

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 для управления малым космическим аппаратом

УДК 629.783.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Фролов Руслан Андреевич		

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

<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>Аналитический обзор служебных систем космических аппаратов, проектирования малого космического аппарата с учётом принципа работы и функций комбинированной гравитационной системы ориентации, компоновка всех комплектующих.</p> <p>Дополнительные разделы: «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение», «Вопросы технологии».</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема малого космического аппарата, 3D-модель разрабатываемого аппарата, сборочный чертёж кабельной катушки, рабочий чертёж крышки.</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> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дмитриев Виктор Степанович	д.т.н.		01.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Фролов Руслан Андреевич		01.02.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«Вопросы технологии»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Фролову Руслану Андреевичу

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 чертёж кабельной катушки, рабочий чертеж крышки, спецификация, операционная и маршрутная карта сборки и крышки сквозной.</i>
3. ГОСТы, стандарты, нормали, справочники	ГОСТ 2.004-88 ЕСКД ГОСТ 14.301—73 ЕСТПП и др.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Определение сборочного состава изделия	ГОСТ 2.004-88 ЕСКД
2. Оценка технологичности конструкции изделия	ГОСТ 14.301—73 ЕСТПП.
3. Разработка технологического процесса сборки изделия	Справочник по допускам и посадкам
4. Обоснование выбора материала и расчет потребного количества необходимого материала	Справочники по станочному оборудованию, оснастки и инструменту
5. Оценка технологичности детали «втулка». Разработка технологического процесса изготовления детали «втулка»	

Перечень разработанной документации (с точным указанием обязательных чертежей):

Сборочный чертеж кабельной катушки, рабочий чертеж крышки сквозной
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	4.05.2016
---	-----------

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	Фролов Руслан Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Фролову Руслану Андреевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	бакалавриат	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	Определение структуры работ в рамках научного исследования, определение участников каждой работы, установление продолжительности работ, построение графика проведения научных исследований.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Разработка технического задания и выбор направления исследований
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Теоретические и экспериментальные исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Обобщение и оценка результатов, оформление отчета по НИР

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений	
2. Матрица SWOT	
3. Альтернативы проведения НИ	
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			14.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Фролов Руслан Андреевич		14.03.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Фролову Руслану Андреевичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Точного приборостроения
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 малый космический аппарат (МКА), основная часть которого (корпус) выполнен из конструкционного сплава на основе магния МА21. Областью применения данного МКА является околоземное космическое пространство. Аппарат предназначен для дистанционного зондирования Земли. Рабочим местом является отдельное помещение.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p><i>Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)</i></p> <p><i>Вредные</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Отклонение показателей микроклимата;</i> <i>2. Повышенный уровень шума в рабочем помещении;</i> <i>3. Недостаточное освещение;</i> <i>4. Психоэмоциональное воздействие;</i> <p><i>Опасные</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. Также в данном разделе рассмотрена проблема «космического мусора», которая имеет непосредственное отношение к эксплуатации разрабатываемого устройства.</i></p>

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<i>Возможной чрезвычайной ситуацией является возникновение пожара.</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 Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Фролов Руслан Андреевич		

Реферат

Пояснительная записка содержит 80 стр, 22 таблицы, 12 рисунков и 3 приложения.

Ключевые слова: проектирование, малый космический аппарат, служебные системы космического аппарата, комбинированная гравитационная система ориентации, космос.

Целью данной работы является проектирование малого космического аппарата с учётом принципа работы и функций комбинированной гравитационной системы ориентации, а также полная компоновка всех его комплектующих.

Объектом разработки является проектируемый корпус малого космического аппарата.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, все необходимые чертежи и 3D – модели выполнены в таких CAD - системах как SolidWorks и T-Flex CAD.

В будущем планируется применение полученных знаний и навыков, приобретенных за время подготовки.

Список сокращений

- КА – космический аппарат;
- МКА – малый космический аппарат;
- ИСЗ – искусственный спутник Земли;
- СБ – солнечные батареи;
- ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли
- АБ – аккумуляторная батарея;
- БК – бортовой компьютер;
- БКУТ – блок контроля и управления током;
- БУ СПП – блок управления системой приема-передачи;
- ЭМУ – электромагнитное устройство;
- БУ ЭМУ – блок управления ЭМУ;
- ДС – датчик Солнца;
- ЗРУ – зарядно-разрядное устройство;
- КГСО – комбинированная гравитационная система ориентации;
- РТ – регулятор тока;
- ДТ – термодатчик;
- ЭВТИ – экранно-вакуумная теплоизоляция;
- СЭП – система электропитания;
- ЦУП – центр управлениями полётов;
- ТЗ – техническое задание.

Оглавление

Введение.....	15
1. Системы космического аппарата.....	16
2. Состав служебных систем и аппаратуры на борту малого космического аппарата.....	18
2.1. Система ориентации.....	19
2.2. Система электропитания.....	21
2.3. Система термостабилизации	22
2.4. Система телеметрии	23
2.5. Полезная нагрузка	24
2.6. Блок управления системами МКА.....	26
3. Проектирование МКА	28
3.1. Выбор материала и размер силовой конструкции	28
3.2. Проектирование силовой конструкции спутника	29
3.3. Силовой элемент МКА	30
3.4. Крышка корпуса МКА	32
3.5. Сборка малого космического аппарата.....	32
3.6. Расчет собственных резонансных частот каркаса МКА	34
3.7. Проведение статического прочностного анализа	35
4. Раздел «Вопросы технологии»	37
4.1. Введение	37
4.2. Техническое описание изделия.....	38
4.3. Определение сборочного состава изделия.....	38
4.4. Выбор организационной формы сборки и метода сборки.....	39
4.5. Разработка технологического процесса сборки	39

4.6. Анализ технологичности крышки сквозной. Обоснование выбора материала.	41
4.7. Анализ технологичности изделия как сборочной единицы.....	42
4.8. Заключение.....	45
5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	46
Введение.....	46
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	47
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	47
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	48
5.1.3. Технология QuaD.....	49
5.1.4. SWOT-анализ.....	50
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	52
5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	52
5.2.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	53
5.2.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	56
5.3. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
5.4. Заключение.....	64
6. Раздел «Социальная ответственность».....	65
Введение.....	65
6.1. Производственная безопасность.....	66
6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов на рабочем месте.....	66
6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов на рабочем месте.....	72
6.2. Экологическая безопасность.....	73

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	76
Заключение	78
Список публикаций студента.....	79
Список использованных источников	80
Приложение А. Графические материалы	
Приложение Б. Операционные и маршрутные карты	

Введение

Обеспечение заданного углового положения любого космического аппарата в течение всего полёта является одной из основных проблем, встречающихся при проектировании и разработке космического аппарата (КА).

Ориентация искусственного спутника Земли может осуществляться различными способами. Одним из самых распространенных способов для малых космических аппаратов является гравитационная ориентация. Но основной принципиальный недостаток всех пассивных гравитационных систем ориентации заключается в том, что они по определению являются стабилизирующими системами углового положения КА, а не управляющими. Поэтому было предложено использовать комбинированную гравитационную систему ориентации для управления малого космического аппарата (МКА), устройство и принцип работы которой описан в заявке на выдачу патента на изобретение № 2016114988 от 18.04.2016 г.

Т.к. данная работа является групповым дипломным проектом, то она была разделена на две части, которые включали в себя проектирование малого космического аппарата (МКА) и комбинированной гравитационной системы ориентации.

Непосредственной целью данной работы является проектирования МКА с учётом принципа работы и функций комбинированной гравитационной системы ориентации, а также полная компоновка всех комплектующих.

1. Системы космического аппарата

Техническое оснащение играет огромную роль в любой космической миссии, а т.к. малые спутники имеют серьёзные ограничения по массе и расходуемой мощности, то именно поэтому при проектировании малых космических аппаратов (МКА) данной теме отводится достаточное количество внимания. Благодаря научно-техническому прогрессу, люди смогли создавать космические аппараты меньших габаритов и масс, тем самым существенно снизив затраты на проектирование и вывод КА на орбиту.

Условно все функциональные системы космического аппарата можно разделить на 6 основных подсистем: система ориентации, система электропитания, система термостабилизации, система телеметрии, механические системы, а также полезная нагрузка.

Если рассматривать все эти системы по степени важности, то в первую очередь стоит выделить систему ориентации спутника. С помощью этой системы, искусственный спутник Земли (ИСЗ) движется по заданной траектории и с заданной ориентацией. Как правило, спутник в космическом пространстве должен быть ориентирован заданным образом для выполнения своего функционального назначения, именно поэтому система ориентации является неотъемлемой частью системы управления.

Для определения углового движения люди привыкли использовать некоторые небесные светила, а также их свойства, как ориентиры, это могут быть – Солнце, яркие звезды или Земля, магнитное или гравитационное поле Земли и т.п. Ориентация условно делится на два типа: одноосную и полную (трехосную). Соответственно угловое положение тела определяется относительно всех трех осей системы координат, связанной со спутником, при трёхосной ориентации, а по одной из осей спутника относительно какого-либо ориентира называется одноосной. Управление ориентацией спутников

позволяет эффективно решать множество практических и фундаментальных задач. [1]

Всем известно, что источником энергии для спутника служит аккумуляторная батарея, ёмкость которой ограничена, поэтому для её зарядки используют солнечные батареи (СБ). СБ — один из основных способов получения энергии в космосе на КА. Они могут работать достаточно долгое время без расхода дополнительных материалов, преобразовывая солнечный свет в электрический сигнал. Поэтому СБ смело можно считать экологически безопасными, в отличие от ядерных и радиоизотопных источников энергии.

КА непрерывно получает тепло от различных внутренних приборов и если не позаботиться об отводе тепла, то аппаратура может выйти из строя, именно для этого разработали систему термостабилизации. Данная система является служебной и поддерживает баланс между получаемой тепловой энергией и её отдачей. Она контролирует температуру внутри МКА в заданных пределах.

У любого КА есть своё функциональное назначение, для которого его выводят на орбиту. Поэтому выводить аппарат в открытый космос без смысловой нагрузки было бы глупо и нерационально, таким образом, было принято решение установить на борту МКА камеру и соответствующую аппаратуру для зондирования Земли. Вообще, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) можно представить, как процесс, благодаря которому осуществляется сбор информации о планете Земля без непосредственного контакта с ней. За последние несколько десятилетий, в связи с большой заинтересованностью в исследованиях подобного типа, данная область достигла определенного уровня развития и открыла наукам о Земле множество новых возможностей изучения поверхности нашей планеты. Поэтому на наш взгляд, данная область исследований в настоящее время является актуальной. [2]

2. Состав служебных систем и аппаратуры на борту малого космического аппарата

Основной задачей проектирования в данной работе является создание корпуса МКА для рационального и компактного размещения всех его комплектующих. Исходя из габаритов блока полезной нагрузки и других служебных систем, аппарат получился в виде параллелепипеда с размерами 334x314x310 мм.

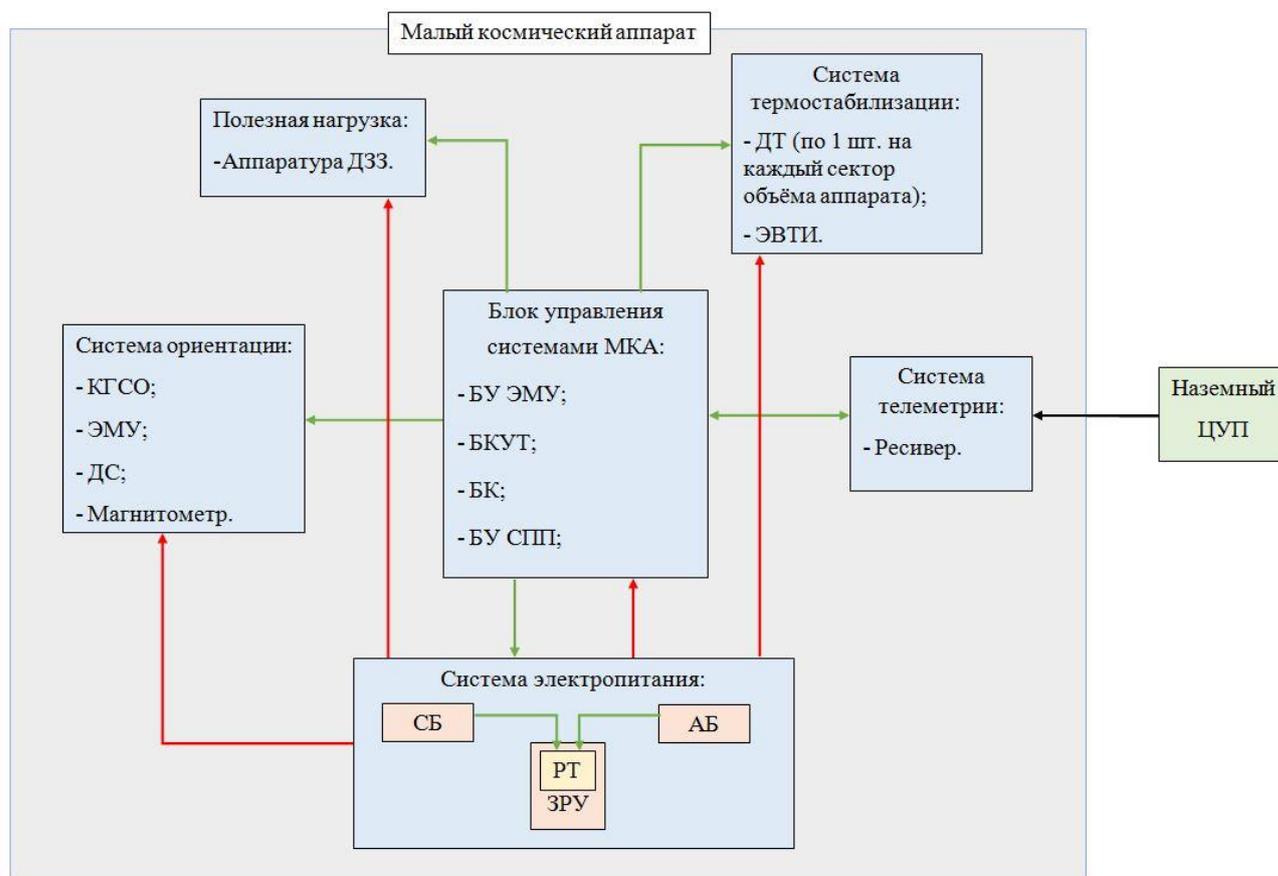


Рисунок 1 – Структурная схема МКА;

АБ – аккумуляторная батарея, БК – бортовой компьютер, БКУТ – блок контроля и управления током, БУ СПП – блок управления системой приема-передачи, БУ ЭМУ – блок управления ЭМУ, ДС – датчик Солнца, ЗРУ – зарядно-разрядное устройство, КГСО – комбинированная гравитационная система ориентации, РТ – регулятор тока, СБ – солнечные батареи, ДТ – термодатчик, ЭВТИ – экранно-вакуумная теплоизоляция, ЭМУ – электромагнитное устройство.

На рисунке 1 представлена структурная схема проектируемого МКА, где красными линиями обозначено питание, а зелёными – управление. Рассмотрим основные блоки МКА подробнее.

Основные эксплуатационные характеристики спутника приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные эксплуатационные характеристики МКА

Габариты в собранном состоянии, мм	300×300×300
Максимальная масса, кг	20
Максимальное энергопотребление, Вт	15
Полезная нагрузка	Аппаратура для ДЗЗ
Ресурс (расчетный), год	не менее 5 лет
Температурный режим, °С	0 ± 60
Тип системы ориентации	активная

2.1. Система ориентации

Система ориентации предназначена для ориентирования КА заданным образом и управления угловой ориентацией спутника по заданным алгоритмам (4 режима – 1, 2, 3, 4). В состав системы ориентации входят:

– Электромагнитные устройства (ЭМУ), которые широко используются в составе магнитных систем стабилизации микроспутников для обеспечения режимов ориентации, не требующих большой точности или быстродействия. Это, как правило, одноосные режимы ориентации и режимы, обеспечивающие гашение угловой скорости вращения аппарата. В нашем случае, ЭМУ предназначены для демпфирования начальных угловых скоростей МКА. Также ЭМУ используется как разгрузочный элемент для создания противомомента. Для демпфирования угловых скоростей по трём осям в малом космическом аппарате должны быть установлены, как минимум 3 электромагнитных устройства, расположенные взаимно перпендикулярно;

– Датчик Солнца (ДС), в основе работы которого лежит преобразование засветки светочувствительных элементов солнечным светом в вектор

направления на Солнце и предназначенный для определения угла между оптической осью датчика и направлением на центр Солнца;

– Магнитометр, который используется для измерения вектора магнитного поля Земли по трём осям МКА.

– Комбинированная гравитационная система ориентации (КГСО) – одна из бортовых систем космического аппарата, обеспечивающая заданное положение осей аппарата в системе координат, которая представляет собой гравитационную штангу, на конце которой в качестве груза закреплен двухстепенный гироскоп (гиродин).

Такую гравитационную систему ориентации можно назвать активно-пассивной, т.к. она совмещает в себе достоинство пассивной в части минимизации потребления энергии во время пауз в работе целевой аппаратуры, и при этом остается постоянно нацелена на поверхность Земли.

В период штатной работы аппаратуры данная система ориентации имеет возможность программного наведения КА на заданную цель с требуемой точностью. Точность гравитационной системы ориентации составляет $(5 - 10)^\circ$, а комбинированная система ориентации в активном режиме в принципе может обеспечить точность до десятых минут.

Ввиду того, что активная фаза штатной работы аппаратуры занимает какую-то часть общего времени эксплуатации КА, имеет место определенная экономия потребления электроэнергии, что является особенно актуальным для малых космических аппаратов.

2.2. Система электропитания

Система электропитания (СЭП) МКА обеспечивает распределение электрического питания на всю бортовую аппаратуру в соответствии с техническими требованиями. В состав комплекта СЭП включены:

- Панели солнечных батарей (СБ) являются первичным источником получения энергии в космическом пространстве;

- Аккумуляторная батарея (АБ) является источником тока многоразового действия, что позволяет в этой ёмкости циклически накапливать энергию и распределять по всем блокам МКА;

- Зарядно-разрядное устройство (ЗРУ), предназначенное для заряда или разряда аккумуляторных батарей. Устройство может работать в ручном или полностью автоматическом режиме. На сегодняшний день, данное устройство не имеет аналогов в мире и относится к так называемым умным зарядным устройствам;

- Регулятор тока (РТ) зарядно-разрядного устройства, выполняемый функцию токового ограничителя. Благодаря РТ можно уменьшить или увеличить ток заряда аккумулятора, оставив при этом прежним напряжение зарядки.

Данная система работает достаточно складно, т.е. пока КА находится на солнечной стороне орбиты, СБ преобразовывают поступающий солнечный свет в электрическую энергию. Затем, преобразованный электрический ток проходит через регулятор тока ЗРУ для того, чтобы уменьшить его объём, поступающий на прямую с СБ. Уменьшенный ток поступает в АБ, тем самым заряжая её. АБ непосредственно связана с блоком контроля и управления током (БКУТ), поэтому распределением электрической энергии по всем служебным системам МКА занимается данный блок.

2.3. Система термостабилизации

КА непрерывно получает тепло от различных внутренних приборов и если не позаботиться об отводе тепла, то аппаратура может выйти из строя, именно для этого разработали систему термостабилизации. Данная система является служебной и поддерживает баланс между получаемой тепловой энергией и её отдачей. Она контролирует температуру внутри МКА в заданных пределах.

В космосе в зависимости от того имеется ли поблизости источник теплового излучения или нет может быть либо очень жарко, либо очень холодно. Поэтому для правильного функционирования аппаратуры в МКА необходимо поддерживать определенный диапазон температур, чтобы она не замерзла в тени и не перегрелась под прямыми лучами Солнца. И чтобы остановить передачу тепла между аппаратом и внешней средой, на пути инфракрасных лучей ставят преграду – экран.

Для КА такой преградой является ЭВТИ - экранно-вакуумная теплоизоляция. Благодаря ЭВТИ можно существенно уменьшить влияние внешнего теплообмена на внутренний тепловой режим КА, а в некоторых случаях снизить это влияние до малой величины.

Элемент такой теплоизоляции представляет собой пакет, собранный из непрозрачных для излучения экранов и прокладочного материала, призванного предотвратить в значительной мере контакт между экранами и уменьшить тем самым кондуктивный теплоперенос. В зависимости от условий эксплуатации экраны выполняются из полимерных пленочных материалов или металлической фольги. В качестве прокладочного материала используют стекловуали, холсты из штапельного кварцевого волокна, капроно-трикотажные сетки и др.

В необжатом, отвакуумированном пакете теплоперенос через теплоизоляцию осуществляется в основном за счет теплообмена излучением между экранами. Для оценки теплоизоляционных свойств ЭВТИ предположим,

что теплопроводность остаточного газа и теплоперенос теплопроводностью через места контактов экранов пренебрежимо малы по сравнению с переносом тепла за счет лучистого теплообмена между экранами.

Если же ЭВТИ обеспечивает защиту от внешнего теплового излучения, то датчики температуры (ДТ) контролируют температуру каждого сектора, расположенного внутри МКА. При перегреве какого-либо блока электроники, ДТ передаёт сигнал на БК и, таким образом, происходит временное отключение данной системы, на период остывания перегревшегося элемента.

2.4. Система телеметрии

Телеметрия – совокупность технологий, позволяющая производить удалённые измерения и сбор информации для предоставления оператору или пользователю. Все ИСЗ имеют в составе бортовой аппаратуры блок телеметрии, который собирает информацию о параметрах работы систем спутника и по радиоканалу отправляют полученные данные на Землю. Система телеметрии также является одной из основных служебных систем КА без работы которой не было бы связи со спутником. Она состоит из ресивера (передатчик ультракоротких волн), который предназначен для передачи и приема телеметрической информации для радиообмена КА с наземным ЦУП.

2.5. Полезная нагрузка

Очень часто спутники малых размеров используют для испытаний различных электронных компонентов, конструктивных и технологических решений в условиях реального космоса, чтобы в дальнейшем использовать их в производстве более крупных КА. А вообще, исследователи ограничиваются только габаритами, весом и энергетическими возможностями, предоставляемыми на борту МКА. [3]

Полезная нагрузка космического аппарата или полезный груз космического аппарата – это количество, тип или масса полезного оборудования, определяющего цель космического аппарата. В технической литературе обычно используются сокращения этого термина: «ПГ» (полезный груз) или «ПН» (полезная нагрузка). [3]

В качестве полезной нагрузки используется фотокамера определенного разрешения для проведения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Дистанционное зондирование можно представить, как процесс, благодаря которому осуществляется сбор информации о планете Земля без непосредственного контакта с ней. За последние несколько десятилетий, в связи с большой заинтересованностью в исследованиях подобного типа, данная область достигла определенного уровня развития и открыла наукам о Земле множество новых возможностей изучения поверхности нашей планеты. Поэтому на наш взгляд, данная область исследований в настоящее время является актуальной.

Само понятие «дистанционное зондирование» включает в себя регистрацию (запись) электромагнитных излучений с помощью разнообразных камер, микроволновых приёмников, радиолокаторов и других приёмников такого типа. Дистанционное зондирование охватывает теоретические исследования, лабораторные работы, полевые наблюдения и сбор данных с борта самолетов и искусственных спутников Земли. Теоретические и полевые методы важны также для получения информации о морском дне, атмосферы

Земли, Солнечной системе, и возможно даже когда-нибудь их начнут использовать для изучения других планетных систем Галактики. Некоторые наиболее развитые страны регулярно запускают искусственные спутники для сканирования поверхности Земли и межпланетные космические станции для исследований дальнего космоса. [4]

Для того, чтобы обеспечить непрерывность получения данных высокого разрешения необходимо изготовить камеру, работающую в двух режимах (панхроматическом и мультиспектральном), под размеры проектируемого МКА с соответствующими характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики камеры для ДЗЗ

Характеристики \ Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный (4 спектральных канала)
Пространственное разрешение	2 м	8 м
Ширина полосы съёмки	60 км	
Ширина полосы обзора	600 км	
Производительность	3 млн. км ² в сутки	
Габариты	180x180x180	
Масса	не более 8,5 кг	

2.6. Блок управления системами МКА

Блок управления системами МКА обеспечивает логическую обработку, размножение и усиление разовых команд, тем самым управляя и контролируя всеми системами в соответствии с заложенными алгоритмами в ручном и автоматическом режимах функционирования МКА. Блок включает в себя следующие элементы:

- Блок управления электромагнитными устройствами (БУ ЭМУ) предназначен для управления электромагнитными устройствами МКА. Он обеспечивает одновременное и независимое друг от друга управление тремя электромагнитными устройствами. БУ ЭМУ обеспечивает четыре режима работы ЭМУ:

1 – режим успокоения (происходит успокоение КА после отделения от ракетносителя);

2 – рабочий режим (приведение КА в рабочее положение);

3 – аварийный режим;

4 – режим восстановления ориентации (приведение КА в рабочее положение после нештатной ситуации).

– Блок управления системой приема-передачи (БУ СПП) отвечает за подачу команд на передатчик ультракоротких волн и приём информации с наземного ЦУП;

– Бортовой компьютер (БК) отвечает за логическую обработку данных и является цифровым электронным вычислительным устройством;

– Блок контроля и управления током (БКУТ) отвечает за распределение электрической энергии по всем служебным системам МКА и остальной электроники.

2.7. Расчет и выбор солнечных батарей

Было принято использовать четырехкаскадные ФЭП из арсенида галлия с КПД 35%. Мощность, у таких ФЭП, в начале работы составляет 460 Вт/м², а в конце срока активного существования 370 Вт/м².

Посчитаем сколько будет вырабатываться всего энергии с 1 м² при действующем КПД:

$$x_1 = \frac{460 \cdot 35}{100} = 161 \text{ Вт/м}^2;$$

Произведем расчет необходимой площади СБ исходя из необходимой и вырабатываемой мощностей:

$$S_2 = \frac{20}{161} = 0,12 \text{ м}^2;$$

Исходя из габаритных размеров разрабатываемого МКА рассчитаем площадь, которую можно использовать для СБ (условно разделив стенки корпуса на 9 равных частей площадью по 0,01 м²):

$$S_2 = 0,09 \cdot 7 = 0,63 \text{ м}^2;$$

Из них в активном пользовании 0,45 м² (далее расчёт идет именно для активной части) и резервных - 0,18 м².

Но необходимо учитывать износ СБ, поэтому на конец срока активного существования СБ будут вырабатывать:

$$x_2 = \frac{370 \cdot 35}{100} = 129,5 \text{ Вт/м}^2;$$

Проверим хватит ли этой мощности для обеспечения 20 Вт:

$$S_3 = \frac{20}{129,5} = 0,15 \text{ м}^2;$$

Из проделанных расчётов, можно сделать вывод, что выбранный тип СБ совершенно удовлетворяет исходным данным и поэтому абсолютно подходит для разрабатываемого МКА.

3. Проектирование МКА

3.1. Выбор материала и размер силовой конструкции

Вывод КА на орбиту является трудоёмким и финансовозатратным. Однако следует помнить, что основная стоимость вывода полезной нагрузки на орбиту заключается в стоимости создания и подготовки к запуску одноразовой ракеты носителя, причём каждый килограмм веса КА обходится примерно в \$1 – 2 тыс./кг. Поэтому необходимо максимально облегчить вес аппарата и его габаритные характеристики [5]

Особая облегченная форма силового корпуса и составных элементов конструкции, а также применение конструкционных материалов и сплавов помогает существенно сократить массогабаритные параметры.

В связи с необходимостью облегчения конструкции было решено использовать магниево-литиевый сплав, т.к. магний является самым лёгким из всех применяемых в технике металлов. Для изготовления более технологической детали был выбран сплав МА21, который относится к числу лёгких конструкционных сплавов на основе магния (в сплаве его 76-85%), с добавлением лития (7-10%), алюминия (4-6%) и других металлов. Такое соединение позволяет существенно уменьшить общий вес конструкции (удельный вес МА21 около $2,0 \text{ г/см}^3$), что немаловажно для проектирования МКА.

Необходимым условием при проектировании МКА было создание конструкции корпуса. Т.к. аппаратура для ДЗЗ из-за своих размеров занимает большую часть аппарата, то для того, чтобы разместить все остальные элементы, габаритные размеры МКА должны быть около 300x300x300 мм.

Корпус должен быть спроектирован таким образом, чтобы на платформу было возможно установить все служебные системы и полезную нагрузку, а также для удобства произведения монтажа элементов.

3.2. Проектирование силовой конструкции спутника

Необходимым условием при проектировании МКА было создание конструкции корпуса с целью разработки необходимых размеров конфигурации спутника в зависимости от размеров печатных плат различных систем спутника и полезной нагрузки.

Корпус малого космического аппарата состоит из каркаса и двух крышек и представляет собой прочную и жесткую конструкцию. Масса корпуса составляет 6,1 килограмма. На рисунке 3 представлена трехмерная модель корпуса.

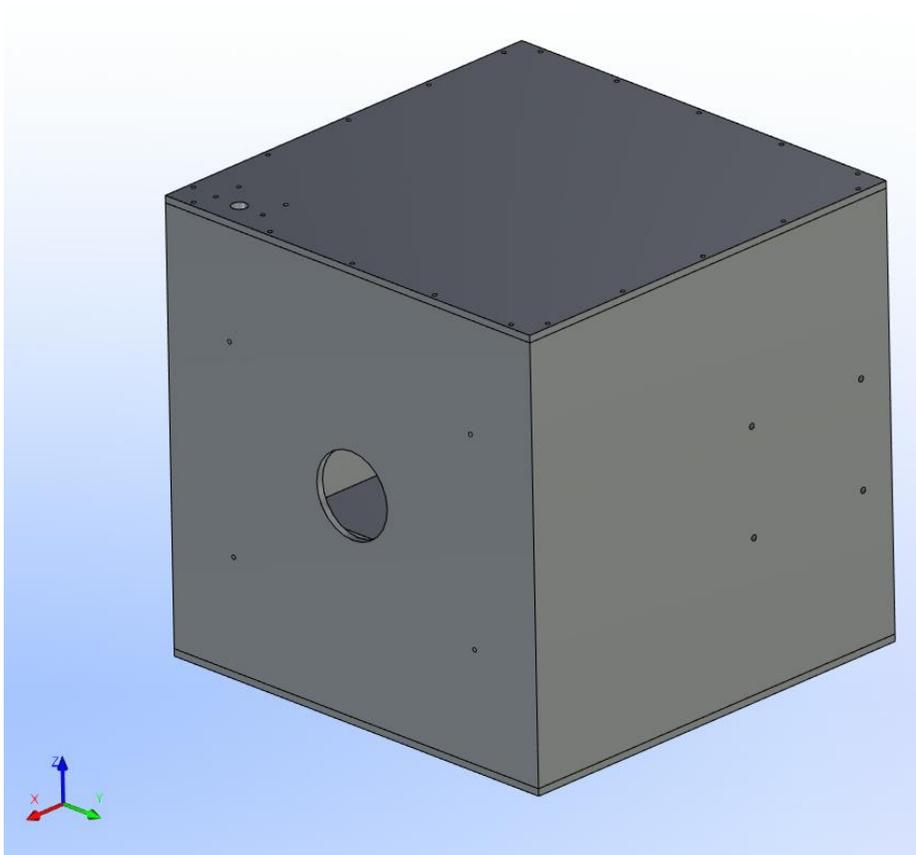


Рисунок 3– Корпус МКА

3.3. Силовой элемент МКА

Основным силовым элементом корпуса является каркас размером 310x310x300 мм, выполненный из МА21 (рисунок 4).

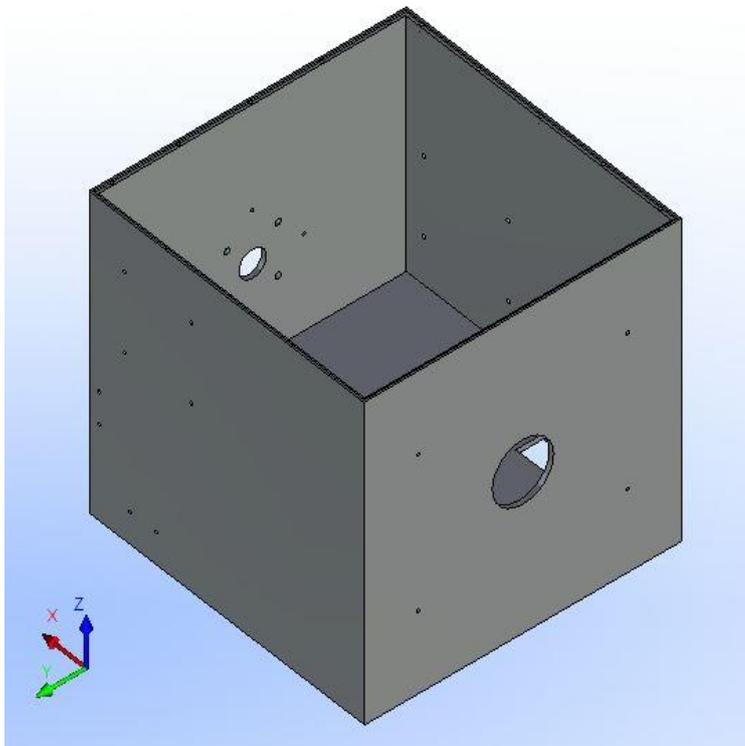


Рисунок 4 – Силовой элемент корпуса

Стенки каркаса имеют толщину 5 мм. В нижней части каркаса сделана перегородка с квадратными отверстиями для облегчения веса конструкции и размещения электромонтажа по всей части МКА. Данная перегородка несёт двойную функцию, она служит элементом жесткости корпуса и делит корпус на две части для более удобного процесса сборки систем МКА.

СБ расположены на лицевой и задней стороне корпуса, а по бокам они сложены в гармошку и при переходе из транспортного положение в рабочее, СБ раскрываются как показано на рисунке 5. А на нижней стороне корпуса расположены антенны приемника и передатчика.

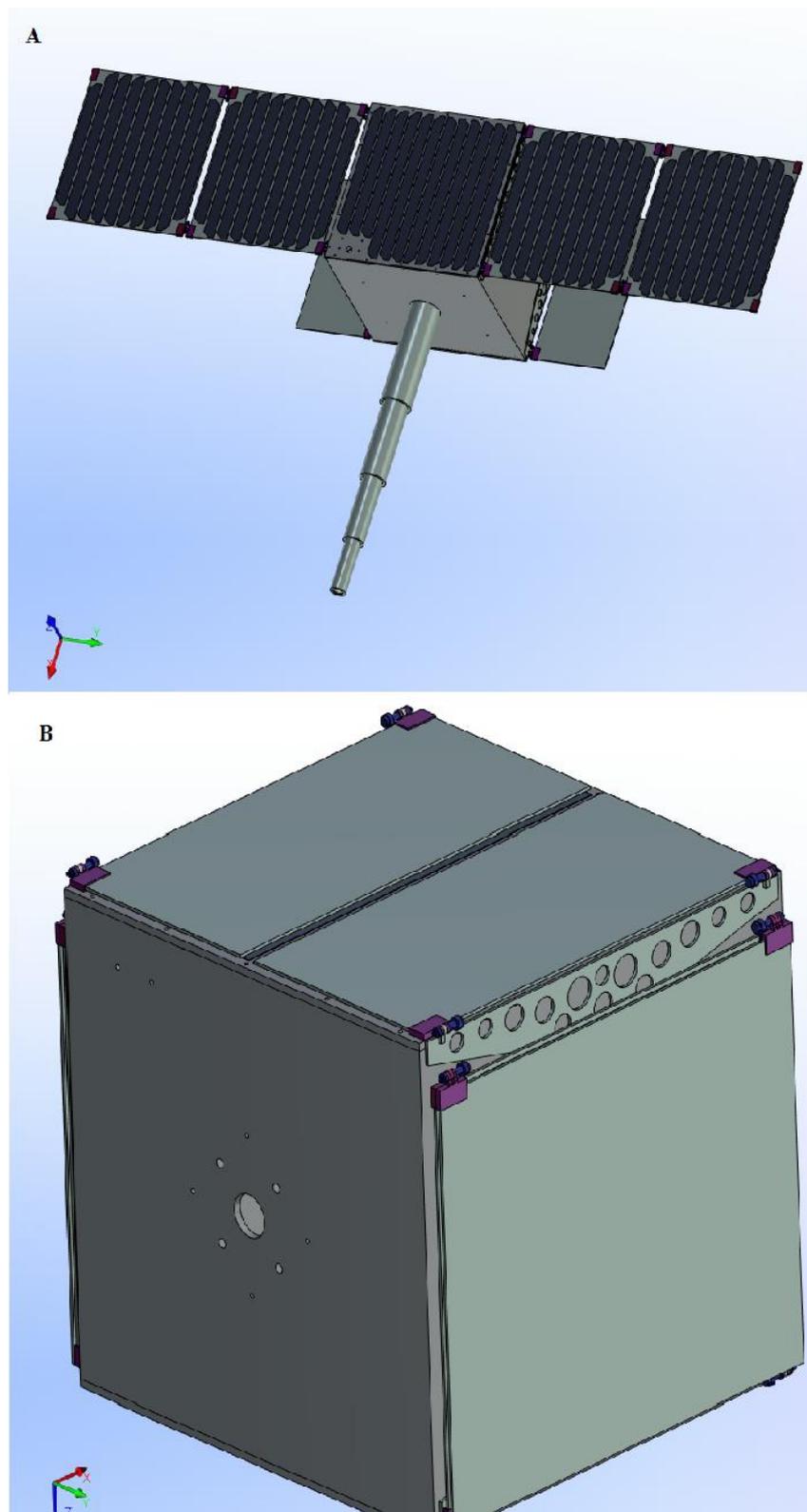


Рисунок 5 – Положение СБ в МКА: А – транспортное положение;
В – рабочее (КГСО – условно не показана)

3.4. Крышка корпуса МКА

Крышки закрывают корпус МКА при помощи винтовых соединений, они также выполнены из сплава МА21. На обеих крышках закрепляются ДС, поэтому для их размещения имеются дополнительные отверстия.

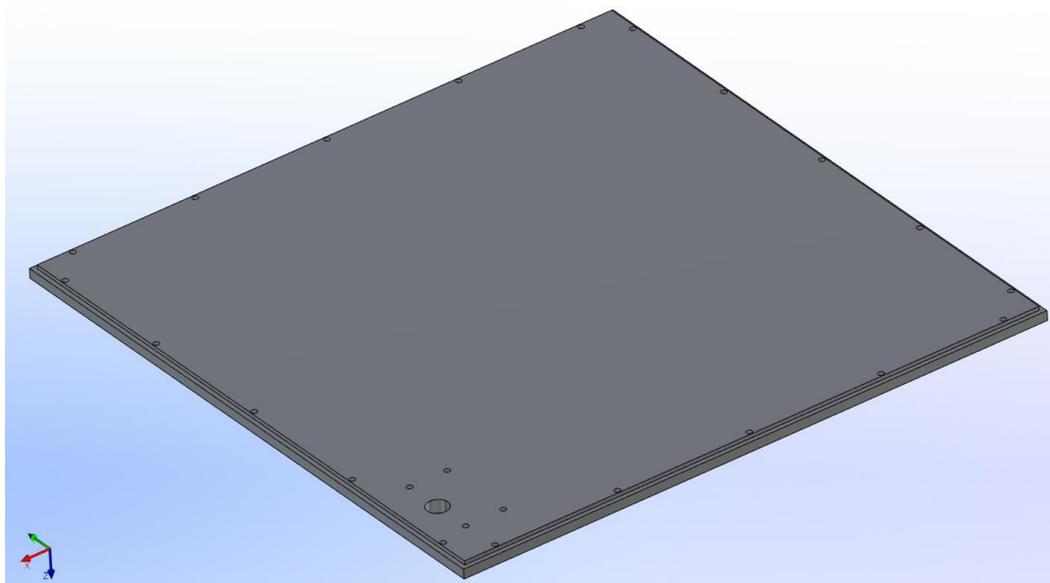


Рисунок 6 – Крышка корпуса МКА.

3.5. Сборка малого космического аппарата

Исходя из вышеприведенного состава служебных систем и согласно установленным инструкциям по сборке, производится установка этих систем на борту МКА. Аппаратура МКА закрепляется внутри корпуса за счёт винтовых соединений. В приложении А представлен сборочный чертёж трехмерной модели МКА, для подробного обзора устанавливаемых систем.

Все элементы и служебные системы расположены по периметру корпуса. Такая компоновка позволяет проводить демонтаж отдельных узлов, не воздействуя при этом на соседние элементы.

Для установки некоторых датчиков выдвигаются особые требования. Например, универсальный блок измерителей магнитного поля и угловой скорости должен быть удален от магнитных элементов конструкции МКА и

аккумуляторных батарей на расстояние не менее 200 мм, в связи с тем, что он содержит измеритель магнитного поля.

Электромагнитные устройства располагаются вдоль трёх осей спутника. Они также должны быть удалены от магниточувствительных приборов типа магнитометров на расстояние не менее 200 мм.

После установки всей аппаратуры, а также печатных плат производится электромонтаж и подвод питания к служебным системам. Монтажные провода в 3D модели условно не показаны.

Затем корпус МКА со всей аппаратурой закрывается с двух сторон крышками с СБ, после чего проводится монтаж спутниковой антенны и КГСО.

Масса МКА с учётом всех её служебных систем составляет 27,24 кг. В таблице 2 приведена весовая сводка аппарата.

Таблица 2– Весовая сводка МКА

Элементы МКА	Масса, кг
Каркас МКА	3,8
Крышка МКА	1,1
Аппаратура ДЗЗ	8,5
ДС	0,2
СЭП	0,5
БУ	0,35
ЭМУ (3 шт.)	0,25
Ресивер	0,09
Антенны	0,35
СБ	1,5
КГСО	9,5
	Σ 27,24

3.6. Расчет собственных резонансных частот каркаса МКА

Частотный анализ конструкции проведен с целью исключения возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс. Как известно, суть резонанса заключается в значительном (в десятки раз и более) усилении амплитуд вынужденных колебаний на частотах внешних воздействий, совпадающих с частотами собственных колебаний элементов конструкции – так называемых резонансных частотах [6].

Поскольку в ТЗ не был задан диапазон собственных частот для каркаса МКА, то минимальное значение его собственной частоты принято в 150 Гц, исходя из принятого значения резонансных частот для изделий космического назначения. В связи с этим, для удовлетворения конструкции условию, необходимо, чтобы нижние собственные частоты конструкции МКА превышали верхнюю границу этого диапазона.

Для проведения проверочных расчетов в программном модуле T-FLEX Анализ необходима 3D модель каркаса МКА с наложенной конечно-элементной сеткой (рисунок 8).

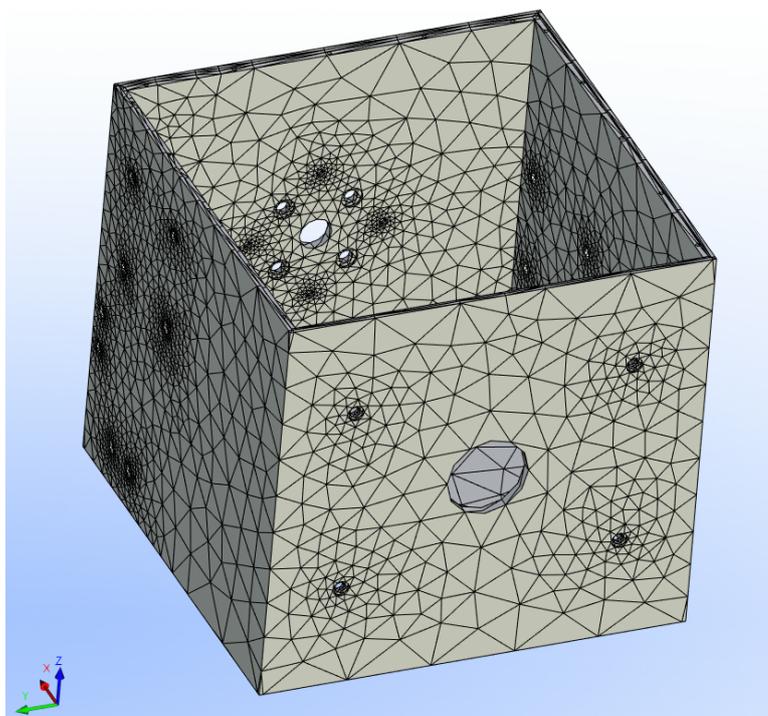


Рисунок 8 – Каркас МКА с конечно-элементной сеткой

После задания необходимых начальных условий проводится определение значений собственных резонансных частот корпуса. На рисунке 9 показан результат частотного анализа каркаса МКА.

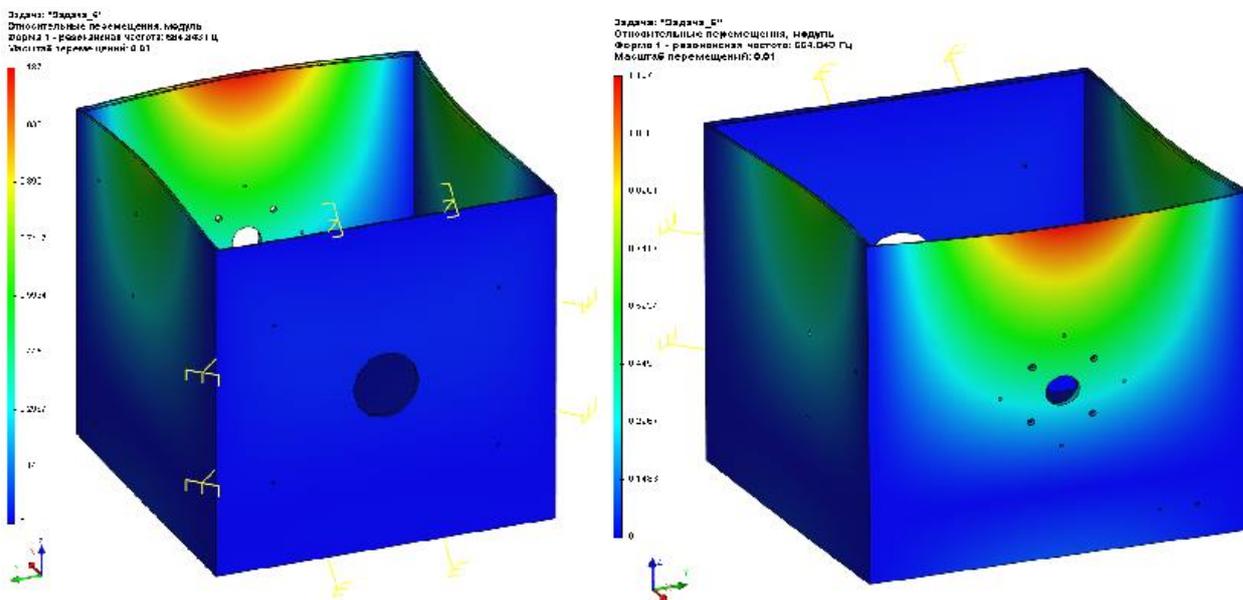


Рисунок 9 – Результат частотного анализа

На рисунке красным цветом показаны наиболее нагруженные участки, которые подвержены негативному воздействию резонансных колебаний.

Из полученных результатов частотного анализа видно, что конструкция имеет собственную частоту в размере 665 Гц, минимально разрешимая частота равна 150 Гц, следовательно, имеется большой запас по значениям частот вынужденных механических воздействий, поэтому она является работоспособной.

3.7. Проведение статического прочностного анализа

Основная цель статического прочностного анализа конструкций заключается в оценке напряжённого состояния конструкции, находящейся под действием не изменяющихся во времени (статических) силовых воздействий. Эта оценка напряжённого состояния выполняется обычно с целью проверки принятых конструкторских решений на условие прочности [7].

По условию, данная конструкция должна преодолеть силу равную $15g$, где g – ускорение свободного падения (считалось, что $g=9,8 \text{ м/с}^2$). После

нагружения передней и задней части корпуса МКА соответствующими силами были получены результаты, показанные на рисунке 10.

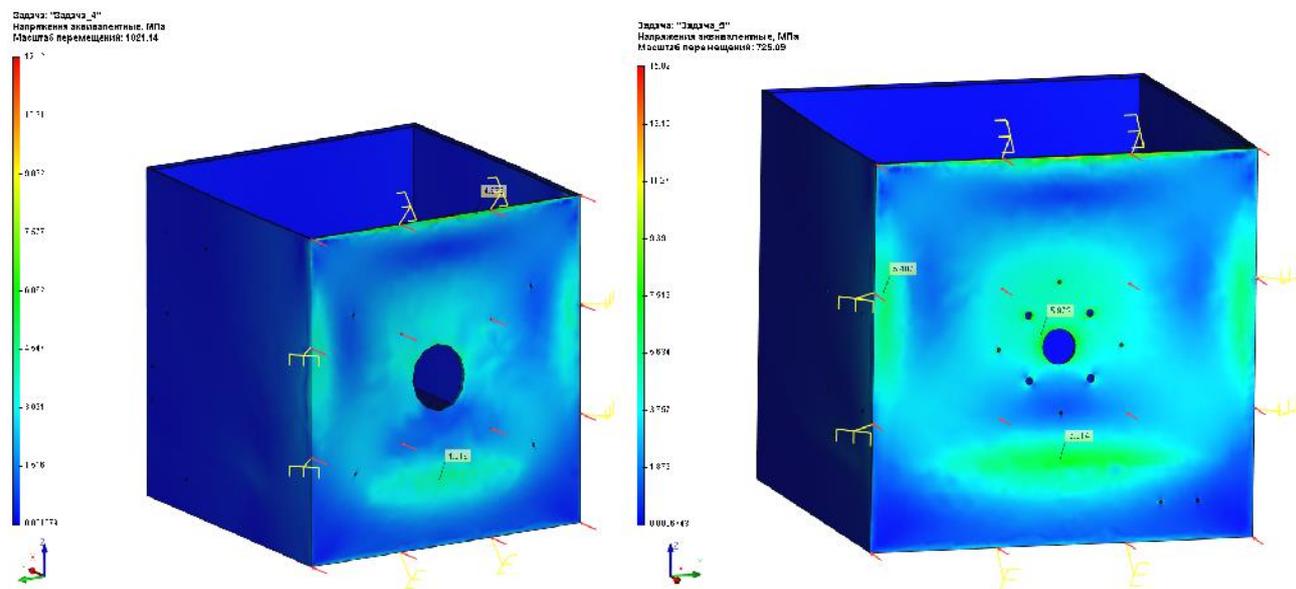


Рисунок 10 – Результат статического анализа

Из рисунка 10 видно, что под действием этих сил сторона, направленная в сторону Земли максимально нагружается на 4,7 МПа, а сторона, направленная от Земли – 6,8 МПа. Учитывая, что предельное значение прочности на разрыв у МА21 составляет 240 МПа, то мы видим, что мы имеем большой коэффициент запаса прочности, следовательно, каркас удовлетворяет требованиям.

5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Введение

Объектом исследования является малый космический аппарат.

Областью применения данного МКА является околоземное космическое пространство. Аппарат предназначен для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которое можно представить, как процесс, благодаря которому осуществляется сбор информации о планете Земля без непосредственного контакта с ней. За последние несколько десятилетий, в связи с большой заинтересованностью в исследованиях подобного типа, данная область достигла определенного уровня развития и открыла наукам о Земле множество новых возможностей изучения поверхности нашей планеты.

Целями данного раздела являются оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и формирование бюджета научных исследований.

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

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Современная тенденция в развитии космических аппаратов – создание малых космических аппаратов, т.к. они обладают рядом преимуществ:

- значительное уменьшение затрат на создание и ввод в эксплуатацию;
- сокращение времени на их производство и наземные испытания;
- более быстрое внедрение новых технических разработок и технологий съёмки;
- значительное увеличение оперативности получения данных наблюдения за счёт создания необходимой по численности группировки малых аппаратов;

Столь низкая стоимость, унификация платформ и комплектующих позволяет разрабатывать и запускать МКА (по типу кубсатов) небольшим частным компаниям и любительским объединениям, университетам и даже школам.

Проведем сегментирование рынка услуг искусственных спутников Земли по типам спутника. Карта сегментирования представлена в таблице 4.

Таблица 3 - Карта сегментирования рынка услуг

		Области использования спутника				
		Исследование систем связей	ДЗЗ	Образовательные цели	Исследования тросовых систем	Межпланетные экспедиции
Типы спутника	КА					
	МКА					

По таблице 3 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

спутника малая масса обеспечивает ряд преимуществ экономического характера. Преимуществами малых спутников являются рентабельный запуск, гораздо меньшие массогабаритные характеристики, низкая стоимость, по сравнению с космическим аппаратом, а также требует гораздо меньшее количество времени на разработку, благодаря унификации платформ и комплектующих.

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения (табл.4).

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. Энергоэкономичность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
2. Масса	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Снижение времени на разработку	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
7. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
8. Цена	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
Итого	1	-	-	-	4,4	3,5	3,75

Исходя из произведенного анализа, представленного в таблице, конкурентоспособность данного метода проведения выше натуральных испытаний, поскольку является более выгодным и менее затратным.

5.1.3. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) 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.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 5).

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средне-взвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэкономичность	0,15	95	100	0,95	0,14
2. Масса	0,1	90	100	0,9	0,09
3. Надежность	0,1	80	100	0,8	0,08
4. Снижение времени на разработку	0,15	90	100	0,9	0,135
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	90	100	0,9	0,09
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	75	100	0,75	0,11
7. Финансирование научной разработки	0,1	80	100	0,8	0,08
8. Цена	0,15	100	100	1	0,15
Итого	1	-	-	-	88

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Полученное значение показателя $P_{cp}=88$, поэтому такая разработка считается перспективной.

5.1.4. 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.

Составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Малые массогабаритные параметры; С2. Низкая стоимость; С3. Унифицированная платформа и комплектующие; С4. Доступные материалы; С5. Функциональность.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие самостоятельного запуска; Сл2. Длительное ожидание в очереди на запуск; Сл3. Отработанные или сломавшиеся аппараты становятся космическим мусором.
Возможности: В1. Расширение области решаемых задач; В2. Возрастание спроса на продукт; В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1С3С5 В2С1С2С3С4С5 В3С2С3С4	В2Сл1Сл3 В3Сл3
Угрозы: У1. Повышение стоимости материалов; У2. Развитая конкуренция технологий производства; У3. Появление усовершенствованной продукции на рынке.	У1С2С4 У2С2С3С4С5 У3С1С2С3С4С5	У2Сл1Сл2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3

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

использование этих матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 7-10.

Таблица 7 - Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	0	+	-	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	0	+	+	+	-

Таблица 8 - Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	-
	В2	+	-	+
	В3	-	-	+

Таблица 9 - Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

		Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	+	-	+	-
	У2	-	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+	+

Таблица 10 - Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	+	+	+
	У3	+	+	+

5.2. Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 11 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследований	3	Постановка задачи	Научный руководитель
	4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	5	Подбор литературы по тематике работы	Студент
	6	Сбор материалов	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Проведение теоретических обоснований	Студент
	8	Проведение теоретических расчетов	Студент
	9	Анализ полученных результатов	Студент
	10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Работа над выводами по проекту	Студент
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки к работе	Студент

5.2.2. 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:

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

Все рассчитанные значения заносим в таблицу 12.

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			$t_{ож}$, чел-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3							
Составление и утверждение темы проекта	2	2	2	5	5	5	3	3	3	Руководитель	3	2	3	5	5	5
Выдача задания по тематике проекта	1	1	1	2	2	2	2	2	2	Рук.–студент	1	1	2	3	3	3
Постановка задачи	1	1	1	2	2	2	2	2	2	Студент	3	2	4	3	3	3
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	3	1	2	5	2	4	2	1	1,5	Рук. – студ.	1	1	1,5	3	1	2
Подбор литературы по тематике работы	7	6	7	10	8	10	8	7	8	Студент	8	7	8	12	10	12
Сбор материалов	14	14	14	17	17	17	15	15	15	Студент	15	15	15	23	23	23
Проведение теоретических обоснований	7	7	7	9	9	9	8	8	8	Студент	9	8	9	12	12	12
Проведение теоретических расчетов	5	5	5	7	7	7	6	6	6	Студент	7	7	8,5	9	9	9
Анализ полученных результатов	3	2	3	5	4	3	3	1	3	Рук. – студ.	1	1	2	4	2	4
Согласование полученных данных с научным руководителем	2	1	2	5	3	4	1,5	1	1,5	Рук. – студ.	1	0,5	1	2	1	2
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	2	3	3	3	2,5	3	4	Студент	3	3,5	5	4	4	4
Работа над выводами по проекту	1	1	1	2	2	2	2	2	2	Студент	3	3	5	3	3	3
Составление пояснительной записки к работе	4	4	4	6	6	6	5	5	5	Студент	5	5	5	7	7	7

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, декады										
				март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	5	▨										
2	Выдача задания по тематике проекта	Студент	3		■									
3	Постановка задачи	Студент	3			■								
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, Студент	3			▨	■							
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	12				■	■	■					
6	Сбор материалов	Студент	23					■	■	■	■			
7	Проведение теоретических обоснований	Студент	12								■	■		
8	Проведение теоретических расчетов	Студент	9									■	■	
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, Студент	4										▨	■
10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Руководитель, Студент	2										▨	■
11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	4										■	
12	Работа над выводами	Студент	3											■
13	Составление пояснительной записки к работе	Студент	7											■

▨ - Руководитель ■ - Студент

5.2.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.2.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расхи}}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расхи}}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Заносим материальные затраты в таблицу 12.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага	лист	80	90	100	2	2	2	160	180	200
Картридж	шт.	1	1	1	900	1000	980	900	1000	980
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	200	210	230	400	210	230
Итого								1460	1390	1410

5.2.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В этой статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки.

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн} = \frac{D + D \cdot K}{F},$$

где D - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы), K - районный коэффициент (для Томска – 30%), F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Затраты на оплату труда студента-дипломника могут определяться как оклад инженера кафедры (учебно-вспомогательный персоналу) в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы, либо по тарифной сетке, принятой на предприятии, где студент-дипломник проходил практику.

Расходы на основную заработную плату определяются как произведение трудоемкости работ каждого исполнителя на среднедневную заработную плату. Оклад руководителя определен в соответствии с таблицей окладов ППС и НС от 01.10.2013. Расчет затрат на основную заработную плату приведен в таблице:

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.			Основная заработная плата, руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	33162,87	1959,62	7	5,5	9,5	13717,3	10777,9	18616,4
Студент	6976,22	412	53	50,5	59,5	21836	20806	24514
ИТОГО						35553,3	31583,9	43130,4

5.2.3.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Таблица 16– Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	13717,3	10777,9	18616,4	0,15	2057,6	1616,7	2792,4
Студент	21836	20806	24514		3275,4	3120,9	3677,1
Итого					5333	4737,6	6469,5

5.2.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены ниже.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	13717,3	10777,9	18616,4	2057,6	1616,7	2792,4
Студент-дипломник	21836	20806	24514	3275,4	3120,9	3677,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	11080,2 руб.					
Исполнение 2	9843,1 руб.					
Исполнение 3	13441,6 руб.					

5.2.3.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 50%.

Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

при первом исполнении $Z_{\text{накл}} = 48093,5 \cdot 0,5 = 24046,7$ руб.

при втором исполнении $Z_{\text{накл}} = 47554,6 \cdot 0,5 = 23777,3$ руб.

при третьем исполнении $Z_{\text{накл}} = 64451,5 \cdot 0,5 = 32225,7$ руб.

5.2.3.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НИИ	1460	1390	1410	
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	35553,3	31583,9	43130,4	
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	5333	4737,6	6469,5	
Отчисления во внебюджетные фонды	11080,2	9843,1	13441,6	
Накладные расходы	24046,7	23777,3	32225,7	50 % от суммы
Бюджет затрат НИИ	72140	71332	96677	Сумма ст. 1- 5

Вывод: Таким образом, в ходе расчетов и рассмотрения полученных результатов, можно сделать вывод о том, что исполнение №2 является более выгодным вариантом формирования бюджета затрат НИИ.

5.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{72140}{96677} = 0,74; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{71332}{96677} = 0,73;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{96677}{96677} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Энергоэкономичность	0,15	5	4	4
2. Масса	0,1	5	3	4
3. Надежность	0,1	4	4	4
4. Снижение времени на разработку	0,15	5	3	3
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	3	3
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	3	4	4
7. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	4
8. Цена	0,15	5	3	4
ИТОГО	1			

Интегральные показатели ресурсоэффективности для данных исполнений будут равны:

$$I_{p-uch1} = 4,4;$$

$$I_{p-uch2} = 3,5;$$

$$I_{p-uch3} = 3,75$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.}$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{4.4}{0.74} = 5.9; \quad I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп2}} = \frac{3.5}{0.73} = 4.8;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{финр}^{исп3}} = \frac{3.75}{1} = 3.75$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,74	0,73	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	3,5	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	5,9	4,8	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8	0,6

Проведя расчет ресурсоэффективности и сравнив различные исполнения, приходим к выводу, что исполнение № 1 является наилучшим вариантом.

5.4. Заключение

Таким образом, составив оценочные карты, проведя SWOT – анализ, планирование работы, сформировав бюджет и определив эффективность исследования, найдены ответы на вопросы будет ли востребованность работы на рынке. Ответ однозначный – да, будет. Аргументы в пользу положительного ответа представлены в моих расчетах. Бюджет научно-технического исследования (НТИ), а именно, затраты на проведение НТИ составят 71332 рубля. Трудоемкость выполненных работ составит 54 рабочих дней.

При этом выполнены поставленные задачи, а именно:

- Определена структура работы в рамках научного исследования;
- Определены участники каждой работы;
- Установлена продолжительность работ;
- Построен график проведения научных исследований.

Список публикаций студента

В процессе работы над дипломным проектом по данной теме 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.