

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.03.01 приборостроение
Кафедра точного приборостроения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Гравитационная система ориентации активного типа

УДК 629.783

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Бекасова Анастасия Геннадьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дмитриев Виктор Степанович	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

По разделу «Вопросы технологии»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гормаков Анатолий Николаевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПС ИНК ТПУ	Бориков Валерий Николаевич	д.т.н.		

Томск – 2016 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности;

	уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

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



Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки (специальность) 12.03.01 приборостроение
 Кафедра точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ В.Н. Бориков
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Бекасовой Анастасии Геннадьевне

Тема работы:

Гравитационная система ориентации активного типа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.04.16 №2868/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p><i>Комбинированная гравитационная система ориентации;</i></p> <p><i>условия эксплуатации – открытый космос;</i></p> <p><i>кинетический момент $H=0,2$ Нмс;</i></p> <p><i>Угловая скорость вращения маховика - 5000...10000 об./мин;</i></p> <p><i>Ресурс работы - $T=5$ лет минимум;</i></p> <p><i>температурный режим $0...+60^{\circ}C$;</i></p> <p><i>Масса - не более 10 кг;</i></p> <p><i>Энергопотребление – 6 Вт.</i></p>
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p><i>Обзор литературы:</i> <i>обзор способов гравитационных систем стабилизации КА и разновидностей их конструкции.</i> <i>Разработке подлежат:</i> <i>проектирование комбинированной гравитационной системы ориентации (КГСО); компоновка гиродвигателя, проектирование корпуса гиродина, устройства разворачивания гравитационной штанги.</i> <i>Дополнительные разделы:</i> <i>«Социальная ответственность»; «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; «Вопросы технологии».</i></p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Сборочный чертеж КГСО, 3D-модель КГСО; кинематическая схема активной части; принципиальная кинематическая схема КГСО; рабочий чертеж детали.</i></p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p>Вопросы технологии</p>	<p>Гормаков Анатолий Николаевич</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Профессор</p>	<p>Дмитриев Виктор Степанович</p>	<p>д.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1Б2В</p>	<p>Бекасова Анастасия Геннадьевна</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «Вопросы технологии»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Бекасовой Анастасии Геннадьевны

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Вопросы технологии»:

1. Годовая программа выпуска или размер партии	<i>Единичное производство</i>
2. Конструкторская документация на изделия	<i>Сборочный чертеж комбинированной гравитационной системы ориентации, спецификация.</i>
3. ГОСТы, стандарты, нормали, справочники	<i>ГОСТ 2.004-88 ЕСКД ГОСТ 14.301—73 ЕСТПП и др.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение сборочного состава изделия; 2. Разработка технологического процесса изготовления детали; 3. Оценка технологичности детали, обоснование выбора материала. 4. Оценка технологичности детали «втулка фланцевая»; 5. Разработка технологического процесса сборки изделия; 6. Оценка технологичности конструкции изделия; 	<i>ГОСТ 2.004-88 ЕСКД ГОСТ 14.301—73 ЕСТПП. Справочник по допускам и посадкам Справочники по станочному оборудованию, оснастке и инструменту.</i>
--	---

Перечень разработанной документации (с точным указанием обязательных чертежей):

<p>Карта технологичного процесса сборки; Карта технологичного процесса изготовления детали; Рабочий чертеж детали.</p>
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Гормаков А.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Бекасова Анастасия Геннадьевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Бекасовой Анастасии Геннадьевне

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Определение структуры работ в рамках научного исследования, определение участников каждой работы, установление продолжительности работ, построение графика проведения научных исследований.</i>
Нормы и нормативы расходования ресурсов	
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчет трудоемкости этапов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 3. Установление продолжительности работ, построение графика проведения научных исследований
-------------------------------	--

Перечень графического материала:

Оценка конкурентоспособности технических решений
График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Бекасова Анастасия Геннадьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Бекасовой Анастасии Геннадьевне

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является разрабатываемая конструкция системы ориентации для малых космических аппаратов, позволяющая занимать необходимое для работы угловое положение на орбите Земли.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p><i>Выявленными вредными факторами на рабочем месте при эксплуатации разрабатываемого устройства являются:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Отклонение показателей микроклимата</i> <i>2. Повышенная запыленность воздуха</i> <i>3. Повышенная пульсация светового потока</i> <i>4. Повышенный уровень электромагнитных излучений</i> <i>5. Повышенный уровень электростатического электричества</i> <i>6. Нервно-психические перегрузки</i> <p><i>Опасные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Электрический ток</i>
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p><i>Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми. В разделе описана проблема космического мусора, которая имеет непосредственное</i></p>

	<i>отношение к эксплуатации разрабатываемого устройства.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<i>Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией для описываемых условий работы является пожар.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<i>Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Бекасова Анастасия Геннадьевна		

Реферат

Пояснительная записка содержит 85 с., 17 таблиц, 14 рисунков, 3 приложения.

Ключевые слова: комбинированная система ориентации, силовой гироскоп, малый космический аппарат, электромеханический исполнительный орган, гравитационная штанга.

Объектом разработки является комбинированная гравитационная система ориентации для малого космического аппарата, предназначенного для дистанционного зондирования Земли.

В дипломном проекте проведены необходимые расчеты, выполнен обзор литературных источников по различным видам гравитационных систем ориентации выполнена разработка конструкции гравитационной системы ориентации активного типа, состоящей из саморазворачивающейся гравитационной штанги и двухступенного силового гироскопа (гиродина), закрепленного на ее конце. В пояснительной записке приведены технические решения для устройства разворачивания и фиксации гравитационной штанги в транспортном положении, тормозного устройства, необходимого для регулирования скорости разворачивания гравитационной штанги при переходе из транспортного положения в рабочее.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, для создания моделей и чертежей использованы САД-системы T-Flex и SolidWorks.

Список сокращений

КА – космический аппарат;

МКА – малый космический аппарат;

ИСЗ – искусственный спутник Земли;

СО – система ориентации;

СС – система стабилизации;

СГС – система гравитационной стабилизации;

КГСО – комбинированная гравитационная система ориентации;

ЭВТИ – экранно-вакуумная теплоизоляция;

ДУ – датчик угла;

ДМ – датчик момента;

ГШ – гравитационная штанга;

ДПТ – двигатель постоянного тока.

Оглавление

1. Системы управления угловым положением МКА.....	16
1.1. Гравитационные системы стабилизации.....	16
1.2. Комбинированные гравитационные системы ориентации	21
2. Комбинированная ГСО	23
2.1. Устройство ГСО	23
2.2. Принцип работы ГСО	25
2.3. Разработка конструкции	27
2.3.1. Проектирование гиromотора.....	27
2.3.1.1. Расчет обода маховика	29
2.3.1.2. Выбор подшипников.....	31
2.3.1.3. Выбор двигателя	33
2.3.1.4. Компоновка.....	35
2.3.2. Компоновка КГСО	37
2.3.2.1. Гравитационная штанга и устройство разворачивания	39
2.3.2.2. Устройство торможения.....	43
2.3.2.3. Проектирование корпуса.....	44
2.3.2.4. Теплоизоляция.....	44
2.3.3. Транспортное положение ГСО	45
2.3.4. Описание конструкции	46
3. Вопросы технологии.....	48
3.1. Определение сборочного состава изделия.....	48
3.2. Разработка технологического процесса сборки КГСО.....	48
3.2.1. Технологический процесс сборки КГСО.....	49

3.3.	Технологический процесс изготовления фланцевой втулки.	51
3.3.1.	Анализ технологичности детали.....	51
3.4.	Анализ технологичности изделия как сборочной единицы.....	52
3.5.	Заключение.....	55
3.	Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
3.6.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	57
3.6.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	57
3.6.2.	Анализ конкурентных технических решений	58
3.6.3.	Технология QuaD	59
3.6.4.	SWOT-анализ.....	60
3.7.	Планирование научно-исследовательских работ.....	63
3.7.1.	Структура работ в рамках научного исследования	63
3.7.2.	Разработка графика проведения научного исследования	64
3.8.	Заключение.....	68
4.	Социальная ответственность	69
4.1.	Производственная безопасность.....	70
4.1.1.	Отклонение показателей микроклимата.....	71
4.1.2.	Повышенная пульсация светового потока.....	73
4.1.3.	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	73
4.1.4.	Повышенный уровень статического электричества.....	74
4.1.5.	Нервно-психические перегрузки	75
4.1.6.	Электрический ток	76
4.2.	Экологическая безопасность	77

4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
Заключение	81
Список публикаций студента.....	82
Список использованных источников	83
Приложение А. Графические материалы	
Приложение Б. Схемы сборочного состава изделия	
Приложение В. Маршрутные и операционные карты	

Введение

В настоящее время большинство МКА для успешного выполнения возложенных на них функций должны быть некоторым образом сориентированы в пространстве относительно Земли. Эта функция выполняется системами управления угловым движением МКА. А так как задачи, выполняемые МКА, в основном не требуют сложных поворотных маневров и высокой точности ориентации, то большое распространение в этом качестве получили пассивные и комбинированные системы ориентации МКА. Такие системы имеют большой ресурс работы, отличаются простотой, высокой надежностью и малой массой. Одной из типовых используемых в современной космической технике систем являются гравитационные системы. Однако чисто пассивные системы имеют некоторые недостатки, с которыми получается успешно бороться, совмещая активные и пассивные системы ориентации.

Объектом разработки является комбинированная гравитационная система ориентации активного типа для малого космического аппарата, предназначенного для дистанционного зондирования Земли, устройство и принцип работы которой описан в заявке на выдачу патента на изобретение № 2016114988 от 18.04.2016 г.

Данная работа является групповым дипломным проектом, поэтому она разделена на две части, одна из которых включает в себя проектирование и компоновку МКА, а вторая – разработка конструкции комбинированной гравитационной системы ориентации непосредственно.

Целью настоящего дипломного проекта является разработка конструкции и проектирование гравитационной системы ориентации активного типа, состоящей из саморазворачивающейся гравитационной штанги и двухстепенного силового гироскопа (гиродина), закрепленного на ее конце.

1. Системы управления угловым положением МКА.

Системы управления угловым движением МКА относительно его центра масс выполняют два основных класса задач: ориентация МКА и стабилизация его положения. Очень часто в работе происходит подмена одного понятия другим.

Ориентация – это процесс, в результате которого КА занимает определенное положение или последовательность определенных положений в пространстве. Чаще всего система ориентации, ликвидируя большое первоначальное отклонение, совмещает связанную систему координат с опорной (базовой), которая реализуется на борту КА с помощью специальных приборов и устройств. Опорная СК может быть неподвижной в инерциальном пространстве, а может перемещаться относительно него.

Стабилизация – процесс устранения неизбежно возникающих в полете угловых отклонений связанной системы координат. Система стабилизации придает КА способность после определенной ориентации в пространстве восстанавливать свое первоначальное положение, нарушенное внутренними или внешними возмущающими воздействиями, или сопротивляться действию возмущений. СС использует информацию об угловом отклонении КА относительно заданного направления в пространстве, получаемую СО, и компенсирует это отклонение [1].

1.1. Гравитационные системы стабилизации

Из всех пассивных систем управления угловым положением малых космических аппаратов наибольшее распространение получили системы гравитационной стабилизации (СГС).

Принцип действия таких систем основан на использовании гравитационного момента, действующего на тело, моменты инерции которого относительно трех взаимно ортогональных осей связанной системы координат

различны. Гравитационный момент стремится сориентировать его так, чтобы ось наименьшего момента инерции совпадала с местной вертикалью, ось наибольшего момента инерции – с перпендикуляром к плоскости орбиты (бинормаль), а третья ось – с направлением движения (трансверсаль). Таким образом обеспечивается трехосная стабилизация спутника в орбитальной системе координат.

Гравитационные системы стабилизации эффективны для МКА, орбиты которых лежат в пределах $200 \text{ км} < H < 2000 \text{ км}$.

При $H < 200 \text{ км}$ действуют большие аэродинамические моменты сопротивления, а при $H > 2000 \text{ км}$ величина градиента гравитационного поля Земли недостаточна для эффективной стабилизации аппарата.

Часто гравитационную систему используют для двухосной ориентации, производя компоновку МКА таким образом, чтобы моменты инерции относительно двух осей были одинаковы и превышали момент инерции относительно третьей оси. Этого добиваются, проектируя МКА в виде гантели (используя гравитационную штангу с грузом на конце) или удлиненного цилиндра. В этом случае аппарат своей продольной осью (осью минимального момента инерции) устанавливается по вертикали места (по радиусу-вектору к центру Земли (рисунок 1). Восстанавливающие гравитационные моменты создаются только вокруг осей тангажа и крена, при этом аппарат имеет возможность вращения вокруг третьей оси – оси рыскания.

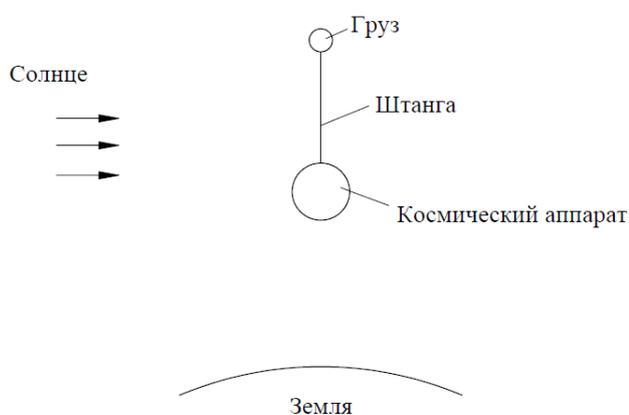


Рисунок 1 – Устойчивое положение равновесия МКА с СГС

Это обеспечивается благодаря неодинаковости гравитационных и центробежных сил, действующих на тела, находящиеся на разном расстоянии от центра Земли [2]. Поясним это более подробно, опираясь на рисунок 2.

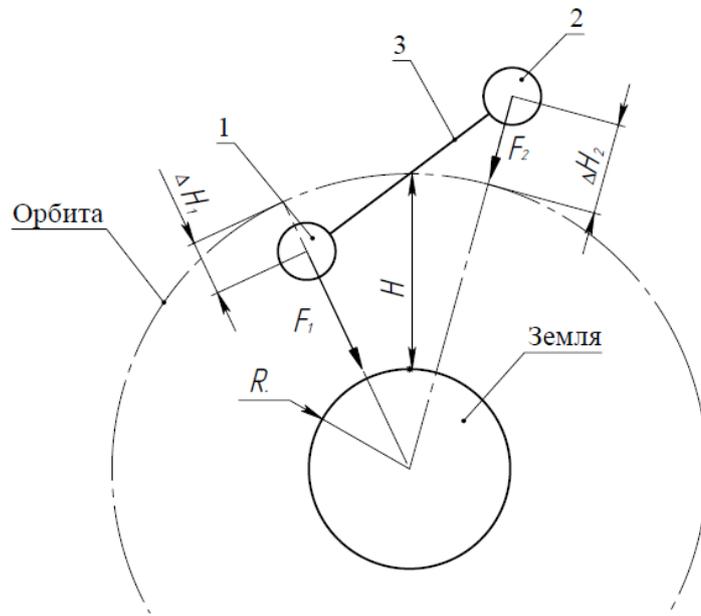


Рисунок 2 – Неравновесное положение МКА

Предположим, что аппарат состоящий из основного тела (масса 1) и груза (масса 2), скрепленных между собой посредством длинного невесомого стержня 3, вращается по орбите в центральном гравитационном поле Земли с постоянной угловой скоростью. Масса 1 расположена ближе к центру Земли, чем масса 2. Это значит, что на нее будет действовать большая гравитационная и центробежной сила, чем на массу 2 ($F_1 > F_2$):

$$F_1 = F_{gp1} + F_{цс1} = f \cdot \frac{M \cdot m}{(R + H - \Delta H_1)^2} + \frac{m \cdot V^2}{R + H - \Delta H_1}$$

$$F_2 = F_{gp2} + F_{цс2} = f \cdot \frac{M \cdot m}{(R + H + \Delta H_2)^2} + \frac{m \cdot V^2}{R + H + \Delta H_2}$$

где F_1 , F_{gp1} , $F_{цс1}$, F_2 , F_{gp2} , $F_{цс2}$ – равнодействующие, гравитационные и центростремительные силы, приложенные к массам 1 и 2 соответственно;

f – гравитационная постоянная;

M – масса Земли;

m – масса тел 1 и 2;

R – радиус Земли;

H – высота орбиты;

$\Delta H_1, \Delta H_2$ – высоты отклонения масс 1 и 2 от орбиты соответственно;

V – линейная скорость центра масс аппарата.

Таким образом, под действием этих сил появляется момент, стремящийся установить аппарат в вертикальное положение. Такое положение будет являться устойчивым положением равновесия. При любом отклонении МКА от базового положения этот момент будет оказывать восстанавливающее воздействие [3].

Такой аппарат имеет еще одно положение равновесия. В нем оба груза находятся на одинаковом расстоянии от центра Земли - гравитационная штанга расположена по касательной к орбите (рисунок 3). При этом силы, действующие на оба груза равны (при условии равенства масс 1 и 2) и суммарный момент отсутствует.

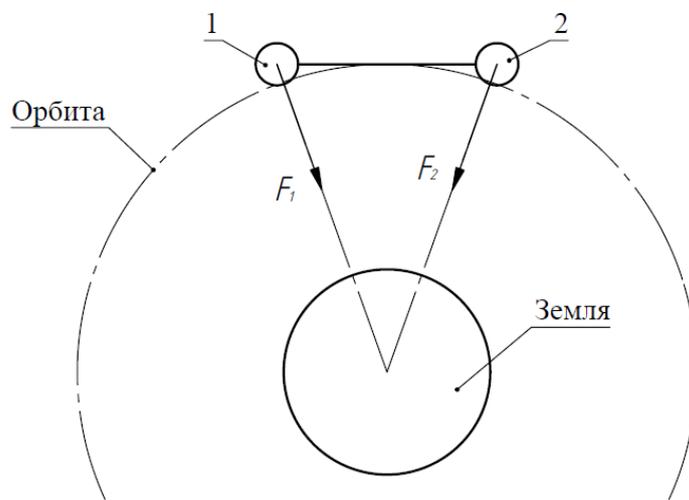


Рисунок 3 – Неустойчивое положение равновесия МКА

Однако такое положение является неустойчивым, поскольку даже при небольшом отклонении от него равенство нарушается и аппарат стремится установиться по вертикали места. При этом в плоскости орбиты спутник будет вращаться относительно своего центра масс со скоростью 1 оборот за полный круг по орбите вокруг Земли (1 об./орб.)

Требование заставить спутник при помощи СГС в заданном устойчивом положении по отношению к планете накладывает ограничения на начальные углы и угловые скорости спутника при отделении от ракеты-носителя. Только при небольших по величине значениях углов и угловых скоростей СГС может предотвратить вращение спутника и обеспечить однозначное по отношению к планете устойчивое положение. Это условие называют условием захвата КА [1].

Поэтому для эффективной стабилизации в случае использования СГС необходимо использования систем предварительного успокоения (СПУ), которые уменьшают большие начальные возмущения, полученные при отделении КА от носителя.

Наряду с гашением начальных угловых скоростей и ускорений важной задачей является уменьшение либрационного движения КА – колебательного движения, вызываемого малыми внешними возмущающими силами (гравитационное поле Солнца, Луны, планет и пр.)

Однако устройство демпфирующих систем для гашения колебаний, основанные для различных принципах действия не являются объектами исследования в данной работе, поэтому не рассматриваются. Демпфирующие системы, основанные на различных принципах действия, подробно описаны в [4].

Способ трехосной гравитационной стабилизации используется в системах типа «Вертистат». Они состоят из основной штанги, жестко скрепленной с корпусом и грузами на ее концах и двух вспомогательных демпфирующих штанг, соединенных с основной посредством пружинно-демпферного механизма, предназначенного для гашения либрационного движения. При движении по орбите основная штанга такого аппарата устанавливается перпендикулярно поверхности Земли. При этом колебания демпфирующих штанг не совпадают по фазе с колебаниями основной штанги, имеющей большую длину. Таким образом имеет место относительное движение

штанг относительно друг друга, приводящее в действие вязкий демпфер пружинно-демпферного механизма. [1].

Вследствие малости гравитационного момента ГСО реализуют невысокую точность ориентации (несколько градусов).

Таким образом, ГСО имеют следующие недостатки:

1. невысокая точность;
2. отсутствие возможности управления угловым положением;
3. необходимость дополнительного демпфирования колебаний;
4. длительное время прихода к устойчивому положению (ввиду малости гравитационных моментов).

малости гравитационных моментов).

1.2. Комбинированные гравитационные системы ориентации

Вышеназванные недостатки можно устранить, скомбинировав пассивную гравитационную с какой-либо активной системой ориентации.

В качестве активных систем ориентации можно использовать такие системы, как:

- газореактивная;
- магнитная (с использованием электромагнитов);
- гироскопическая.

Такое совмещение может позволить управлять угловым положением аппарата, увеличить точность ориентации, а также быстродействие системы (в зависимости от предъявляемых к аппарату требованиям). Особенно удобно применять комбинированные системы в тех случаях, когда более точная ориентация необходима не постоянно, а лишь некоторое время штатной работы МКА (например, при съемке некоторой области поверхности Земли или проведении экспериментов). В остальное время достаточно менее точной стабилизации при помощи СГС. Это позволяет минимизировать затраты электроэнергии МКА.

Одним из возможных вариантов комбинированных систем является пассивная трехосная система стабилизации, представленная в [1]. Она представляет собой комбинированную систему пассивной трехосной стабилизации КА с использованием одновременно двух принципов: гироскопического, обусловленного наличием вращающегося маховика на конце штанги, и принципа стабилизации с помощью восстанавливающих гравитационно-градиентных моментов. Система представляет собой КА в виде гантели, состоящей из двух тел: основного и вспомогательного – вращающегося маховика, которые соединены жесткой связью в виде штанги. В процессе движения КА по орбите продольная ось системы под действием гравитационных моментов устанавливается по местной вертикали, стабилизируя КА по углам крена и тангажа. Ось быстро вращающегося маховика в течении всего времени движения системы будет направлена перпендикулярно плоскости орбиты, задавая тем самым КА требуемое направление по курсу и крену. Однако, система по определению является стабилизирующей, а не управляющей, и, как и все гравитационные системы, обеспечивает невысокую точность ориентации.

3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выполняемая выпускная квалификационная работа бакалавра посвящена проектированию системы ориентации малого космического аппарата (МКА).

Как известно, для выполнения возложенных на космический аппарат функций, ему необходимо некоторым образом ориентироваться в пространстве (ориентация панелей солнечных батарей на Солнце, направление камеры для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в некоторую точку земной поверхности и пр.). Эти функции выполняются системой управления угловым положением МКА.

Наиболее часто на МКА используют пассивные системы ориентации, которые не требуют затрат энергии МКА, и используют особенности внешней среды (магнитное или гравитационное поле Земли, солнечное давление и т.д.). Однако они имеют относительно низкую точность, потому могут использоваться лишь в случае невысоких требований к точности ориентации. Активные же системы обеспечивают более точную ориентацию, но для их работы необходим запас энергии на борту МКА.

В работе рассмотрена комбинированная (активно-пассивная) система ориентации, что позволяет увеличить точность пассивной СО, и уменьшить расход энергии активной СО. Такая система соединяет в себе гравитационную систему ориентации, а также ориентацию посредством двухстепенного гироскопа (гиродина). Она представляет собой гравитационную штангу, на конце которой вместо груза жестко закреплен двухстепенной гироскоп.

3.6. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.6.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования выполняемой бакалаврской работы будет являться разработка системы ориентации для малого космического аппарата.

Проведем сегментацию рынка потребителей по виду оказываемых услуг.

Покупателями данной разработки могут являться, в основном, компании по оказанию услуг спутниковой связи, а также компании, осуществляющие дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) для различных целей (составление спутниковых карт, поиск полезных ископаемых, наблюдение за природными явлениями и чрезвычайными ситуациями и пр.).

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка (компаний) по виду оказываемых услуг.

		Системы ориентации используемых МКА		
		Активные СО	Пассивные СО	Комбинированные СО
Компании по виду оказываемых услуг	Спутниковая связь			
	Дистанционное зондирование Земли			

Цветом в таблице 3 закрашены наиболее используемые и разрабатываемые в настоящее время типы систем ориентации для малых космических аппаратов для того или иного назначения. Таким образом, видно, что для дистанционного зондирования Земли компании используют, в основном, космические аппараты с активными системами ориентации, а для аппаратов спутниковой связи выбираются пассивные и комбинированные СО. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением

может являться разработка комбинированных систем ориентации для аппаратов дистанционного зондирования Земли. Такие системы бы уменьшили энергопотребление КА, при этом не уменьшив точность ориентирования съемочной аппаратуры на какую-либо точку земной поверхности.

3.6.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку конкурентоспособности научной разработки и конкурентных товаров, найти слабые и сильные стороны конкурентов, а также определить направления для будущего повышения сравнительной эффективности разработки.

Для этого составлена оценочная карта для сравнения конкурентоспособности разрабатываемого технического решения и конкурентов.

Таблица 4 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Точность ориентации	0,2	4	5	3	0,8	1	0,45
2. Энергоэкономичность	0,15	5	3	5	0,75	0,45	0,75
3. Надежность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
4. Снижение времени на разработку	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	4	5	0,45	0,6	0,75
7. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
8. Цена	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Итого	1				4,25	3,85	3,9

Анализ конкурентоспособности технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Оцениваемые конкурентные решения представляют собой системы ориентации активного (основанного на свойствах гироскопических систем) К1 и пассивного (гравитационная СО) К2 типов. Такие системы ориентации активно используются для управления угловым положением как малых космических аппаратов, уже находящихся на орбите, так и разрабатываемых в настоящее время ведущими предприятиями космической отрасли.

За наиболее важный технический критерий оценки ресурсоэффективности принята точность ориентации, обеспечиваемая системой ориентации (СО). Из таблицы 2 видно, что конкурентоспособность разрабатываемого технического решения выше, чем конкурентных образцов. Преимущество разработки состоит в увеличении энергоэкономичности изделия за счет объединения активной и пассивной систем ориентации с сохранением точности ориентации на требуемом уровне, уменьшении при этом цены и увеличении надежности.

3.6.3. Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Точность ориентации	0,2	95	100	0,95	0,19
2. Энергоэкономичность	0,15	95	100	0,95	0,14
3. Надежность	0,15	95	100	0,95	0,14
4. Снижение времени на разработку	0,1	85	100	0,85	0,09
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	90	100	0,9	0,09
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	95	100	0,95	0,14
7. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	80	100	0,8	0,08
8. Цена	0,05	95	100	0,95	0,05
Итого	1				96

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки $P_{cp}=96$. Это говорит о высокой конкурентоспособности разрабатываемого технического решения.

3.6.4. 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.

В ходе SWOT-анализа выделены сильные и слабые стороны проекта, а также потенциальные возможности и угрозы, составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Технические преимущества;</p> <p>С2. Универсальность конструкции;</p> <p>С3. Личная заинтересованность исполнителей;</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования;</p> <p>С5. Высокий срок службы.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Относительно долгое время разработки;</p> <p>Сл2. Использование дорогостоящих материалов;</p> <p>Сл3. Спрос только со стороны государства или больших компаний</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование на малых космических аппаратах различного назначения;</p> <p>В2. Возможность автоматизации разработки;</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок;</p> <p>В4. Снижение стоимости материалов;</p> <p>В5. Развитие частного космоса</p>	<p>Ввиду универсальности конструкции есть возможность использовать для аппаратов различного назначения, размеров и форм;</p>	<p>Повышение спроса от частных лиц в случае развития частного космоса, автоматизирование расчетов и разработки при повышении спроса на продукцию (а, соответственно, и увеличении объема производства)</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Повышение стоимости материалов;</p> <p>У2. Развитая конкуренция;</p> <p>У3. Появление усовершенствованной продукции на рынке;</p> <p>У4. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У5. Несвоевременное финансирование научных исследований</p>	<p>Продвижение продукции с акцентированием ее достоинствах; возможно, станет необходимым усовершенствование конструкции.</p>	<p>Замена дорогостоящих материалов более дешевыми, но без потери качества.</p>

Для заполнения матрицы SWOT были построены интерактивные матрицы проекта, т.к. их использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 7-9.

Таблица 7 - Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	-	-	0
	B2	-	+	-	-	0
	B3	-	0	-	-	-
	B4	-	+	-	-	-
	B5	0	+	+	-	-

В ходе анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» выявлены следующие корреляции сильных сторон и возможностей: B1C1C2, B2C2, B4C2, B5C2C3.

Таблица 8 - Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	-	-	+
	B2	+	-	+
	B3	-	-	0
	B4	-	-	-
	B5	-	-	+

В ходе анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» выделены следующие соответствия слабых сторон и возможностей: B1B5Сл3, B2Сл1Сл3.

Таблица 9 - Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Угрозы проекта	У1	-	-	-	+	-
	У2	+	+	0	-	+
	У3	0	0	-	-	0
	У4	0	0	-	-	-
	У5	-	-	-	+	-

В ходе анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» выделены следующие соответствия сильных сторон и угроз: У1С4, У2С1С2С5, У5С4.

Таблица 10 - Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

		Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	-	+	-
	У2	0	-	+
	У3	+	-	-
	У4	0	-	+
	У5	+	0	0

В ходе анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы» выявлены следующие корреляции слабых сторон и потенциальных угроз: У1Сл2, У2У4Сл3, У3У5Сл1.

Третьим этапом проведен анализ интерактивных матриц и предложены основные мероприятия по улучшению и развитию данного проекта. Результаты представлены в таблице 6.

3.7. Планирование научно-исследовательских работ

3.7.1. Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 11 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Утверждение темы проекта	Научный руководитель
	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследований	Постановка задач	Научный руководитель, студент
	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	Подбор литературы по тематике работы	Студент
	Сбор информации и материалов	Студент

Теоретические и экспериментальные исследования	Проведение теоретических обоснований и расчетов	Студент
	Выбор и проработка конструкции	Студент
	Анализ полученных результатов	Студент
	Согласование результатов с научным руководителем	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	Работа над выводами по проекту	Студент
Оформление отчета по НИР	Составление пояснительной записки к работе	Студент

3.7.2. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно данным производственного и налогового календаря на 2016 год, количество календарных дней составляет 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных – 105 дней, а количество праздничных дней – 14, таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,48$$

Таблица 12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожи}$, чел-дни			
Утверждение темы проекта	1	2	2	Руководитель	2	3
Выдача задания по тематике проекта	1	2	2	Руководитель	2	3
Постановка задач	1	2	2	Руководитель, студент	2	3
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	2	3	2	Руководитель, студент	3	4
Подбор литературы по тематике работы	6	7	8	Студент	7	10
Сбор информации и материалов	4	5	5	Студент	5	7
Проведение теоретических обоснований и расчетов	8	9	9	Студент	9	13
Выбор и проработка конструкции	13	14	14	Студент	14	21
Анализ полученных результатов	2	3	3	Студент	3	4
Согласование результатов с научным руководителем	1	2	2	Студент, руководитель	2	3
Оценка эффективности полученных результатов	1	2	2	Студент	2	3
Работа над выводами по проекту	1	2	2	Студент	2	3
Составление пояснительной записки к работе	5	7	7	Студент	7	10

Таблица 13 - Календарный план-график проведения НИР

Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, декады											
			март			апрель			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3	■											
Выдача задания по тематике проекта	Руководитель	3		■										
Постановка задачи	Руководитель, студент	3			■									
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, студент	4			■									
Подбор литературы по тематике работы	Студент	10			■									
Сбор материалов	Студент	7				■								
Проведение теоретических обоснований	Студент	13					■							
Проведение теоретических расчетов	Студент	21						■						
Анализ полученных результатов	Студент	4										■		
Согласование полученных данных с руководителем	Студент, руководитель	3											■	
Оценка эффективности полученных результатов	Студент	3												■
Работа над выводами	Студент	3												■
Составление пояснительной записки к работе	Студент	10												■

3.8. Заключение

В ходе подготовки данного раздела проведен анализ и сегментация рынка потребителей, выявлены наименее занятые ниши; проведен анализ конкурентоспособности разработки по сравнению с конкурирующими разработками, анализ по технологии QuaD, позволяющий оценить качество новой разработки и ее перспективность на рынке.

Произведен SWOT-анализ, в ходе которого выявлены сильные и слабые стороны проекта и политика дальнейших действия для осуществления возможностей и избегания потенциальных рисков.

Таким образом, конкурентоспособность выполняемой разработки выше, чем у аналогичных конкурентных разработок, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки $P_{cp}=96$, что характерно для конкурентоспособных и перспективных проектов.

Определили структуру работ в рамках научного исследования, а также временной график его выполнения с поправкой на календарность (диаграмма Ганта). Так, общее время выполнения работ составляет 87 дней.

Список публикаций студента

В процессе работы по тематике дипломного проекта было опубликовано две статьи:

1) Hybrid gravitational orientation system of small spacecraft / V. Dmitriev, R. Frolov, A. Bekasova // MATEC Web of Conferences: IV Russian Forum for Young Scientists with International Participation «Space Engineering» - Tomsk, 2016.

2) Комбинированная гравитационная система ориентации космического аппарата. / А.Г. Бекасова, Р.А. Фролов, В.С. Дмитриев // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность. Сборник трудов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016.