

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Микродвигатель-маховик для малого космического аппарата

УДК 629.786.06:004.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Буй Дык Бьен		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПС	Мартемьянов В. М.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. МЕН	Чистякова Н. О.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Ю. В.	к.т.н.		

По разделу «Конструирование и вопросы технологии»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТПС	Бориков В. Н.	д.т.н.		

Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность совершенствовать и повышать свои специальные знания в области математических, физических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;
P2	Способность адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.
P3	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P4	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты инженерной деятельности в областях контроля деформации измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.
P5	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя макеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении.
P6	Умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и социальную ответственность.
P7	Способность проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.
P8	Умение разрабатывать результаты исследований по анализу; способность разработать и проводить оптимизацию натурных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности.
P9	Умение организовывать современное обеспечение технологических

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

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки Приборостроение
 Кафедра точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ТПС

 (Подпись) _____
 (Дата) Бориков В.Н.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	БУЙ ДЫК БЬЕН

Тема работы:

Микродвигатель-маховик для малого космического аппарата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	642/с от 03.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	Предлагается разработать микродвигатель-маховик для управления ориентацией малого космического аппарата класса CubeSat. Режим работы периодический, условия работы – негерметичный контейнер, вакуум околоземного космического пространства. Температура внутри контейнера от минус 40⁰С до + 100⁰ С. Проведение испытаний макета-лабораторные условия, помещение и оборудование каф. ТПС. Источник питания +5В постоянного тока. Мощность потребления в пуске не более 2, 5 Вт; в установившемся режиме вращения – не более 0,5 Вт. Время выхода на установившуюся скорость вращения – минимальное, зависит от момента инерции маховика, значение которого будет определяться дополнительно в процессе разработки. Габариты двигателя-маховика не более Ø75х25 мм. Габариты электронного блока управления – минимальные; конфигурация будет определяться в процессе разработки МКА.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i>	На основе литературного анализа провести выбор активной части микродвигателя-маховика из ассортимента доступных микроэлектродвигателей, преимущественно применяемых в электромеханических приборах, в том числе в компьютерной технике. Проведение анализа возможности применения выбранного электродвигателя в маховичной системе ориентации малого космического аппарата. Рассмотреть различные схемы управления микродвигателем-маховиком; провести макетирование и экспериментальные исследования. Провести анализ полученных результатов, предложить пути дальнейшего усовершенствования системы ориентации с учетом ее работы в комплексе оборудования МКА.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Электрическая принципиальная схема системы управления БДПТ ФЮРА.420130.001.ЭЗ Электрическая принципиальная схема платы управления БДПТ ФЮРА.420130.002.ЭЗ Сборочный чертеж платы управления БДПТ ФЮРА.420130.002.СБ Рабочий чертеж печатной платы ФЮРА.420130.002
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основная часть: Введение, разделы 1,2,3, заключение	доцент каф. ТПС В.М. Мартемьянов
Конструирование и вопросы технологии	доцент каф. ТПС А.Н. Гормаков
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент каф. МЕН Н.О. Чистякова
Социальная ответственность	доцент каф. ЭБЖ Ю.В. Анищенко
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: На русском языке: введение, заключение, литературный анализ, описание работы разрабатываемой системы управления, проведение экспериментальных исследований, анализ полученных результатов На английском языке: реферат; определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки; введение; литературный анализ; проведение экспериментальных исследований.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПС	Мартемьянов В.М.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Буй Дык Бьен		

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	Буй Дык Бьен

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет бюджета научно-исследовательской работы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение анализ: потенциальные потребители результатов исследования, анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, FAST -анализ, оценка готовности проекта к коммерциализации.
Планирование проведения и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения.

Перечень графического материала

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма Fast
4. График проведения и бюджет НИИ
5. 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
доцент каф. МЕН	Чистякова Н. О.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Буй Дык Бьен		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	Буй Дык Бьен

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является двигатель-маховик с электронным блоком управления. Данный объект применяется в космической и также в учебной отраслях.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения в следующей последовательности:	Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения в следующей последовательности: - действие фактора на организм человека; • отклонение показателей микроклимата в помещении; • недостаточная освещенность рабочей зоны; • повышенная пульсация светового потока; • повышение уровней шума и вибрации; • повышение уровней электромагнитных полей от компьютера; • повышение концентрации вредных веществ в воздухе. - допустимые нормы с необходимой размерностью: • температура и влажность; • скорость движения воздуха; • освещение. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - механические опасности; - термические опасности; - возможность поражения электрическим током.
2. Экологическая безопасность	- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы) - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности • обеспечить воздухообмен на рабочем месте • установить на рабочем месте пылесос, инструменты уборки

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	- перечень возможных ЧС на объекте • землетрясение; • возможность возникновения пожара; • повышенное значение напряжения в электрической цепи. - наиболее типичной чрезвычайной ситуации: возможность возникновения пожара и повышенное значение напряжения в электрической цепи.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	- запрещение использования труда женщин; - применение спецодежды и средств индивидуальной защит; - применение специальных подставок, использовать вместо них случайные предметы запрещается; - во время проведения изготовления на столе не должно быть никаких посторонних предметов; - во время демонстрации нельзя превышать пределы допустимых для данных приборов скоростей вращения;

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Ю. В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Буй Дык Бьен		

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки Приборостроение
 Уровень образования Магистратура
 Кафедра точного приборостроения
 Период выполнения Весенний семестр 2015/2016

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2016 г.	Выбор двигателя-маховика, разработка электрических принципиальных схем системы управления выбранным двигателем-маховиком, разработка макета системы	25
10.05.2016 г.	Определить основные характеристики двигателя-маховика на разрабатываемом макете	25
22.05.2016 г.	Социальная ответственность	15
22.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2016 г.	Конструирование и вопросы технологии	10
06.06.2016 г.	Оформление ВКР и представление работы рецензенту	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПС	Мартемьянов В. М.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТПС	Бориков В. Н.	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 134 с. текстового материала, 54 рисунков, 32 таблиц, 34 источников литературы, 4 листов графического материала.

Ключевые слова: малый космический аппарат, системы ориентации и навигации, двигатель-маховик, бесконтактный двигатель постоянного тока, система управления бесконтактными двигателями постоянного тока, микроконтроллер, датчик положения ротора, драйвер, силовые ключи, ПИД-регулятор.

Объектом исследования является двигатель-маховик для малого космического аппарата.

Цель работы – разработка системы управления двигателем-маховиком для малого космического аппарата, построенным на основе бесконтактного двигателя постоянного тока.

В процессе исследования проводились: разработка системы управления двигателем-маховиком при использовании специализированной микросхемы и при помощи микроконтроллера, разработка электрической принципиальной схемы разрабатываемой системы, изготовление макета, разработка технологического процесса сборки печатного узла, а также процесса изготовления детали (печатная плата), рассмотрение вопросов по финансовому менеджменту и социальной ответственности.

Результаты ВКР представлены в виде пояснительной записки, чертежей, схем, конструкторской документации.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, графическая часть выполнена в программах T-FLEX CAD, T-FLEX – анализ, Microsoft Visio 2010, Altium Designer 14 и Splan7. Программное обеспечение выполнено в программах Codevisionavr 2.05 и Labview 2012.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРОЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- **Нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 14.202. – 73 – Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий

ГОСТ 2.702 – 75 – Правила выполнения электрических схем

- **Определения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Датчик положение ротора (Shaft Position Sensor, Shaft Encoder): информационный узел вентильного двигателя, служащий для определения относительного положения магнитной оси ротора и эквивалентной магнитной оси статора и выдачи соответствующих команд для управления схемой коммутатора [1].

Микроконтроллер (сокращенно МК, англ. MC): это электронная микросхема, которая может осуществлять вычисления и управление техническими объектами и технологическими процессами [2].

Широтно-импульсная модуляция: один из способов формирования импульсного сигнала с регулируемыми временными характеристиками [3].

- **Обозначения**

КА – Космический аппарат;

БДПТ – Бесконтактный двигатель постоянного тока;

ДПР – Датчик положения ротора;

ДПТ – двигатель постоянного тока;

ШИМ – Широтно-импульсная модуляция;

ПИД - регулятор – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор;

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. Обоснование выбора и анализ конструкций приводов маховиков.....	14
1.1. Обоснование выбора привода маховика	14
1.2. Конструкция бесконтактного двигателя постоянного тока	16
1.3. Датчик положения ротора	17
1.4. Постановка задачи.....	20
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	21
3.1. Предпроектный анализ	21
3.2. Инициация проекта	29
3.3. Планирование управления научно-техническим проектом.....	31
Список публикаций.....	39
Графические материалы:	на отдельных листах
ФЮРА.420130.001.ЭЗ Электрическая принципиальная схема системы управления бесконтактными двигателями постоянного тока	
ФЮРА.420130.002.ЭЗ Электрическая принципиальная схема платы управления бесконтактными двигателями постоянного тока	
ФЮРА.420130.002.СБ Сборочный чертеж платы управления бесконтактными двигателями постоянного тока	
ФЮРА.420130.002 Рабочий чертеж печатной платы	

ВВЕДЕНИЕ

Для ориентации и стабилизации космического аппарата на его борту требуются исполнительные устройства, создающие управляющие моменты относительно его оси управления. В системах ориентации и стабилизации, у которых длительный срок существования, в качестве исполнительных устройств используются инерционные двигатели-маховики. В этих системах, управление поворотом аппарата вокруг заданной оси выполняется на основе вращательного движения маховика, установленного по этой оси. В силу реактивного эффекта, к корпусу КА приложен момент, который стремится вращать КА в противоположном направлении относительно направления вращения маховика.

В настоящее время широкое распространение находит наноспутник (Cubesat), представляющий собой небольшой спутник по форме куб с ребром 10см и весит всего 1 килограмм. Несмотря на малые размеры, спутники Cubesat являются полнофункциональными, они могут выполнить съемку из космоса, передачу радиосвязи, атмосферные исследования, биологические эксперименты или в качестве тестовой платформы для будущих технологий и. т. д. Если в таких спутниках отсутствуют двигатели-маховики, то существенно ограничивается их маневренность и управляемость. В связи с тем, что наноспутники имеют малые размеры, проблемы в компоновке наборов их систем могут возникать, поэтому для каждого наноспутника придется разработать свой двигатель-маховик.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы управления двигателем-маховиком, созданным на основе бесконтактного двигателя постоянного тока. Основными задачами выпускной квалификационной работы являются разработка схем управления двигателем-маховиком, соответствующих электрических принципиальных схем и изготовление макета. Особенность данной работы заключается в использовании имеющихся в наличии (на кафедре Точного приборостроения) и покупных электроизделий для создания макета.

1. Обоснование выбора и анализ конструкций приводов маховиков

1.1. Обоснование выбора привода маховика

В настоящее время двигатели-маховики широко применяют в системах управления космических аппаратов. Они используются в качестве исполнительных органов систем ориентации и стабилизации высотной геофизической автоматической станции, орбитальной геофизической обсерватории, орбитальной солнечной обсерватории, орбитальной астрономической обсерватории, спутников Нимбус, Тирос и др [4].

Для привода маховиков могут применяться двигатели различных типов, однако наиболее приемлемы в условиях космического полета электрические двигатели как с точки зрения возможности получения первичной энергии, так и в отношении удобства управления. Наряду с общими требованиями, предъявляемыми к любому устройству для КЛА (высокая надежность, долговечность, малая масса и габариты, малое потребление энергии), основным требованием, предъявляемым к двигателю, приводящему маховик, является хорошая регулировочная характеристика в широком диапазоне скоростей [7].

Наиболее распространенный в обычных условиях асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, как известно, обладает плохими регулировочными свойствами. Управление скоростью около нулевого значения или в диапазоне малых скоростей сопровождается чрезмерным перегревом [7].

Угловую скорость вращения синхронного двигателя можно регулировать, изменяя частоту напряжения. Однако синхронный двигатель, как и асинхронный с короткозамкнутым ротором, имеет неудовлетворительную регулировочную характеристику при малых угловых скоростях, в особенности при скоростях, близких к нулю, так как при этом необходимо уменьшать частоту питающего напряжения до нуля. Регулирование частоты вращения синхронного двигателя возможно только при уменьшении ее не более чем на 30% от максимальной. Дальнейшее уменьшение частоты вращения приводит к интенсивному нагреванию якоря [7].

В качестве исполнительных устройств в настоящее время широкое распространение получили двигатели постоянного тока с независимым возбуждением [7]. Коллекторные двигатели постоянного тока независимого возбуждения обладают большой кратностью пускового момента, линейной регулировочной характеристикой, обеспечивающей возможность достижения большого диапазона регулирования частоты вращения в процессе регулирования [5]. Недостатком этого электродвигателя является наличие щеточного узла, что требует частый осмотр, периодический ремонт и замену. В отдельных случаях, таких как высокоскоростной (10^4 об/мин) и сверхвысокоскоростной (10^5 об/мин) привод, применение механического коллектора для длительной работы является недопустимым [5].

Недостатки двигателя постоянного тока устраняются при применении бесконтактных двигателей постоянного тока (БДПТ). По сравнению с обычным коллекторным двигателем, БДПТ имеет ряд преимуществ: хорошая линейность регулировочной характеристики; высокий КПД; невысокая пульсация момента; небольшие масса и размеры; отсутствие щеточного узла [4]. Перед двигателями переменного тока, БДПТ также имеют преимущества: небольшие габариты; невысокое потребление мощность; высокое отношение полезного момента к массе двигателя; широкий диапазон скоростей [4].

БДПТ имеет возможность пространственного разделения силового узла и блока управления. Недостатки БДПТ проявляются в ограниченной возможности работы в широком диапазоне температуры окружающей среды (объясняется свойствами характеристик полупроводниковых элементов).

Исходя из вышеперечисленного, в данной работе будет проведено исследование двигателя-маховика, созданного на основе бесконтактного двигателя постоянного тока.

1.2. Конструкция бесконтактного двигателя постоянного тока

В бесконтактном двигателе постоянного тока заменен щеточно-коллекторный узел полупроводниковым коммутатором, управляемым сигналами, которые поступающие с ДПР, на сердечнике статора расположена обмотка якоря, а на роторе – постоянный магнит [6].

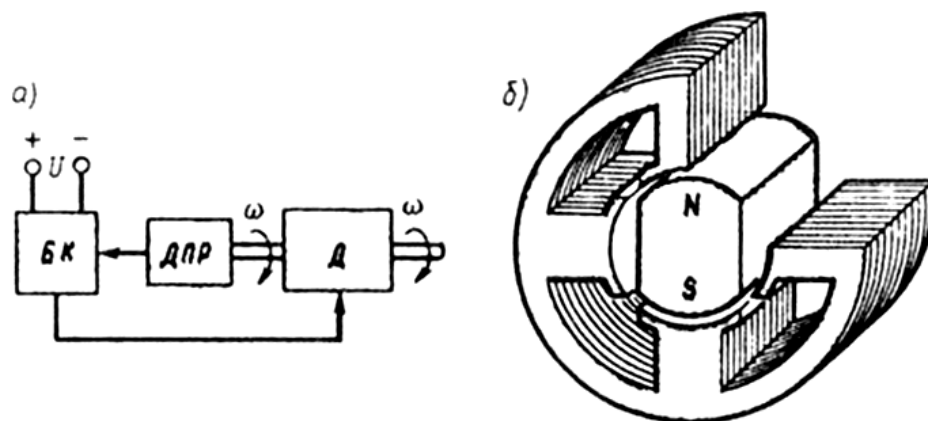


Рисунок 1 – Бесконтактный двигатель постоянного тока:

а) блок-схема; б) магнитная система.

Двигатель имеет вал Д (рис. 1), механически соединенный с ДПР, сигнал от которого поступает в блок коммутатора (БК). Обмотки якоря подключаются к источнику питания через блок коммутатора. ДПР определяет положение полюсов магнита (постоянного) относительно обмотки якоря и выдает соответствующие управляющие сигналы в блок коммутатора. Однако если информация о положении ротора определяется по кривой обратной электродвижущей силе (ЭДС), то тогда ДПР будет отсутствовать как отдельный узел БДПТ, т. е. применяется бездатчиковый способ управления, основанный на обработке сигналов ЭДС. При этом, измерение ЭДС производится в обесточенной фазе. Однако способ определения положения ротора с помощью обратной ЭДС имеет недостатки: не обеспечивается сигнал в том случае, когда ротор останавливается; слабая помехозащищенность; сложный алгоритм обработки информации [9].

Исходя из недостатков бездатчикового способа управления БДПТ, в данной работе будет применен метод управления с использованием ДПР.

1.3. Датчик положения ротора

Датчик положения ротора (ДПР) представляет собой информационный узел БДПТ, служащий для определения относительно положения магнитной оси ротора и эквивалентной магнитной оси статора и выдачи соответствующих команд для управления схемы коммутатора.

В настоящее время широко на практике применяют ДПР [4]:

- магниточувствительного типа;
- оптического типа;
- трансформаторного (индукционного) типа.

1.3.1. ДПР на основе магниточувствительного элемента

Одним из типов ДПР является датчик с магниточувствительными элементами, в качестве которых нередко применяются датчики Холла. Однако при использовании этих датчиков усложняется конструкция двигателя, схема коммутатора и увеличивается потребление электроэнергии общей системы. Из-за значительной зависимости параметров датчиков Холла от температуры, температурный диапазон работы двигателя неширокий.

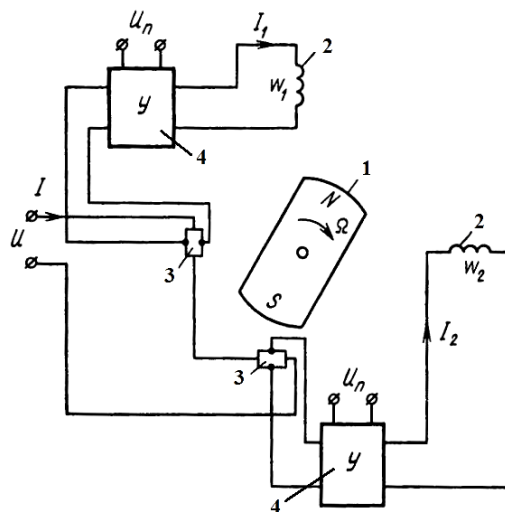


Рисунок 2 – Схема бесконтактного двигателя с датчиками Холла:

1 – ротор; 2 – обмотки статора; 3 – датчики Холла; 4 – усилитель мощности.

Примером БДПТ, используемого для привода маховика, является двигатель фирмы General Electric, принципиальная схема которого

представлена в рис. 2. Он включает в себя ротор (постоянный магнит) 1, статор 2 (две взаимно перпендикулярных обмотки), два датчика Холла 3 (в зазоре установленные между статором и ротором) и два усилителя мощности 4 (обеспечивающие питание обмоток статора) [4]. Примерная конструктивная схема управляющего маховика с бесконтактным двигателем рассмотренного типа показана на рис. 3[4].

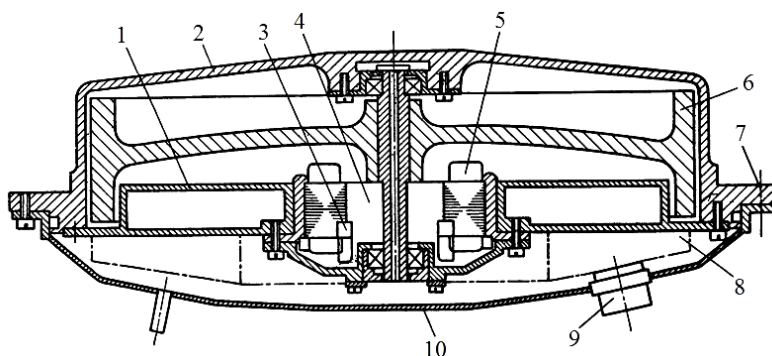


Рисунок 3 – Конструктивная схема бесконтактного двигателя с датчиками Холла: 1 – узел крепления двигателя; 2- кожух маховика; 3 – датчик Холла; 4 – ротор двигателя; 5 – статор двигателя; 6 – маховик; 7 – установочная плоскость; 8 - электронный блок; 9 – штепсельный разъем; 10 – кожух.

Другим магниточувствительным элементом является магниторезистор, сопротивление которого зависит от магнитного поля. Магниторезистор включается в мостовую схему, что уменьшает влияние температуры. Конструкции датчиков с магниторезистором и элементом Холла аналогичны. Преимуществом магниторезистора по сравнению с элементом Холла является большая чувствительность [1].

1.3.2. ДПР на основе фотоэлектрического датчика

В число элементов ДПР также входит фотоэлектрический датчик, которым является цилиндрический экран, связанный с ротором. Ротор двигателя-маховика выполняется из постоянного магнита. Источник света является неподвижным и помещен внутри экрана. Во вращающемся экране оптическое устройство формирует луч света, падающий на неподвижные фоточувствительные элементы, которые установлены вокруг экрана [4]. В

случае, когда ротор вращается, фоточувствительные элементы вырабатывают управляющие сигналы, поступающие на электронную схему коммутации. В качестве элемента ДПР часто применяются фотодиоды или фоторезисторы. Недостатками использования таких устройств в качестве ДПР являются ограничения, которые накладываются на электродвигатель по температурному рабочему диапазону, энергопотреблению и времени работы.

1.3.3. ДПР на основе трансформаторного (индуктивного) датчика

В схемах БДПТ широкое распространение находили бесконтактные датчики положения – трансформаторные и индуктивные датчики с перемещающимся якорем. Преимуществами данных датчиков являются хорошее согласование со схемой коммутатора, обеспечение необходимой выходной мощности и гальванической развязки выходных сигналов, простота в изготовлении, широкий диапазон рабочих давлений, температур [4]. Пример двигателя-маховика с данными датчиками представлен в рис. 4.

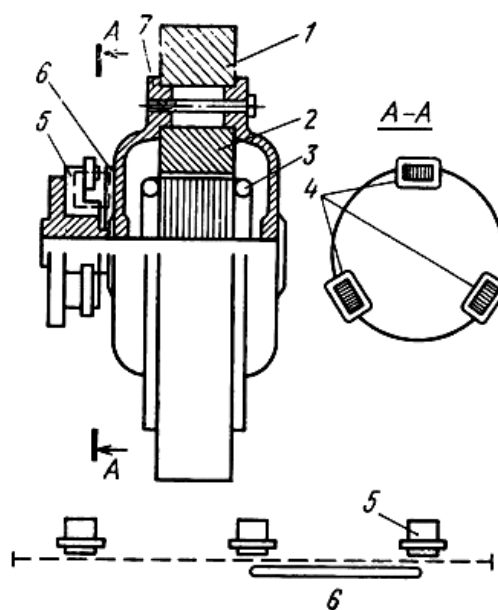


Рисунок 4 – Двигатель-маховик с индуктивным коммутатором:

1 – маховик; 2 – постоянный магнит; 3 – якорь; 4 – коммутирующие обмотки; 5 – сердечник коммутатора; 6 – подвижной сердечник; 7 – ротор.

Индуктивный (трансформаторный) датчик имеет неподвижный сердечник 5 с тремя парами обмоток 4, которые смещены на 120° друг

относительно друга. Каждая пара содержит в себе обмотку возбуждения и сигнальную обмотку. К обмоткам возбуждения датчика приложено переменное напряжение стабильной частоты, а с сигнальных обмоток после демодуляции будет получена трехфазная система напряжений, которая характеризует положение ротора относительно статора и управляет схемой коммутатора.

На основе вышеперечисленных преимуществ и недостатков датчика положения ротора различных типов можно прийти к выводу о том, что в качестве ДПР наиболее подходящим в условиях космического полета являются трансформаторный (индуктивный) датчик и датчик Холла.

1.4. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка системы управления двигателем-маховиком для малого космического аппарата, построенным на основе бесконтактного двигателя постоянного тока. Для достижения поставленной цели в работе рассматриваются следующие задачи:

- выбор двигателя-маховика, который должен удовлетворять следующим требованиям: малое энергопотребление, малые массогабаритные характеристики, хорошая регулировочная характеристика в широком диапазоне скоростей;
- разработка электрических принципиальных схем системы управления выбранным двигателем-маховиком;
- разработка макета системы, позволяющего определить основные характеристики двигателя-маховика.

В данной работе предполагается рассмотреть 2 варианта реализации системы управления:

- использование специальной микросхемы драйвера БДПТ при отсутствии ДПР как отдельного узла;
- использование микроконтроллера и разработка собственного программного обеспечения при использовании ДПР как отдельного узла.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1.Предпроектный анализ

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для того чтобы определить потребителей результата научно – технических исследований по теме «Двигатель-маховик для малого космического аппарата», необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. На мировом рынке в настоящее время двигатель-маховик для малого космического аппарата с электронными блоками управления производят следующие организации: ООО Спутниковые инновационные космического системы (СПУТНИКС), АО Научно-производственный центр «ПОЛЮС» (НПЦ ПОЛЮС). Потребителями этой продукции являются приборостроители малого космического аппарата и организации, необходимые выполнить исследование характеристик двигателя-маховика, изучение принципов его работы и разработку лабораторного стенда для студентов. Результаты сегментирования приведены на таблице 9.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка двигателя-маховика для малого космического аппарата.

Потребители	Продукция		
	Продукции СПУСТНИКА	Продукции НПЦ «ПОЛЮС»	Разрабатываемый
Приборостроители МКА			
Организации			

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности разрабатываемого двигателя-маховика с электронными блоками с наличными продуктами и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проводится при помощи оценочной карты, приведенной в таблице 10. Для этого были отобраны конкурентные товары: УДМ-2-50 и SX-WH-03. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 10, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки и эксплуатации.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Широкий диапазон изменения угловой скорости маховика	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,4
2. Развиваемый управляющий момент	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
3. Время готовности	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
4. Стабильность вращения маховика	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
5. Минимизация массогабаритных характеристик	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
6. Время работы	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
7. Надежность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
8. Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Цена	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,3
3. Срок эксплуатации	0,05	5	5	4	0,25	0,2	0,2
4. Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	58	56	57	4,85	4,64	4,7

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 [34].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле[34]:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод:

- Электромеханические исполнительные органы (ЭМИО) на базе управляющих двигателей-маховиков УДМ-2-50 и SX-WH-03 обеспечивают широкий диапазон изменения угловой скорости маховика и надежность при эксплуатации, но его цена и габариты достаточно высоки.

- Разрабатываемый двигатель-маховик с электронными блоками имеет достаточно высокий диапазон изменения угловой скорости и достаточно низкую цену. Т. е. прибор обладает несколькими конкурентными преимуществами по сравнению с конкурентами.

3.1.3. FAST-анализ

В качестве объекта FAST-анализа выступает двигатель маховика для малого космического аппарата.

Таблица 11 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Бесконтактный двигатель постоянного тока	1	Создает вращательное вращение	X		
Датчик положения ротора	3	Определяет положения ротора			X
Электронный блок управления	1	Управление БДПТ и регулирование его скорости вращения		X	
Передача данных через UART		Обмен данных с компьютером			X

Таблица 12 – Матрица смежности.

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
Функция 1	=	>	>	>
Функция 2	<	=	<	>
Функция 3	<	>	=	>
Функция 4	<	<	<	=

Таблица 13 – матрица количественных соотношений функций.

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	ИТОГО
Функция 1	1	1,5	1,5	1,5	5,5
Функция 2	0,5	1	0,5	1,5	3,5
Функция 3	0,5	1,5	1	1,5	4,5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma=16$

Для функции 1 относительная значимость равна $5,5/16 = 0,34$; для функции 2 – $3,5/16 = 0,22$; для функции 3 – $0,28$; для функции 4 – $0,16$.

Таблица 14 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование узла	Количество	Выполняемая функция	Норматив расхода кг	Трудоемкость узла, нормоч	Стоимость материала, руб.	Зарплата, руб.	Себестоимость, руб.
Бесконтактный двигатель постоянного тока	1	Создает вращательное вращение	-	-	1000	0	1000
Датчик положения ротора	3	Определяет положения ротора	-	-	300	0	300
Электронный блок управления	1	Управление БДПТ и регулирование его скорости вращения	-	80	700	300	1000
Передача данных через UART		Обмен данных с компьютером	-	11	58	100	158

Для функции 1 относительные затраты равны $5,5/2458 = 0,41$; для функции 2 – $300/2458 = 0,12$; для функции 3 – $0,41$; для функции 4 – $0,06$.

Функционально-стоимостная диаграмма объекта представлена на рисунке 45.

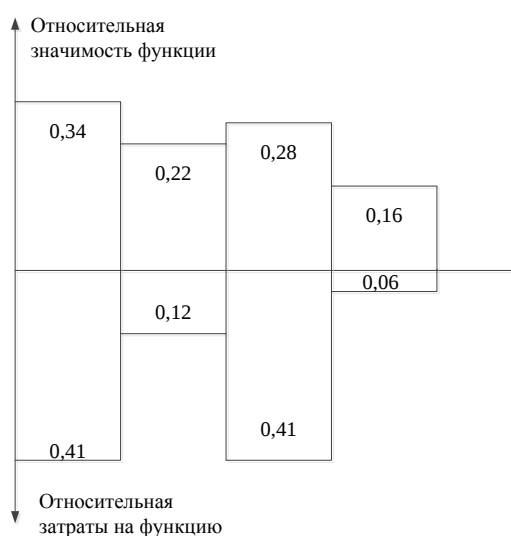


Рисунок 45 – Функционально-стоимостная диаграмма.

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 2, 4. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения связанные с экономией за счет:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- устранения функционального резерва;
- оптимизации технических параметров;
- унификации сборочных единиц и деталей;
- совмещения функций в сборочных единицах и деталях;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения ремонтпригодности;
- применения новых техпроцессов, заготовок и материалов и т.д.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

3.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 15. При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 15 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	54

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. $B_{\text{сум}}$ имеет следующие значения 54 и 50, значит перспективность разработки двигатель-маховик для МКА выше среднего.

3.2.Инициация проекта

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

В Уставе проекта указываются бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, который планируется создать.

3.2.1. Цели и результат проекта

Целью проекта является создания двигателя-маховика для малого космического аппарата. Данный прибор позволяет выполнить угловое движение малого космического аппарата в пространстве относительно заданной оси с заданными требованиями. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра Точного приборостроения, Института неразрушающего контроля, Национального исследовательского Томского политехнического университета	Применение более экономичного двигателя-маховика по массе, габаритам, энергопотреблению и цене

В таблице 17 предоставлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 17 – Цели и результат проекта.

Цели проекта	Создания двигателя-маховика для малого космического аппарата
Ожидаемые результаты проекта	Двигатель-маховик с электронным блоком управления в целом; комплект сопроводительной документации проекта; результаты испытаний
Критерии приемки результата проекта	Выполнение пунктов 1-3 графы «Ожидаемые результаты проекта».
Требования к результату	Соответствует техническому заданию

3.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Рабочая группа проекта.

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Мартемьянов В. М. к.т.н., доцент каф. ТПС, ИНК, ТПУ	Руководитель проекта	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	31
2	Буй Дык Бьен магистрант группы 1БМ4В, ТПС, ИНК, ТПУ	Исполнитель проекта	специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	94
ИТОГО:				

3.3. Планирование управления научно-техническим проектом

3.3.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 19).

Таблица 19 – Календарный план проекта.

№ п/п	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Постановка задачи и целей проекта, принятие задания к выполнению	1	08/02/16	09/02/16	Руководитель Студент
2	Подбор и изучение материалов по тематике	11	10/02/16	20/02/16	Студент
3	Анализ предметной области	5	21/02/16	25/02/16	Студент
4	Выявление участников и основных шагов выполнения	4	26/02/16	29/02/16	Руководитель Студент
5	Выбор двигателя-маховика и изучение конструкции, принципа работы	5	01/03/16	05/03/16	Руководитель Студент
6	Подбор метод управления данным двигателем и способ регулирования угловой скорости	7	06/03/16	12/03/16	Студент
7	Разработка электронного блока управления двигателем по первому варианту	13	13/03/16	25/03/16	Студент
8	Проведение рядов испытания, сбор характеристик	6	26/03/16	31/03/16	Студент
9	Разработка электронного блока управления двигателем по второму варианту	16	01/04/16	15/04/16	Студент
10	Проведение рядов испытания, сбор характеристик	5	16/04/16	20/04/16	Студент
11	Заключение по вариантам	5	21/04/16	25/04/16	Руководитель Студент
12	Разработки технологического процесс изготовления электронного блока по подобранному варианту	5	26/04/16	30/04/16	Руководитель Студент
13	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	11	01/05/16	10/05/16	Руководитель Студент

Таблица 20 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

К од ра бо ты	Вид работ	Исп олн ите ли	Длит ельн ость, дни	Продолжительность выполнения работ											
				февр.			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Постановка задачи и целей проекта, принятие задания к выполнению	НР С	1												
2	Подбор и изучение материалов по тематике	С	11												
3	Анализ предметной области	С	5												
4	Выявление участников и основных шагов выполнения	НР С	4												
5	Выбор двигателя-маховика и изучение конструкции, принципа работы	НР С	5												
6	Подбор метод управления данным двигателем и способ регулирования угловой скорости	С	7												
7	Разработка электронного блока управления двигателем по первому варианту	С	13												
8	Проведение рядов испытания, сбор характеристик	С	6												
9	Разработка электронного блока управления двигателем по второму варианту	С	16												
10	Проведение рядов испытания, сбор характеристик	НР С	5												
11	Заключение по вариантам	С	5												
12	Разработки технологического процесс изготовления электронного блока по подобранному варианту	НР С	5												
13	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	НР С	11												

 - научный руководитель;  - студент

3.3.2. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Результат расчета приведен в таблицу 21.

Таблица 21 – Затраты на материалы.

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электронные компоненты		-	700
Стеклотекстолит	1	240	240
Всего за материалы			940
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			47
Итого по статье C_m			987

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 22 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Компьютер	1	30	30
2	Тестер	1	1	1
3	Паяльник	1	0,5	0,5
Всего за специальное оборудование				31,5
Монтажу в размере 15% от его цены				4,725
Итого:				36,225

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

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

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 23 - Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	27	27
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезни	0	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	263	239

Таблица 24 - Заработная плата.

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264,86	0,3	0,3	1,3	48390,91	2060,75	31	63883,36
Студент	6342,03			1.3	8244.639	239.84	91	21834,54
Итого $Z_{осн}$								85717,9

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

Таблица 25- Заработная плата исполнителей НТИ.

Заработная плата	Исп.
Основная зарплата	85717,9
Дополнительная зарплата	10286,145
Итого по статье $C_{зп}$	96004,048

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Отчисления во внебюджетные фонды руководителя проекта:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,27 \cdot 96004,048 \approx 25921,1(\text{руб.})$$

где $k_{\text{внеб}} = 0,27$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Накладные расходы

Эта статья содержит затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы [1]. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}} = 90\%$ – коэффициент накладных расходов.

Общая сумма накладных расходов составляет 86403,64 рублей. Планируемые затраты разгруппированы по статьям и представлены в таб. 26.

Таблица 26 – Статьи затрат.

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб.
1	Затраты на материалы	987
2	Затрат на специальное оборудование	36225
3	Основная заработная плата	85717,9
4	Дополнительная заработная плата	10286,145
5	Отчисления на социальные нужды	25921,1
6	Накладные расходы	86403,64

3.3.3. Оценка эффективности исследования

Сравнив, разрабатываемый двигатель-маховик для МКА с аналогами отмечены следующие:

В первых, данный малый космический аппарат имеет малые размеры (100x100x250), а двигатель-маховик типа SX-WH-03 или УДМ-2-50 имеет достаточно большие габариты и их аксессуары были проектированы специально. При этом стоимость общей системы будет велика.

В-третьих, разрабатываемый двигатель-маховик для МКА является устройством маленькой сери для установления на МКА или для построения лабораторного стенда. Данный двигатель-маховик для МКА может устанавливаться на МКА типа CubeSat, у которого имеются маленькие массогабаритные характеристики. Кроме того, стоимость прибора не велика, поэтому стоимость разработки МКА будет дешева.

Итак, используя разрабатываемый двигатель-маховик, могут снизить стоимость разработки МКА.

Список публикаций

1. Буй Дык Бьен. Бесконтактные двигатели постоянного тока и управление ими микросхемой LB11880 // Космическое приборостроение: сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 60-63.

2. Bui Duc Bien. The Influence of Cosmic Factors on Spacecraft // Космическое приборостроение: сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 287-289.

3. Bui Duc Bien. Brushless Direct Current Motor and its Control // Космическое приборостроение: сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 289-292.

4. Буй Дык Бьен. Обработка результатов исследований микродвигателя-маховика // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 17-20.

5. Буй Дык Бьен. Пусковой режим микродвигателя-маховика [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 249-251.

6. Буй Дык Бьен. Д. А. Полюшко. Экспериментальное определение характеристик микродвигателя-маховика // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ: сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. доц. Е.Г. Гуровой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Часть 5. – С. 80-82.

7. Буй Дык Бьен. Система управления бесконтактными двигателями постоянного тока [Электронный ресурс] // Международная студенческая электронная научная конференция "СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2016" – режим доступа: <http://scienceforum.ru/2016/1552/22413>.

8. Буй Дык Бьен. Реализация дискретного ПИД – регулятора на 8-разрядных микроконтроллерах Atmel AVR // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 17-20.

9. Буй Дык Бьен. Система управления двигателем-маховиком // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – принято к печати.