционального назначения спутника.

Использование космических платформ имеет ряд преимуществ по сравнению с единичным изготовлением космического аппарата:

- уменьшение расходов на проектирование в связи с серийностью производства и возможностью распределения стоимости проектирования платформы между всеми спутниками серии;
- увеличение надежности спутников из-за многократной проверки и отработки их систем;
- уменьшение времени производства спутников до 18-36 месяцев.

## **2 Перспективы развития малых спутников**

Миниатюризация бортовых систем и появление новых схемотехнических решений дает возможность кардинально снизить массу аппаратов и решать с помощью МКА задачи, которые ранее решались при помощи “больших” аппаратов, прежде всего в области дистанционного зондирования Земли и связи (пример – российский МКА “Аист”, разработанный Самарским государственным аэрокосмическим университетом совместно с промышленным предприятием АО “РКЦ “Прогресс”).

МКА имеют кардинально меньшую стоимость в сравнении с обычными спутниками, легко поддаются улучшениям для решения определенной задачи. Уменьшение различных радиопомех, оперативность получения потребителем данных наблюдения значительно увеличивается за счет создания

нужного количества группировок малых аппаратов. Использование малых спутников приводит к уменьшению рисков, связанных с запуском космического аппарата на орбиту и функционирования в космическом пространстве, снижая финансовые риски в случае сбоя или утраты такого спутника.

МКА дают возможность отрабатывать новейшие технологии и наиболее эффективно находить решение отдельных конкретных задач космических исследований в разных сферах научной деятельности (астрономия, астрофизика, космическая физика, физика Солнца, планетоведение, космическая биология).

МКА, имеющие меньшую массу (нано- и др.) служат “демократизации” космической деятельности, дают возможность реализовать космические программы университетов. В данном направлении работают несколько российских вузов: МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, Самарский национальный исследовательский университет им. Академика С.П. Королева, Сибирский государственный аэрокосмический университет им. Академика М.Ф. Решетнёва и ряд других вузов. В их числе находится и Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Один из самых демократичных на данный момент проектов – это проект “Маяк” Московского политехнического университета, предусматривающий развертывание на орбите тетраэдра из светоотражающей пленки [3].

С помощью МКА в качестве “пилотных проектов” организации малого бизнеса и в целом некосмические компании имеют возможность войти на космический рынок. В целом направление МКА можно рассматривать как один из базовых движущих факторов появления и развития нового поколения коммерческих космических проектов и компаний.

### **3 Реализация малых спутников**

МКА благодаря большей доступности (по крайней мере, с экономической точки зрения проекта) имеют довольно большую популярность в частном секторе. Первые КА, которые были созданы в России только частными

компаниями при поддержке фонда “Сколково” и которые были запущены летом 2014 года, основывались именно на базе микроспутниковых платформ. «Можно ли в наших условиях, вне традиционной кооперации предприятий «большой» ракетно-космической промышленности, создать КА, работающий на орбите» - такой вопрос возникает при разработке малого спутника. Независимо от того, что микроспутник малый и не используется в целях федерального назначения, частные разработки также должны проходить соответствующую сертификацию и лицензирование. Ввиду несколько меньших экономических рисков при разработке коммерческих малых спутников можно и нужно использовать более бюджетную элементную базу, чем элементная база, сертифицированная по уровню Space. Таким образом, это дает возможность провести летную отработку на нескольких промежуточных образцах.

МКА широко используют в образовательном процессе, потому что они дают возможность студентам одновременно развивать практические навыки, узнавать подробно о производстве создания космических аппаратов, а также ощущать причастность к созданию космического аппарата. Реализация проектов в космической сфере деятельности всегда показывает тесное сотрудничество промышленности и вузов, постоянный поиск компромиссного решения между качеством и эффективностью производства и возможность привлечения к работе как можно большего количества студентов вуза. При этом торговый сегмент часто имеет крепкую и тесную связь с образовательным сегментом. К примеру, компания SSTL (Surrey Satellite Technology Limited) из маленькой лаборатории, которая была в составе Университета Суррея (Великобритания), выросла в одного из ведущих во всем мире разработчика и производителя искусственных малых спутников с различными функциями (ДЗЗ, навигация, телекоммуникации)[3].

## **4 Общие сведения о системах ориентации и стабилизации**

### **4.1 Классификация систем ориентации и стабилизации**

Для стабильного и правильного функционирования МКА на орбите должен иметь определенное угловое движение относительно Земли. Для стабилизации искусственного спутника Земли используются два типа систем ориентации: пассивная и активная.

Активная система ориентации и стабилизации – это система, которая для своего функционирования требует дополнительных источников питания на борту МКА. Также системы в процессе работы используют различные активные устройства: управляемые маховики, газовые реактивные двигатели, магнитоприводы, гироскопические и оптические чувствительные элементы и т.п.

Пассивная система ориентации и стабилизации – это система, которая не требует на борту МКА дополнительных источников энергии для своего функционирования. Для создания восстанавливающих моментов она применяет физические свойства окружающей среды (магнитное или гравитационное поле Земли, солнечное давление от Солнца, аэродинамическое сопротивление остатков атмосферы Земли), или свойство свободно вращающегося твердого тела сохранять первоначальное положение в инерциальном пространстве ось вращения. В пассивных системах ориентации и стабилизации КА демпфирование собственных колебаний происходит без включения активных систем или оборудования [5, 6].

## **4.2 Основные требования, предъявляемые к системе ориентации и стабилизации**

Выбор системы ориентации и стабилизации обычно определяется задачами, которые будут решаться в течении всего полета, и задаваемыми характеристиками космического спутника. При проектировании систем необходимо принять во внимание ряд довольно важных факторов [7]:

- 1) предъявляемые требования к точности ориентации и стабилизации;
- 2) максимальные значения массы, габаритных размеров и потребляемой мощности;
- 3) требования по обеспечению надежности системы при функционировании и возможность продублировать элементы системы;
- 4) создание простой конструкции системы и её срок активного функционирования и существования;
- 5) требования к коррекции скорости полета и стабилизации МКА в процессе маневрирования, которые могут усложнить конструкцию системы;
- 6) конфигурация МКА и предъявляемые к нему общие технические требования, которые могут оказать большое влияние на систему в отношении выбора типа датчиков, их поля зрения, расположения двигателей на МКА и других элементов системы;
- 7) требования к угловой скорости МКА в процессе управления;
- 8) число управляемых степеней свободы;
- 9) требования к приращениям линейной скорости во время вывода МКА на околоземную орбиту Земли;
- 10) взаимодействие системы ориентации и стабилизации с подсистемами МКА, которое должно быть учтено при начальной стадии разработки МКА;
- 11) требования к режимам работы системы;
- 12) динамическая модель МКА (упругость конструкции, моменты инерции, распределение массы МКА, несовпадение строительных осей с главными центральными осями инерции и т.д.).

Для большинства МКА основным требованием является точность ориентации и стабилизации. Один и тот же МКА в течение использования может иметь несколько режимов работы с разной точностью ориентации и стабилизации малого космического спутника.

## **5 Активная система ориентации МКА**

Система ориентации космического аппарата – одна из бортовых систем космического аппарата, которая обеспечивает заданное положение осей аппарата в системе координат. Данная система необходима на борту МКА по следующим причинам [8]:

- для навигации малого спутника;
- для проведения исследований различного назначения;
- для передачи информации с помощью остронаправленной антенны;
- для обеспечения питания МКА панели солнечных батарей всегда должны быть направлены на Солнце.

Задачи, выполняемые космическим аппаратом, требуют ориентации на протяжении всего функционирования или же кратковременную ориентацию. Система ориентации может обеспечивать трёхосную ориентацию малого спутника. Ниже описана активная система ориентации на базе двух двигателей-маховиков.

Активная система ориентации применяется как дополнительная, которая содержит два электродвигателя-маховика. Этот тип ориентации используется для приведения МКА в рабочее положение на орбите после отстыковки от носителя, а также как дополнительная стабилизация МКА к гравитационной СО в рабочем режиме. Исходя из этого, на борту КА устанавливается два двигателя-маховика, по двум осям: курса и тангажа (рисунок 5.1).

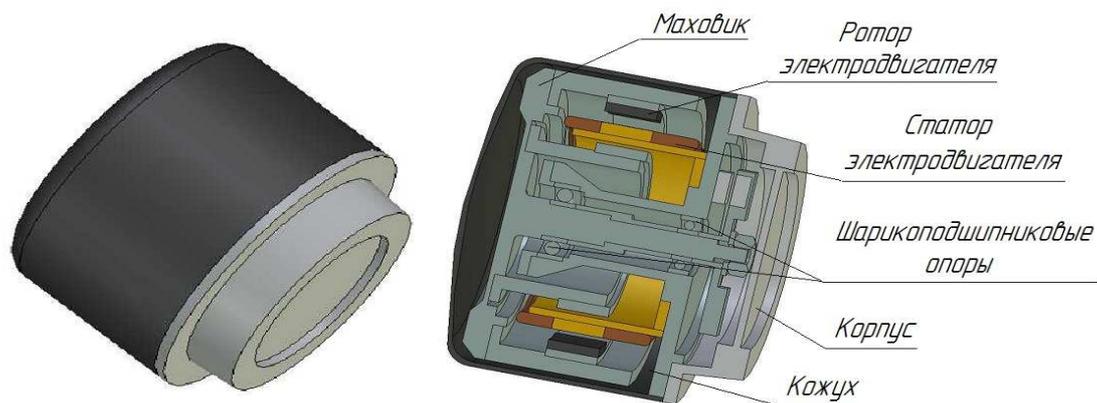


Рисунок 5.1 – Электродвигатель-маховик

После того как космический аппарат будет выведен на орбиту, его необходимо привести в рабочий режим для исполнения функционального назначения. Выполнять приведение МКА в плоскость орбиты будет первый ДМ, установленный по оси крена. В дальнейшем первый ДМ будет использоваться как дополнительная стабилизация МКА. Постоянную стабилизацию будет обеспечивать, например, гравитационная штанга (ГШ).

Как только продольная ось ГШ окажется в плоскости орбиты, в работу вступит второй ДМ, установленный по оси курса. Его функция заключается в приведении панелей солнечных батарей в плоскость орбиты МКА.

## 6 Основная пассивная гравитационная система ориентации МКА

### 6.1 Особенности пассивных систем стабилизации

Так как к малым космическим аппаратам ставятся большие ограничения по массе и компактности, то применение на них активной системы ориентации приведет к значительному увеличению массы конструкции и габаритов самого спутника, кроме того, спутник необходимо оснащать дополнительными источниками энергии. Пассивные методы ориентации имеют преимущества в том, что не требуют больших запасов дополнительной энергии на борту космического аппарата. На данный момент самое широкое применение имеют

следующие пассивные системы ориентации [9]: гравитационная, аэродинамическая, давлением солнечных лучей и вращением.

Если спутник имеет малые габариты, влияние на него со стороны аэродинамических сил и давления солнечных лучей мало. Стабилизация вращением так же будет иметь малый эффект для небольших размеров. В большинстве случаев она применяется вместе с активными методами. Оптимально будет использовать гравитационную систему стабилизации. Гравитационная система ориентации (ГСО) основана на использовании гравитационного момента и ориентирует одну из осей космического аппарата по местной земной вертикали, причем одновременно с этим можно ориентировать две другие оси.

## **6.2 Гравитационная стабилизация МКА**

Эффект гравитационной стабилизации, получаемый за счет гравитационного притяжения Земли и центробежной силы, известен со времен выхода в свет (1780г.) знаменитой работы Лагранжа о либрациях Луны, в которой были представлены условия устойчивых колебаний твердого тела при становлении его продольной оси в вертикальное положение. Луна всегда обращена одной стороной к Земле, исходя из этого были построены догадки, что таким же образом при помощи гравитационного поля Земли можно ориентировать и искусственный спутник.

Требование заставить спутник с помощью гравитационной системы в заданном устойчивом положении по отношению к планете накладывает ограничения на начальные углы и угловые скорости спутника при отделении его от ракеты-носителя. Только при небольших по величине значениях углов и угловых скоростей гравитационной системы стабилизации (ГСС) может предотвратить вращение спутника и обеспечить однозначное по отношению к планете устойчивое положение. Это условие часто называют условием захвата КА [5, 10].

ГСС привлекают конструкторов главным образом своей простотой, возможностью функционировать продолжительное время без расходования энергии или рабочего тела, малой массой, низкой стоимостью и высокой надежностью работы в космических условиях. К основным недостаткам ГСС можно отнести небольшую точность (несколько градусов) и малую величину управляющих моментов. Для увеличения управляющих моментов системы к основному телу КА присоединяют гравитационный стабилизатор, состоящий из одной или нескольких тонких штанги с грузами на концах.

### **6.3 Принцип работы гравитационной системы стабилизации**

Рассмотрим, за счет чего происходит стабилизация МКА, который состоит из основного тела (то есть МКА) и прикрепленной к нему длинной штанги с грузом на конце. Допустим, что массы МКА и груза равны и соединены между собой жестким невесомым стержнем, то есть КА представляет собой гантель. Движение гантелеобразного КА происходит по круговой орбите в центральном гравитационном поле планеты с постоянной угловой скоростью таким образом, что одна масса имеет чуть большее расстояние от планеты, чем другая. Поскольку масса, которая расположена дальше от Земли, испытывает меньшее воздействие гравитационного притяжения и большее воздействие центробежных сил, чем масса, расположенная ближе к Земле, то возникает момент, который стремится поставить гантель в вертикальное положение относительно орбитальной системы координат. В тех случаях, когда гантелеобразный КА расположен вертикально или горизонтально, гравитационный момент будет равен нулю. При любой другой ориентации гравитационный момент стремится развернуть КА в вертикальное положение относительно орбитальной системы координат.

На КА с различными моментами инерции, движущийся в центральном гравитационном поле планеты по круговой орбите, действуют восстанавливающие моменты, стабилизирующие его в нормальной системе

координат. Эти моменты приближенно определяются следующими выражениями [10]:

в плоскости тангажа ( $\gamma=0, \psi=0$ )

$$M_z = \frac{3}{2} \omega_0^2 (I_x + I_y) \sin 2\vartheta;$$

в плоскости крена ( $\vartheta=0, \psi=0$ )

$$M_x = \frac{4}{2} \omega_0^2 (I_z - I_y) \sin 2\gamma;$$

в плоскости рыскания ( $\vartheta=0, \gamma=0$ )

$$M_z = \frac{1}{2} \omega_0^2 (I_x - I_y) \sin 2\psi;$$

где  $I_x, I_y, I_z$  – моменты инерции аппарата относительно осей OX, OY и OZ;  
 $\omega_0$  – орбитальная скорость;  $\vartheta, \gamma, \psi$  – углы тангажа, крена и рыскания.

Из приведенных формул следует:

1) для создания значительного восстанавливающего момента необходимо увеличивать разность моментов инерции аппарата;

2) гравитационный момент растет пропорционально синусу двойного угла отклонения от положения равновесия и оказывает меньшее влияние на более удаленный спутник, когда период обращения по орбите весьма велик, то есть величина  $\omega_0^2$  мала.

Приведенные соотношения пригодны для решения многих вопросов, возникающих при разработке и создании пассивных ГСС, хотя и являются приближенными.

## 10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 10.1 Предпроектный анализ

#### 10.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время лидирующие позиции в направлении космостроения имеют малые космические аппараты, так как они обладают рядом преимуществ:

- снижение затрат на производство и запуск КА;
- снижение времени на создание КА;
- уменьшение рабочей силы на создание КА;
- возможность внедрения передовых технологий.

Достаточно низкая стоимость малых космических аппаратов по сравнению с большими спутниками и не уступающих по функциональности дает возможность разрабатывать малые спутники даже частным предприятиям.

Проведем сегментирование рынка услуг искусственных спутников Земли по типам спутника. Карта сегментирования представлена в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Карта сегментирования

		Области использования спутника				
		Исследования систем связей	Дистанционноезондирование Земли	Образовательные цели	Межпланетные экспедиции	Исследования тросовых систем
Типы спутника	Космический аппарат					
	Малый космический аппарат					

По таблице 10.1 можно сделать вывод, что малые космические аппараты можно использовать в тех же областях, что и космические аппараты (кроме межпланетных экспедиций). С точки зрения разработки, создания и запуска малого спутника дает ряд преимуществ экономического характера за счет малой массы. Преимуществами малых спутников являются рентабельный запуск за счет значительного уменьшения расхода топлива, гораздо меньшие массо-габаритные размеры, низкая стоимость, по сравнению с космическим аппаратом, а также требует гораздо меньшее количество времени на разработку, благодаря унификации платформ и комплектующих [26].

### **10.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для её будущего повышения.

Основными техническими характеристиками космического аппарата является масса, надежность, время на разработку, цена, материалы. Анализ конкурентных технических решений проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта проектируемого малого космического аппарата представлена в таблице 10.2.

Для оценки был выбран космический аппарат, который был представлен в таблице 10.1. В таблице 10.2 представлены следующие обозначения:  $B_{к1}$ ,  $K_{к1}$  – малый космический аппарат,  $B_{к2}$ ,  $K_{к2}$  – космический аппарат.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабый показатель, а 5 – наиболее сильный. Вес показателей, определяемый экспертным путем, в сумме должен составлять 1.

Таблица 10.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Материалы	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
2. Масса	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
3. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Время, потраченное на разработку	0,15	4	4	2	0,6	0,6	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	2	3	0,45	0,23	0,34
7. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
8. Цена	0,15	5	4	2	0,7	0,56	0,28
	1				4,05	3,58	2,62

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; В<sub>і</sub> – вес показателя (в долях единицы); В<sub>і</sub> – балл і-го показателя.

Исходя из произведенного анализа, представленного на таблице 10.2, конкурентоспособность малого космического аппарата выше обычного космического аппарата, поскольку является более выгодным и менее затратным.

### 10.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) –представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [1].

Составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Малые массо-габаритные параметры;</p> <p>С2. Низкая стоимость;</p> <p>С3. Унифицированная платформа и комплектующие;</p> <p>С4. Доступные материалы;</p> <p>С5. Функциональность;</p> <p>С6. Небольшой срок создания МКА.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Невозможен самостоятельный запуск;</p> <p>Сл2. Возможно длительное ожидание в очереди на запуск;</p> <p>Сл3. Отработанные или сломавшиеся аппараты становятся космическим мусором.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Расширение области решаемых задач;</p> <p>В2. Возрастание спроса на продукт;</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С1С2С4 – расширение области решаемых задач способствует постепенному переходу от КА к МКА;</p> <p>В2С1С2С3С4С5 – малые массо-габаритные параметры, низкая стоимость, унифицированная платформа и комплектующие, доступные материалы, функциональность, небольшой срок создания МКА способствуют повышению спроса на продукт;</p> <p>В3С3С4 работа с унифицированной платформой и комплектующими, а также доступные материалы повышает стоимость конкурентных разработок.</p>	<p>В1Сл1Сл2 – совмещение возможности расширения области решаемых задач со слабыми сторонами проекта решать возникшие проблемы;</p> <p>В3Сл1Сл2Сл3 – с появлением спроса и повышением стоимости конкурентных разработок слабые стороны будут удалены.</p>

Продолжение таблицы 10.3

<b>Угрозы:</b> У1. Повышение стоимости материалов; У2. Развитая конкуренция технологий производства; У3. Появление усовершенствованной продукции на рынке.	У1С1С3С4С5 – может возникнуть повышения стоимости материалов.	угроза стоимости	У1Сл1Сл2Сл3 – повышение стоимости материалов, а также сложности с запуском МКА на орбиту могут снизить спрос на продукт.
---	---	------------------	--

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

#### 10.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Вне зависимости от стадии жизненного цикла научной разработки всегда не повредит оценка степени её готовности к коммерциализации, и выяснить уровень собственных знаний для её проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации приведен в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	2
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	2

Продолжение таблицы 10.4

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	Итого баллов:	24	21

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибальной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве нет уверенности, 4 балла – выполнено качественно, 5

баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 –знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что перспективность научной разработки на данном этапе ниже среднего.

## 10.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта [26].

### 10.2.1 Цели и результаты проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Качественное выполнение работ в установленные сроки
Исполнитель проекта	Результаты исследования пассивной гравитационной системы ориентации малого космического аппарата

В таблице 10.6 представлена информация о иерархии целей проекта и требованиях к результатам.

Таблица 10.6 – Цели и результаты проекта

Цель проекта:	Исследование и расчет пассивной гравитационной системы ориентации для малого космического аппарата
Ожидаемые результаты проекта:	Результаты исследования пассивной гравитационной системы ориентации
Требования к результату проекта:	Выполнение в срок, анализ результатов исследования теплового, статического и частотного анализа конструкции гравитационной штанги. Конструкция малого космического аппарата на компоновочном уровне.

### 10.2.2 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта состоит из рабочей группы, роли каждого участника в проекте, функций каждого участника и их трудозатрат.

Все это представлено в таблице 10.7.

Таблица 10.7 – Рабочая группа проекта

№	Ф.И.О., должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Дамдинов Б.О., магистрант	Исполнитель	Выполнение запланированных работ по проекту	1300
2	Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры ТПС	Руководител ь	Консультирование, координирование деятельности исполнителя	200
Итого:				1500

### 10.2.3 Ограничения и допущения

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. В таблице 10.8 представлены ограничения проекта.

Таблица 10.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Сроки проекта:	15.11.15 – 12.06.17
1.1 Дата утверждения плана управления проектом	15.11.17
1.2 Дата завершения проекта	12.06.17

### 10.3 Планирование научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей [26].

#### 10.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 10.1 представлена иерархическая структура проекта.

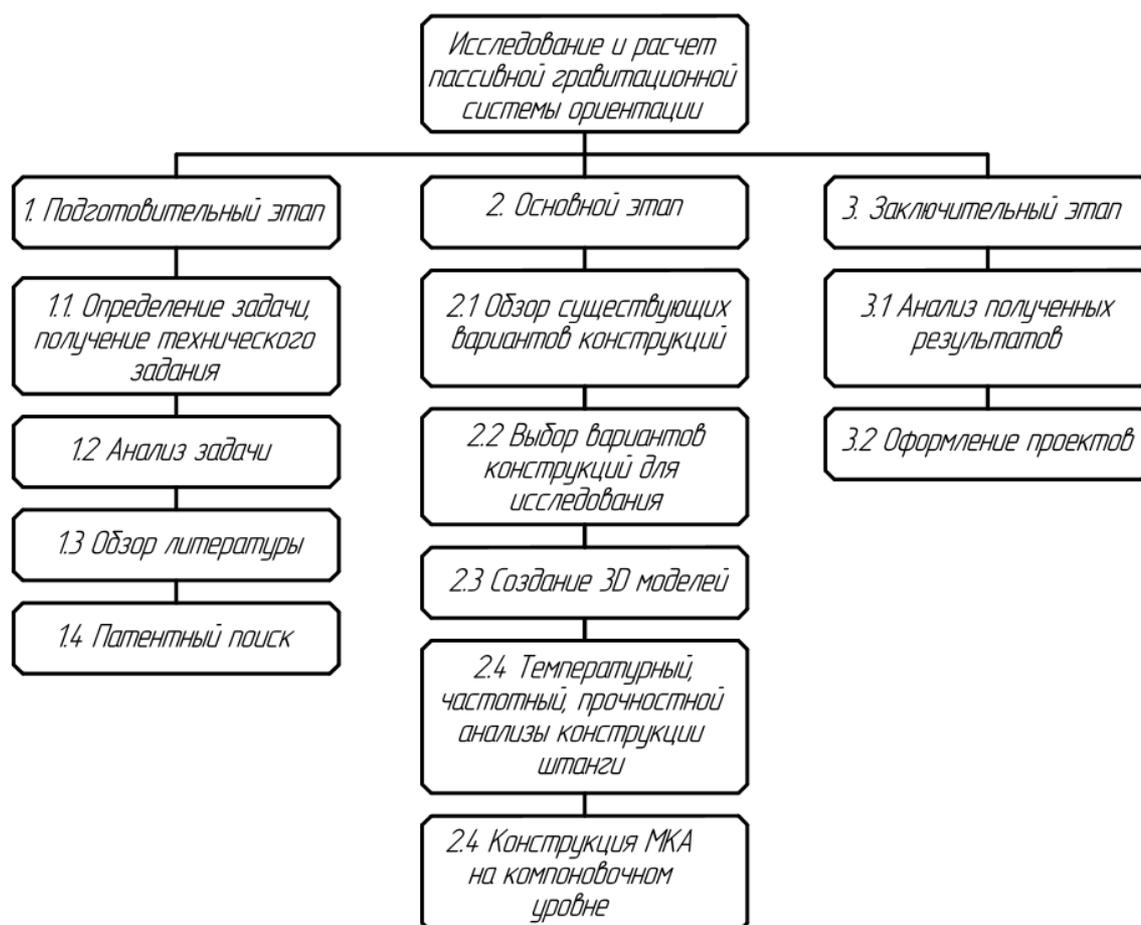


Рисунок 10.1 Иерархическая структура исследования и расчета пассивной гравитационной системы ориентации МКА

### 10.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, определены их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация приведена в таблице 10.9.

Таблица 10.9 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Определение задачи, получение технического задания	15.11.15 - 18.11.15	Отчет по НИР
2	Патентные исследования	15.12.15 - 11.01.16	Патентный поиск

*Продолжение таблицы 10.9*

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
3	Обзор литературы	01.12.15 - 30.01.16	Отчет по НИР
4	Создание 3D моделей МКА	06.02.16 - 05.06.16	Отчет по НИР
5	Проведение анализа конструкции	06.06.16 - 25.06.16	Предзащита
6	Анализ полученных результатов, оформление проекта	26.06.16- 12.06.17	Предзащита, защита диплома

### 10.3.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представлен в виде таблицы 10.10.

Таблица 10.10 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Определение задачи, получение технического задания	3	15.11.15	18.11.15	Руководитель Исполнитель
1.2	Анализ задачи	11	19.11.15	30.11.15	Исполнитель
1.3	Обзор литературы	60	01.12.15	30.01.16	Исполнитель
1.4	Патентный поиск	27	15.12.15	11.01.16	Исполнитель
2.1	Обзор существующих вариантов конструкций	13	12.01.16	25.01.16	Исполнитель
2.2	Выбор вариантов конструкций для исследования	13	26.01.16	8.02.16	Руководитель Исполнитель
2.3	Создание 3D моделей	79	06.09.16	05.11.16	Исполнитель

*Продолжение таблицы 10.10*

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
2.4	Проведение температурного, частотного анализов и анализа на прочность конструкции пассивной гравитационной системы ориентации	19	06.11.16	25.11.16	Исполнитель
3.1	Анализ полученных результатов	20	26.11.16	16.12.16	Исполнитель
3.2	Оформление работы	49	17.12.16	04.02.17	Исполнитель
3.3	Написание докладов и статей	10	10.04.17	20.04.17	Руководитель Исполнитель
3.4	Подготовка демонстрационных материалов и доклада для защиты	14	22.04.17	06.05.17	Исполнитель
	Итого	318			

### **10.3.4 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования был составлен перечень всех видов осуществленных расходов, которые были произведены в процессе его выполнения [26].

#### **10.3.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты**

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3% от цены). В эту же

статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты представлены в таблице 10.11.

Таблица 10.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты.

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Лицензионные программные продукты				
T-FLEX CAD 2D	мест	10	500	5 000
T-FLEX CAD 2D	мест	10	750	7 500
T-FLEX Анализ	мест	10	1050	10 500
Всего за материалы				23 000
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1 150
Итого по статье См				24 150

#### 10.3.4.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Результаты приведены в таблице 10.12.

Таблица 10.12 – Расчет затрат на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	40 000	40 000
Норма амортизации, 15%				6 000
Итого				46 000

### 10.3.4.3 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Основная заработная плата включает в себя премию, выплачиваемую ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы сведен в таблицу 10.13.

Таблица 10.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Должность	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Руководитель	Доцент, к.т.н.	42	774,3	23 230
2	исполнитель	магистрант	146	56,6	1 700

В статью включена основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительная заработная плата.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле 10.1:

$$Z_{осн} = Z_{дн} T_{РАБ}, \quad (10.1)$$

где  $Z_{дн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_{РАБ}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 10.14).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 10.2:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M M}{F_D}, \quad (10.2)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M=11,12$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$  месяца, 6 дневная неделя;  $F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дн. (таблица 10.14).

Таблица 10.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководите ль	Исполнител ь
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	52
- праздничные дни	10	10
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	56
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	227	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_б (k_{np} + k_д) k_p,$$

где  $Z_б$  – базовый оклад, руб.;  $k_{np}$  –премиальный коэффициент;  $k_д$  – коэффициент доплат и надбавок;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

В ТПУ премии, доплаты и надбавки включены в базовый оклад. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 10.15.

Таблица 10.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$ , руб	$k_p$ , руб	$Z_M$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_{раб}$ , руб	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	23 230	1,3	30 200	1 372	42	57 624
Исполнитель	1 700	1,3	2 200	100	146	14 600
Итого						72 224

#### 10.3.4.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15% от основной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}},$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Коэффициент дополнительной заработной платы  $k_{\text{доп}} = 0,15$ , который исходит из 15% от основной заработной платы. В таблице 10.16 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 10.16 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата исполнителей	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	57 624	14 600
Дополнительная зарплата, руб.	8 643,6	2 190
Зарплата, руб.	66 267,6	16 790
Итого по статье	83 057,6	

#### 10.3.4.5 Отчисления на социальные нужды

Работа включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (составляет 30%).

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 83057,6 = 24917,1 \text{ руб}$$

### 10.3.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Накладные расходы составляют 80 – 100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 10.3:

$$C_{накл} = k_{накл} (З_{осн} + З_{доп}), \quad (10.3)$$

где  $k_{накл}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{накл} = 0,9 \cdot 83057,6 = 74751,84 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости НТИ и приведена в таблице 10.17.

Таблица 10.17 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	24 150
2	Специальное оборудование для экспериментальных работ	46 000
3	Основная заработная плата	72 224
4	Дополнительная заработная плата	10 833,6
5	Отчисления на социальные нужды	24 917,1
6	Накладные расходы	74 751,84
7	Итого плановая себестоимость	252 876,54

### 10.3.4.7 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 10.18).

Таблица 10.18 – матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель / доцент кафедры ТПС	Учебно-вспомогательный персонал / Магистр 2 курса кафедры ТПС	Заведующий кафедрой ТПС
Подготовительный этап	О	И	
Основной этап	О	И	
Заключительный этап	У, О	О, И	С

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо, выполняющее работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

### 10.3.4.8. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями представлен в таблице 10.19.

Таблица 10.19 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передается информация
1	Требования к проекту	Руководитель	Исполнителю	При получении технического задания
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно
3	Информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	За 3 дня до контрольной точки

#### 10.3.4.9. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу сведена в таблицу 10.20.

Таблица 10.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1	Получение некорректной модели и, следовательно, ошибочных данных	Получение неверного результата	2	4	Высокий	Проведение доп. Консультаций	Отсутствие мощных ПК
2	Недостаточное финансирование	Осложняется процесс разработки и изготовления	2	5	Низкий	Подбор аналогичных имеющихся материалов	Задержка финансирования заказчиком

*Продолжение таблицы 10.20*

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
3	Недостаточно квалифицированный персонал	Увеличение сроков и снижение качества разработки	3	4	Низкий	Повышение квалификации рабочих	Низкий уровень образования выпускников в вузов
4	Изменения технических требований заказчика	Увеличение сроков выполнения работ	4	5	средний	Замена аналогичными элементами	Отсутствие элементов, изменение параметров готового изделия

\* Уровень риска оценивается как: высокий, средний или низкий в зависимости от вероятности наступления и степени влияния риска. Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень.

#### **10.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

#### **10.4.1. Оценка социальной эффективности исследования**

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты[26]. В таблице 10.21 приводится оценка социальной эффективности проекта разработки малого космического аппарата.

Таблица 10.21 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Большие размеры космических аппаратов	Использование малых космических аппаратов, имеющих малые размеры и вес
Большие сроки выполнения и финансовые затраты	Меньшие сроки выполнения и финансовые затраты

## Список публикаций

В ходе работы над магистерской диссертацией были опубликованы четыре статьи:

1. Статья «Пассивная гравитационная система ориентации МКА ТПУ» // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием, Томск, 12-14 апреля 2016. – Томск: ТПУ, 2016;

2. Статья «Управление угловым движением малого космического аппарата при помощи гравитационной системы ориентации» // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», Томск, 23-27 мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016;

3. Статья «Конструкция телескопической гравитационной штанги для малого космического аппарата» // Автоматизированное проектирование: Материалы IV международной заочной научно-практической конференции, Новокузнецк: НИЦ МС, 2016.

4. Статья «Конструкция и принцип работы пассивной гравитационной системы ориентации для малого космического аппарата» // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов V Международного молодежного форума, Томск, 18-20 апреля 2017. – Томск: ТПУ, 2017;