

**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            |
|------------------------|
| Микродвигатель-маховик |

УДК 629.782.062.2.62-56

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1БЗВ   | Полюшко Денис Александрович |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Мартемьянов В.М. | к.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Грахова Е.А. |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Инженер   | Маланова Н.В. | к.т.н.                    |         |      |

По разделу «Вопросы технологии»

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Гормаков А.Н. | к.т.н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой              | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Точного<br>приборостроения | Бориков В.Н. | д.т.н.                    |         |      |

Томск – 2017 г

## Планируемые результаты обучения

| Код результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   | Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон   |
|----------------|---|---|
|                | Профессиональные компетенции  |   |
| Р1             | 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 | Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10;. ОК-3,9;<br>ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18),<br>Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> |
| Р2             | 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   | Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18)<br>Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>   |
| Р3             | 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         | Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16).<br>Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>   |

| Код результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   | Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон  |
|----------------|---|--|
| Р4             | 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 | Требования ФГОС<br>(ОК-3, ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14).<br>Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> |
| Р5             | 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   | Требования ФГОС<br>(ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4).<br>Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>       |
| Р6             | 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  | Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>                                  |
|                | Универсальные компетенции   |  |
| Р7             | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности   | Требования ФГОС (ОК-7),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>  |

| Код результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   | Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон   |
|----------------|---|---|
| Р8             | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы    | Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>            |
| Р9             | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности    | Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>            |
| Р10            | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду | Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9)<br>Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> |
| Р11            | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности  | Требования ФГОС (ОК-4),<br>Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>              |

**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

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

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

В форме:

|                            |
|----------------------------|
| <b>Бакалаврской работы</b> |
|----------------------------|

(бакалаврская работа; дипломный проект/работа; магистерская диссертация)

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 1БЗВ   | Полюшко Денису Александровичу |

Тема работы:

|                        |
|------------------------|
| Микродвигатель-маховик |
|------------------------|

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | пр. №703/с от 03.02.2017 |
|---|--------------------------|

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/>                     (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный периодический, циклический и т.д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т.д.).</p> | <p>Объект проектирования: Микродвигатель-маховик;<br/>                     Микродвигатель-маховик должен обладать малыми массой и габаритами, высокой надёжностью и хорошими регулировочными характеристиками.<br/>                     Технические характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• частота вращения ротора <math>\omega=37,7</math> рад/с</li> <li>• момент инерции ротора <math>J=12,9 \cdot 10^{-3}</math> кг · м<sup>2</sup></li> <li>• момент двигателя <math>M=8,12 \cdot 10^{-3}</math> Н·м</li> <li>• напряжение питания <math>U=5</math> В</li> </ul> |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/>                     (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</p>                          | <p>Вопросы основного раздела:<br/>                     – Рассмотреть различные виды систем ориентации;<br/>                     – Изучить особенности двигателей-маховиков;<br/>                     – Рассмотреть существующие конструкции микродвигателей маховиков;<br/>                     – Подобрать привод для микродвигателя-маховика;<br/>                     – Изучить конструкцию привода от флоппи-дисковода;<br/>                     – На основе выбранного привода разработать конструкцию микродвигателя маховика для</p>   |

|   |   |
|---|---|
| разработке; заключение по работе).  | малого космического аппарата;<br>– Провести экспериментальные исследования привода;<br>– Разработать конструкторскую документацию для данного микродвигателя-маховика.<br>Дополнительные разделы:<br>– Вопросы технологии;<br>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;<br>– Социальная ответственность; |
| <b>Перечень графического материала</b><br>(с точным указанием обязательных чертежей)        | Приложение А. Спецификация и чертёж общего вида микродвигателя маховика.<br>Приложение Б. Спецификация и сборочный чертёж крышки с деталями.<br>Приложение В. Спецификация и сборочный чертёж основания с деталями.   |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br>(с указанием разделов) |   |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                             | Грахова Елена Александровна   |
| Социальная ответственность  | Маланова Наталья Викторовна   |
| Вопросы технологии  | Гормаков Анатолий Николаевич  |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>     |   |
|   |   |

|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 10 февраля 2017 г |
|---|-------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность       | ФИО              | Учёная степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ТПС | Мартемьянов В.М. | к.т.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 1Б3В   | Полюшко Д.А. |         |      |

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

Студенту:

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                    |
| 1Б3В          | Полюшко Денису Александровичу |

|                            |             |                                  |                 |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|
| <b>Институт</b>            | <b>ИНК</b>  | <b>Кафедра</b>                   | <b>ТПС</b>      |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат | <b>Направление/специальность</b> | Приборостроение |

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

|   |   |
|---|---|
| Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Расчет стоимости материалов<br>Накладные расходы    |
| Нормы и нормативы расходования ресурсов   | Нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют |
| Используемая система налогообложения  | Отчисления во внебюджетные фонды-30% от ФОТ         |

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

|   |  |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ   | Определены потенциальные потребители результатов НТИ<br>Проведён анализ конкурентных технических решений               |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта  | Цели и результаты проекта<br>Построена организационная структура проекта<br>Определены ограничения и допущения проекта |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Разработан план проекта<br>Составлен бюджет проекта<br>Определены риски проекта  |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности   | Проведена оценка эффективности исследования  |

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

|   |
|---|
| 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ                          |
| 2. Оценка конкурентоспособности технических решений               |
| 3. Матрица SWOT   |
| 4. График проведения и бюджет НТИ                                 |
| 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |
| 6. Потенциальные риски  |

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

**Задание выдал консультант:**

|                  |              |                               |                |             |
|------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>   | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Ассистент        | Грахова Е.А. |                               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                             |                |             |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 1Б3В          | Полюшко Денис Александрович |                |             |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 78 с., 16 рис., 21 табл., 31 источник, 5 прил. Ключевые слова: микродвигатель-маховик, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока, привод флоппи-дисковогода.

Объектом исследования является микродвигатель-маховик.

Цель работы: разработка конструкции микродвигателя-маховика для малого космического аппарата.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор информации, анализ существующих микродвигателей, изучение и модернизация конструкции привода флоппи-дисковогода, экспериментальные исследования характеристик привода флоппи-дисковогода.

В результате исследования разработана конструкция микродвигателя-маховика.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- частота вращения ротора  $\omega=37,7$  рад/с
- момент инерции ротора  $J=12,9 \cdot 10^{-3}$  кг  $\cdot$  м<sup>2</sup>
- момент двигателя  $M=8,12 \cdot 10^{-3}$  Н $\cdot$ м
- напряжение питания  $U=5$  В

Степень внедрения: не внедрён, находится на стадии разработки.

Область применения: малые космические летательные аппараты

Экономическая эффективность/значимость работы: разработка конструкции микродвигателя-маховика является экономически эффективной и обладает высокой значимостью.

В будущем планируется разработать макет микродвигателя-маховика.



## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

### **Нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СНиП 23-05-95 Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении
2. СанПиН 2.2.4-548-96 Параметры микроклимата

### **Определения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Космический летательный аппарат**– общее название технических устройств, используемых для выполнения разнообразных задач в космическом пространстве, а также проведения исследовательских и иного рода работ на поверхности различных небесных тел.

**Двигатель-маховик**– электромеханическое устройств, которое при вращение, создаёт внутренние моменты, позволяющие изменять угловое положение летательного аппарата относительно базовой системы отсчета.

**Момент инерции**– скалярная физическая величина, мера инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой его инертности в поступательном движении.

**Статор**– неподвижная часть электрической машины, выполняющая функции магнитопровода.

**Ротор**– вращающаяся часть электрической машины.

**Флоппи-диск**– накопитель, который используется для чтения и записи данных на гибкие магнитные диски.

### **Обозначения и сокращения**

**КЛА** – космический летательный аппарат

**СО** – система ориентации

**БДПТ** – бесколлекторный двигатель постоянного тока

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 17 |
| 1. Виды систем ориентации.....  | 18 |
| 1.1. Классификация систем ориентации.....   | 18 |
| 1.2. Особенности двигателей-маховиков.....  | 20 |
| 1.3. Существующие конструкции микродвигателей-маховиков.....  | 22 |
| 1.4. Выбор электродвигателя.....  | 25 |
| 2. Разработка конструкции микродвигателя-маховика.....  | 27 |
| 2.1. Выбор опоры вращения.....  | 27 |
| 2.2. Разработка корпуса.....  | 31 |
| 2.3. Разработка устройства для удержания ротора.....  | 35 |
| 3. Конструкция микродвигателя-маховика.....   | 37 |
| 4. Экспериментальные исследования привода.....  | 38 |
| 4.1. Схема управления микродвигателем-маховиком на основе микроконтроллера LB11880.....   | 38 |
| 4.2. Эксперимент по определению зависимости скорости вращения ротора двигателя-маховика от моментов инерции на валу.....              | 38 |
| 5. Вопросы технологии.....  | 41 |
| 5.1. Определение сборочного состава изделия.....  | 41 |
| 5.2. Схема сборки с базовой деталью.....  | 41 |
| 5.3. Выбор организационной формы и метода сборки.....   | 42 |
| 5.4. Разработка технологического процесса сборки и операционных карт технологического процесса изготовления втулки и наконечника..... | 43 |
| 5.5. Анализ технологичности деталей, обоснование выбора материала.....  | 43 |
| 5.6. Отработка изделия как сборочной единицы на технологичность.....  | 45 |
| 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 6.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.....   | 48 |
| 6.1.1. Потенциальные потребители результатов НТИ.....  | 48 |
| 6.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....  | 48 |
| 6.1.3. Определение качества технологического процесса изготовления микродвигателя-маховика и его перспективности на рынке с помощью технологии QuaD..... | 50 |
| 6.1.4. Комплексный анализ научно-исследовательского проекта по разработке микродвигателя-маховика посредством SWOT-анализа.....                          | 52 |
| 6.2. Разработка устава научно-технического проекта.....  | 54 |
| 6.2.1. Цели и результаты НТИ.....  | 54 |
| 6.2.2. Организационная структура проекта.....  | 55 |
| 6.2.3. Ограничения и допущения проекта.....  | 57 |
| 6.3. Планирование процесса управления НТИ.....   | 57 |
| 6.3.1. План проекта.....   | 57 |
| 6.3.2. Бюджет проекта.....   | 58 |
| 6.3.3. Риски проекта.....  | 63 |
| 6.4. Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности.....  | 63 |
| 7. Социальная ответственность.....   | 65 |
| 7.1. Производственная безопасность.....  | 65 |
| 7.1.1. Анализ выявления вредных факторов при разработке и сборке микродвигателя-маховика.....  | 66 |
| 7.1.2. Анализ выявления опасных факторов при разработке и сборке микродвигателя-маховика.....  | 68 |
| 7.2. Экологическая безопасность.....   | 69 |
| 7.2.1. Анализ влияния микродвигателя-маховика на окружающую среду.....   | 69 |

|  |    |
|--|----|
| 7.2.2. Разработка решения по обеспечению экологической безопасности..... | 70 |
| 7.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                          | 70 |
| 7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....    | 72 |
| 7.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....        | 72 |
| 7.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....      | 73 |
| Заключение.....  | 75 |
| Список публикаций.....   | 77 |
| Список литературы.....   | 78 |
| Приложение А. Спецификация и чертёж общего вида микродвигателя-маховика  |    |
| Приложение Б. Спецификация и сборочный чертёж крышки с деталями          |    |
| Приложение В. Спецификация и сборочный чертёж основания с деталями       |    |
| Приложение Г. Технологический процесс изготовления втулки                |    |
| Приложение Д. Технологический процесс сборки микродвигателя-маховика     |    |

## **Введение**

В связи с освоением космического пространства, большое значение приобрела проблема управления космическим летательным аппаратом (КЛА). Под управлением космическим летательным аппаратом (КЛА) понимается управление движением его центра масс и движением вокруг этого центра масс [1]. Эта проблема связана с необходимостью в угловой ориентации аппарата в требуемом направлении при решении различных практических задач.

Существуют разные способы управления ориентацией КЛА, однако наиболее рациональным является способ с применением электромеханических органов на базе двигателей-маховиков. Данный выбор объясняется тем, что суммарная масса управляющего устройства и эквивалентная масса источника энергоснабжения не зависят от продолжительности работы электромеханического органа на базе двигателя-маховика [2].

В данной выпускной квалификационной работе требовалось разработать микродвигатель-маховик для ориентации малого космического аппарата. В связи с этим был подобран наиболее подходящий по габаритам и характеристикам управления электродвигатель, конструкция которого была доработана в соответствии с поставленной задачей.

## **1. Виды систем ориентации**

### **1.1. Классификация систем ориентации**

Существует множество методов и систем управления и все они обладают ясно выраженным единством – в основу их положена динамика управляемого вращательного движения твёрдого тела при условии малой величины внешних моментов взаимодействия со средой и при ограниченности бортовых запасов рабочего тела [3].

Для того, чтобы повернуть КЛА или сохранить его ориентацию в определённом направлении, необходимо приложить к нему моменты определённой величины и знака. В зависимости от того, каким образом создаются эти моменты, все системы ориентации (СО) делятся на активные и пассивные. Активными являются системы, затрачивающие энергию на создание управляющих моментов. Источником энергии в таких системах может служить бортовая сеть, либо рабочее тело, выбрасываемое реактивными двигателями. Пассивные системы, в свою очередь, при функционировании используют только внешние моменты, приложенные к космическому аппарату [4]. Такие моменты могут возникать либо при взаимодействии КЛА с гравитационными и магнитными полями, либо при влиянии на него солнечного давления или аэродинамического сопротивления.

К пассивным системам относят:

- 1) гравитационные СО
- 2) аэродинамические СО
- 3) магнитные СО

Работа гравитационных систем ориентации основывается на использовании гравитационного поля Земли. Такая система реализуется с помощью стабилизирующего груза, соединённого с КЛА жёсткой штангой или через натянутый трос. Космический летательный аппарат, выполненный по такой системе будет самостабилизироваться в поле действия сил тяжести. Недостатками данной системы являются малая точность, неэффективность при

межпланетных перелётах, из-за недостаточной величины поля тяготения и возможность стабилизации КЛА только по двум осям.

В аэродинамических системах для стабилизации используется аэродинамическое сопротивление конструкции КЛА. В такой системе для обеспечения устойчивости центр приложения результирующей силы давления лежит позади центра масс аппарата, причем величина стабилизирующего эффекта тем больше, чем больше площадь поверхности корпуса и расстояние между центром масс и центром давления [5]. Недостатком данной системы является то, что она применима лишь до определённых высот орбит (до 500 км).

Принцип работы магнитных систем основан на создании управляющих моментов с использованием магнитного поля Земли. Реализовать такую систему можно с помощью постоянного магнита, закреплённого на корпусе КЛА. Установка такого магнита позволяет добиться определённого положения аппарата относительно силовых линий магнитного поля Земли, но не позволяет управлять полётом КЛА, что является его существенным недостатком.

К активным системам относят [6]:

- системы ориентации, исполнительными органами которых являются реактивные двигатели
- системы ориентации, исполнительными органами которых являются гироскопы
- системы ориентации, исполнительными органами которых являются двигатели-маховики

Наиболее распространёнными, из выше перечисленных систем, являются системы, создающие управляющий момент с помощью реактивных сопел. Такая система через специальные сопла, установленные по каждому каналу стабилизации, выпускает массу рабочего тела (продукты сгорания или сжатый газ). Возникающие при этом реактивные силы создают относительно центра масс КЛА управляющие моменты требуемого направления [7]. Такая система позволяет создавать большие управляющие моменты, однако она пригодна

только для кратковременных действий так, как при длительном полёте требуется периодически пополнять запас топлива.

Использование гироскопов для ориентации космического летательного аппарата объясняется их прецессией под действием приложенных к ним моментов внешних сил. С этой целью для создания управляющего момента к оси прецессии, установленного на борту КЛА гироскопа, прикладывают момент, под действием которого аппарат будет прецессировать с угловой скоростью в требуемом направлении. Недостатком такой системы является чувствительность гироскопов к внешним моментам, что требует установки дополнительных компенсирующих устройств [8].

Другим, не менее эффективным, способом создания управляющего момента является вращение инерционных масс, размещённых внутри КЛА. Такой способ реализуется двигателем-маховиком, который в связи с его уникальными особенностями, было решено взять в качестве исполнительного органа для малого космического летательного аппарата.

## **1.2. Особенности двигателей-маховиков**

Использование двигателей-маховиков в качестве исполнительного органа позволяет повысить точность, производительность и энергоэффективность систем ориентации КЛА. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими исполнительными органами:

- исключают динамическую ошибку при стабилизации углового положения КЛА, которая возникает в случае использования в качестве исполнительных органов реактивных сопел;
- имеют сравнительно простую конструкцию, что говорит о их высокой надёжности.

Единственным недостатком в использовании двигателей-маховиков является то, что на КЛА требуется устанавливать три маховика, оси которых совмещают с главными осями инерции летательного аппарата. Помимо этого, каждый маховик должен иметь специальное разгрузочное устройство, применяемое для периодического снятия накопленного ими кинетического



момента. Это устройство, обычно, может состоять из системы реактивных микродвигателей или магнитопривода, электромагнит которого взаимодействуя с магнитным полем Земли, создает необходимый момент [9].

Принцип работы двигателя-маховика заключается в том, что вращающийся маховик, не изменяя движения центра масс, создаёт внутренние моменты, которые позволяют изменять угловое положение летательного аппарата относительно базовой системы отсчета, при этом маховик, вращаясь в одном направлении будет заставлять КЛА вращаться в другом направлении. Данный принцип основывается на законе сохранения кинетического момента [10]:

$$M_{\text{упр}} = \frac{dH}{dt} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot a \quad (1)$$

где  $H$ - кинетический момент маховика

$J$ -момент инерции вращающихся элементов

$\Omega$ - угловая скорость вращения маховика

$a$ - угловое ускорение электродвигателя

Из данного выражения следует, что управляющий момент, прикладываемый к корпусу КЛА, зависит от момента инерции и углового ускорения маховика.

Конструктивно двигатель-маховик представляет собой электродвигатель, статор которого закреплён на основании, а ротор выполнен в виде маховой массы, расположенной на максимально возможном диаметре (рис. 1).

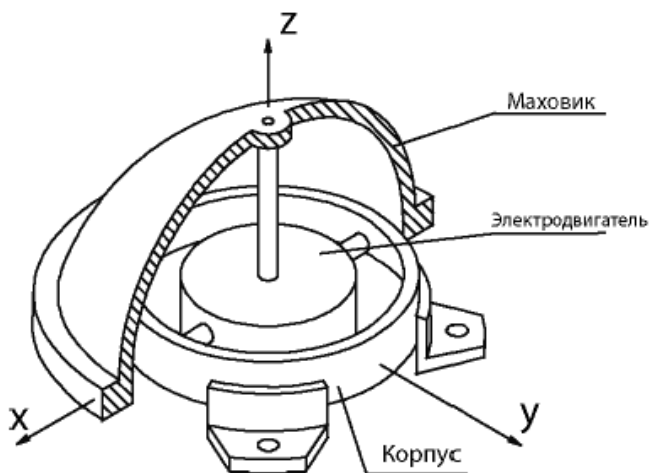


Рисунок 1 – Кинематическая схема двигателя-маховика

Общими требованиями, предъявляемыми к конструкции двигателей-маховиков, используемых на больших и средних КЛА, являются высокая надёжность, долговечность, малый вес и габариты. Однако основным требованием является хорошая регулировочная характеристика привода маховика в широком диапазоне скоростей.

Особые требования предъявляются к конструкции микродвигателей-маховиков, применяемых на малых КЛА. Для таких КЛА требуется такая конструкция микродвигателя-маховика, которая будет обладать малыми габаритами и массой, но при этом обеспечивать необходимый характер вращения корпуса КЛА.

### 1.3. Существующие конструкции микродвигателей-маховиков

Одной из известных конструкций микродвигателя-маховика является конструкция, разработанная "Научно-производственной корпорацией "Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электро-механические комплексы" имени А.Г.Иосифьяна" (рис.2).

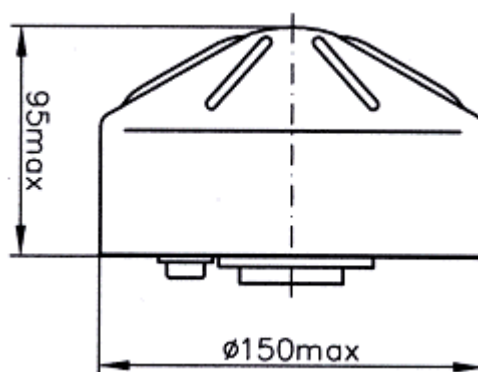


Рисунок 2 – Микродвигатель-маховик ДМ1-20, разработанный АО"Корпорация "ВНИИЭМ"

Данный микродвигатель-маховик выполнен на основе управляемого моментного бесконтактного двигателя постоянного тока. Электродвигатель обеспечивает реверсивное вращение ротора-маховика, его торможение, а величина создаваемого им вращающего (управляющего) момента при этом может плавно меняться в заданном диапазоне в соответствии с сигналом управления, подаваемым на вход двигателя-маховика. Маховая масса

выполнена в виде ротора с постоянными магнитами. Основные технические характеристики приведены в таблице 1 [11].

Таблица 1 – Характеристики микродвигателя-маховика АО"Корпорация "ВНИИЭМ"

| Диапазон изменения кинетического момента, Н·м·с | Управляющий момент $M_u$ , мНм | Диапазон изменения частоты вращения $\omega$ , об/мин. | Максимальная потребляемая мощность, не более, Вт | Масса кг | Гарантийный ресурс, час |
|---|--------------------------------|--|--|----------|-------------------------|
| 1,0   | 20                             | 65000  | 15   | 1,4      | 45000                   |

Сравнительно новая конструкция микродвигателя-маховика была разработана АО «Научно-производственный центр «Полюс». Данный двигатель-маховик выполнен по классической симметричной схеме расположения опор вращения с индуктивным дифференциальным датчиком углового положения ротора. Конструкция роторной части представлена на рисунке 3.

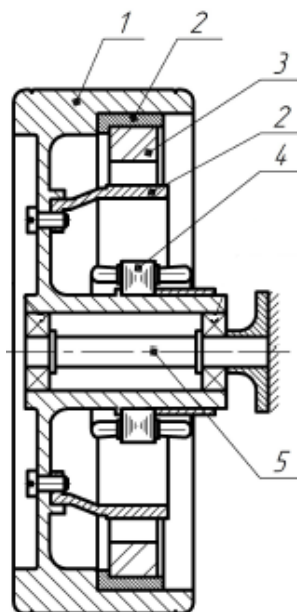


Рисунок 3 – Роторная часть микродвигателя-маховика, разработанного АО «Научно-производственный центр «Полюс»

Роторная система микродвигателя-маховика состоит из маховика 1, индукторов 2, магнитов 3, ротора датчика углового положения 4 и оси ротора 5, на которой установлены внутренние кольца шарикоподшипников [12].

Ещё одна интересная конструкция микродвигателя-маховика представлена на рисунке 4.

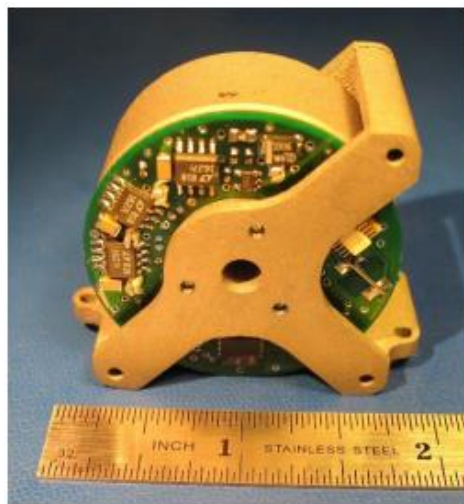


Рисунок 4 – Микродвигатель-маховик RW-0.007-4, разработанный компанией Sinclair Interplanetary

Данная конструкция разработана компанией Sinclair Interplanetary. Она представляет собой статор, поверх которого установлен массивный ротор с постоянными магнитами. Особенностью данного микродвигателя-маховика является то, что статор установлен на печатную плату, с разведённой на её поверхности схемой управления, а вся конструкция закреплена металлической рамкой. Технические характеристики представлены в таблице 2 [13].

Таблица 2 – Характеристики микродвигателя-маховика RW-0.007-4

| <b>Управляющий момент <math>M_u</math></b> | <b>Способ управления</b>        | <b>Габаритные размеры</b> | <b>Напряжение питания</b> | <b>Масса</b> |
|--|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| 1 мНм                                      | Встроенный процессор управления | 50мм x 40мм x 27мм        | 3,4-6,0 В                 | 0,09 кг      |

#### 1.4. Выбор электродвигателя

В данной выпускной квалификационной работе была поставлена задача разработать конструкцию микродвигателя-маховика для малого космического летательного аппарата. Данная конструкция должна обладать малыми массой и габаритами и при этом обеспечивать необходимый характер вращения корпуса КЛА. В соответствии с этим потребовалось подобрать такой электродвигатель, который обладал бы высокой надёжностью, малым весом и габаритами, а также хорошей регулировочной характеристикой в широком диапазоне скоростей.

Были рассмотрены три типа электродвигателя:

- Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором
- Синхронный электродвигатель
- Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока

В результате оказалось, что асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором обладают плохими регулировочными характеристиками. Управление скоростью в диапазоне малых скоростей приводя к перегреву двигателя.

Синхронные электродвигатели также оказались не пригодны для управления в малых диапазонах скоростей, так как при этом необходимо уменьшать частоту питающего напряжения до нуля.

Единственным подходящим электродвигателем для управления малым космическим аппаратом оказался бесколлекторный электродвигатель постоянного тока. Данный тип электродвигателей обладает малыми массой и габаритами, линейной характеристикой, низкой пульсацией величины момента и высоким КПД.

В качестве маховичного двигателя был рассмотрен электродвигатель привода флоппи-дискового (рис. 5), который используется в персональных компьютерах. Данный электродвигатель относится к бесколлекторным, постоянного тока. В нём постоянные магниты ротора расположены на максимально возможном радиусе, что обеспечивает высокий момент инерции маховика, а следовательно и высокий управляющий момент. К тому же

величина этого момента может плавно меняться в соответствии с подаваемым на вход электродвигателя сигналом управления.

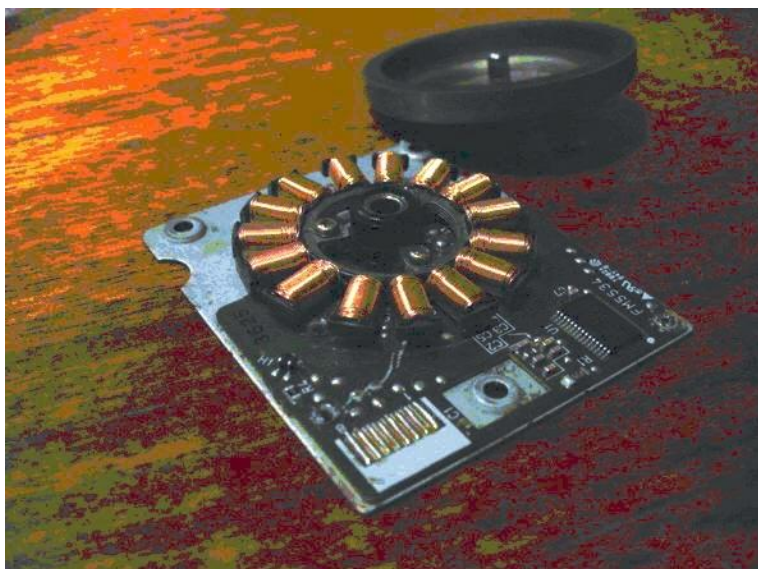


Рисунок 5 – Электродвигатель привода флоппи-дискового

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**


### **6.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ**

#### **6.1.1. Потенциальные потребители результатов НТИ**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Таблица 3 – Карта сегментирования услуг по разработке микродвигателя-маховика

| Тип производства | Характеристики микродвигателя-маховика |   |
|------------------|--|---|
|                  | Малые масса и габариты                 | Хорошая регулировочная характеристика в широком диапазоне скоростей |
| Серийное         |  |   |
| Мелкосерийное    |  |   |
| Единичное        |  |   |

АО НПЦ "Полюс" 

**Вывод:** По полученной карте сегментирования видно, что единственным конкурентом по разработке микродвигателя-маховика является Научно-производственный центр "Полюс". Данный центр специализируется на серийном выпуске продукции. В связи с этим можно сделать вывод, что потенциальными потребителями результатов данной НТИ могут быть приборостроительные предприятия и коммерческие организации, специализирующиеся на мелкосерийном или единичном выпуске микродвигателей-маховиков.

#### **6.1.2. 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.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2. Данные критерии подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Для сравнительной оценки выбран Научно-производственный центр "Полюс".

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки   | Вес критерия | Баллы |             | Конкурентоспособность |             |
|---|--------------|-------|-------------|-----------------------|-------------|
|   |              | ТПУ   | НПЦ "Полюс" | ТПУ                   | НПЦ "Полюс" |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |       |             |                       |             |
| 1. Повышение производительности труда пользователя      | 0,05         | 4     | 5           | 0,2                   | 0,25        |
| 2. Удобство в эксплуатации                              | 0,05         | 5     | 5           | 0,25                  | 0,25        |
| 3. Помехоустойчивость                                   | 0,05         | 4     | 5           | 0,2                   | 0,25        |
| 4. Энергоэкономичность                                  | 0,04         | 4     | 5           | 0,16                  | 0,2         |
| 5. Надежность   | 0,05         | 5     | 5           | 0,25                  | 0,25        |
| 6. Уровень шума   | 0,05         | 5     | 5           | 0,25                  | 0,25        |
| 7. Безопасность   | 0,05         | 5     | 5           | 0,25                  | 0,25        |
| 8. Функциональная мощность                              | 0,05         | 5     | 5           | 0,25                  | 0,25        |
| 9. Простота эксплуатации                                | 0,05         | 4     | 4           | 0,2                   | 0,2         |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |       |             |                       |             |
| 1. Конкурентоспособность продукта                       | 0,05         | 4     | 5           | 0,2                   | 0,2         |
| 2. Уровень проникновения на рынок                       | 0,25         | 4     | 5           | 1                     | 1,25        |



|                                      |          |           |           |             |             |
|--------------------------------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 3. Цена разработки                   | 0,03     | 5         | 4         | 0,15        | 0,12        |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации  | 0,05     | 4         | 4         | 0,2         | 0,2         |
| 5. Послепродажное обслуживание       | 0,03     | 4         | 4         | 0,12        | 0,12        |
| 6. Финансирование научной разработки | 0,05     | 4         | 5         | 0,2         | 0,25        |
| 7. Сроки выхода                      | 0,03     | 5         | 4         | 0,15        | 0,12        |
| 8. Наличие сертификации разработки   | 0,07     | 5         | 5         | 0,35        | 0,35        |
| <b>Итого</b>                         | <b>1</b> | <b>76</b> | <b>84</b> | <b>4,38</b> | <b>4,76</b> |

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [20]:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (21)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

**Вывод:** Из анализа видно, что данное НТИ обладает сравнительно высокой конкурентоспособностью. Данный анализ в дальнейшем позволит выработать конкурентные преимущества, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

### **6.1.3. Определение качества технологического процесса изготовления микродвигателя-маховика и его перспективности на рынке с помощью технологии QuaD**

С целью измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющих принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект, применена технология QuaD.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| <b>Критерии оценки</b>                                       | <b>Вес критерия</b> | <b>Баллы</b> | <b>Максимальный балл</b> | <b>Относительное значение</b> | <b>Средневзвешенное значение</b> |
|--|---------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| <b>Показатели оценки качества разработки</b>                 |                     |              |                          |                               |                                  |
| 1. Повышение производительности труда пользователя           | 0,05                | 70           | 100                      | 0,7                           | 0,035                            |
| 2. Удобство в эксплуатации                                   | 0,05                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,045                            |
| 3. Помехоустойчивость  | 0,05                | 80           | 100                      | 0,8                           | 0,04                             |
| 4. Энергоэкономичность                                       | 0,04                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,036                            |
| 5. Надежность  | 0,05                | 95           | 100                      | 0,95                          | 0,0475                           |
| 6. Уровень шума  | 0,05                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,045                            |
| 7. Безопасность  | 0,05                | 100          | 100                      | 1                             | 0,05                             |
| 8. Функциональная мощность                                   | 0,05                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,045                            |
| 9. Простота эксплуатации                                     | 0,05                | 100          | 100                      | 1                             | 0,05                             |
| <b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b> |                     |              |                          |                               |                                  |
| 1. Конкурентоспособность продукта                            | 0,05                | 80           | 100                      | 0,8                           | 0,04                             |
| 2. Уровень проникновения на рынок                            | 0,25                | 80           | 100                      | 0,8                           | 0,2                              |
| 3. Цена разработки   | 0,03                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,027                            |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                          | 0,05                | 95           | 100                      | 0,95                          | 0,475                            |
| 5. Послепродажное обслуживание                               | 0,03                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,027                            |
| 6. Финансирование научной разработки                         | 0,05                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,045                            |
| 7. Сроки выхода  | 0,03                | 90           | 100                      | 0,9                           | 0,027                            |
| 8. Наличие сертификации                                      | 0,07                | 80           | 100                      | 0,8                           | 0,056                            |

|              |   |  |  |  |      |
|--------------|---|--|--|--|------|
| разработки   |   |  |  |  |      |
| <b>Итого</b> | 1 |  |  |  | 1,29 |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле [21]:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (22)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес критерия (в долях единицы);

$B_i$  – относительное значение  $i$ -го показателя.

**Вывод:** По результатам данной оценочной карты можно сделать вывод, что разработка микродвигателя-маховика является перспективной.

#### **6.1.4. Комплексный анализ научно-исследовательского проекта по разработке микродвигателя-маховика посредством SWOT-анализа**

С целью исследования внешней и внутренней среды проекта применен SWOT–анализ. Прежде чем составить матрицу SWOT требуется выявить сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы проекта [22].

Сильные стороны:

С1. Низкая стоимость разработки

С2. Энергоэффективность

С3. Простота эксплуатации

Слабые стороны:

Сл.1. Слабое финансирование научной разработки

Сл.2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания

прототипа

Возможности:

В1. Имеются типовые электроприводы, которые можно использовать в качестве основы для изготовления прототипа

В2. По соседству имеются лаборатории с различным оборудованием

Угрозы:

У1. Усиление конкуренции на рынке

У2. Устаревание технологии

Далее требуется выявить соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

|             | Сильные стороны |    |    | Слабые стороны |     |
|-------------|-----------------|----|----|----------------|-----|
| Возможности | С1              | С2 | С3 | Сл1            | Сл2 |
| <b>В1</b>   | +               | -  | -  | -              | -   |
| <b>В2</b>   | +               | -  | -  | -              | +   |
| Угрозы      | С1              | С2 | С3 | Сл1            | Сл2 |
| <b>У1</b>   | +               | -  | -  | +              | -   |
| <b>У2</b>   | -               | -  | -  | +              | -   |

По полученным результатам составлена матрица SWOT-анализа.

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | <p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Низкая стоимость;</p> <p>С2. Энергоэффективность;</p> <p>С3. Простота эксплуатации.</p> | <p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл.1. Слабое финансирование научной разработки;</p> <p>Сл.2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания прототипа.</p> |
| <p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Имеются типовые электроприводы, которые можно использовать в качестве</p> | <p>1. Можно использовать готовые типовые электроприводы, что снизит себестоимость</p>   | <p>1. Можно договориться с соседними лабораториями об использовании</p>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>основы для изготовления прототипа;</p> <p>В2. По соседству имеются лаборатории с различным оборудованием.</p> | <p>разработки;</p> <p>2. Можно договориться с соседними лабораториями об использовании необходимого оборудования, что также снизит себестоимость.</p> | <p>необходимого для испытания оборудования.</p>            |
| <p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Усиление конкуренции на рынке;</p> <p>У2. Устаревание технологии.</p>               | <p>1. Нужно искать новые способы снижения себестоимости.</p>  | <p>1. Требуется периодически совершенствовать продукт.</p> |

**Вывод:** В данном разделе были выявлены угрозы, сильные и слабые стороны проекта, которые были сведены в матрицу SWOT-анализа. Полученная матрица позволила разработать стратегию, которая исключает слабые стороны и угрозы.

## **6.2. Разработка устава научно-технического проекта**

### **6.2.1. Цели и результаты НТИ**

Цель данного проекта: разработать микродвигатель-маховик для малого космического летательного аппарата.

Ожидаемые результаты:

- изготовление макета микродвигателя-маховика;
- испытание микродвигателя-маховика.

Критерии приёмки результата проекта: функционирование готового макета.

Требования к результату проекта:

- получение регулировочных характеристик макета в требуемом диапазоне скоростей;
- оформление технической документации.

Таблица 8 – Заинтересованные стороны НТИ

| <b>Заинтересованные стороны проекта</b> | <b>Ожидания заинтересованных сторон</b>   |
|---|---|
| Студент                                 | Готовая выпускная квалификационная работа   |
| Руководитель проекта                    | Получение готовой технической и технологической документации на изготовление и испытание макета |

**Вывод:** В данном разделе поставлена цель проекта, описаны ожидаемые результаты, а также выдвинуты требования к результатам проекта. Заинтересованными сторонами данного НТИ являются студент и руководитель проекта.

### 6.2.2. Организационная структура проекта

В рамках данной работы составлен перечень основных этапов и работ по проведению научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Исполнителями данного проекта являются студент и руководитель проекта.

Таблица 9 – Рабочая группа проекта

| <b>№ п/п</b>  | <b>ФИО, основное место работы, должность</b> | <b>Роль в проекте</b>          | <b>Функции</b>  | <b>Трудовые затраты, час.</b> |
|---------------|--|--------------------------------|---|-------------------------------|
| 1.            | Студент                                      | Исполнитель проекта            | Выполнение расчетов, чертежей, проведение экспериментов | 2232                          |
| 2.            | Руководитель проекта                         | Отвечает за реализацию проекта | Координирует деятельность студента                      | 124                           |
| <b>ИТОГО:</b> |  |                                |   | <b>2356</b>                   |

Таблица 10 – Организационная структура проекта

| <b>Основные этапы</b>                                | <b>№ Раб.</b> | <b>Содержание работ</b>   | <b>Должность исполнителя</b> |
|--|---------------|---|------------------------------|
| Разработка технического задания                      | 1             | Составление технического задания                                      | Руководитель проекта         |
| Разработка плана работ                               | 2             | Подбор и изучение материалов по теме                                  | Студент                      |
|  | 3             | Выбор направления исследований  | Студент, руководитель        |
|  | 4             | Планирование работ  | Руководитель                 |
| Теоретические и экспериментальные исследования       | 5             | Проведение теоретических расчетов                                     | Студент                      |
|  | 6             | Экспериментальные исследования  | Студент                      |
|  | 7             | Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями   | Студент                      |
|  | 8             | Выводы  | Студент                      |
| Разработка технической документации и проектирование | 9             | Анализ конструкции  | Студент                      |
|  | 10            | Разработка технической документации                                   | Студент                      |
|  | 11            | Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия | Студент, руководитель        |

|                                 |    |                                       |                       |
|---------------------------------|----|---------------------------------------|-----------------------|
| Изготовление и испытание макета | 12 | Конструирование и изготовление макета | Студент, руководитель |
|                                 | 13 | Лабораторные испытания макета         | Студент, руководитель |
| Оформление ВКР                  | 14 | Составление пояснительной записки     | Студент               |

### 6.2.3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 11 – Ограничения проекта

| Фактор  | Ограничения/ допущения |
|---|------------------------|
| 1. Сроки проекта:                               | 2.02.2017-27.05.2017   |
| 1.1. Дата утверждения плана управления проектом | 20.02.2017             |
| 1.2. Дата завершения проекта                    | 27.05.2017             |

**Вывод:** В данном разделе были поставлены цели и задачи, была построена организационная структура, и определены ограничения и допущения научно-технического проекта.

### 6.3. Планирование процесса управления НТИ

#### 6.3.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 12 – План-график проведения НТИ

| № работ | Вид работ  | Исполнители  | $T_{ki}$ , кол. дн. | Продолжительность выполнения работ  |      |        |     |
|---------|--|--------------|---------------------|---|------|--------|-----|
|         |  |              |                     | февр.   | март | апрель | май |
| 1       | Встреча с руководителем, выбор тематики научного | Руководитель | 4                   |  |      |        |     |



|   |   |                       |    |  |  |   |   |
|---|---|-----------------------|----|--|--|---|---|
|   | исследования  |                       |    |  |  |   |   |
| 2 | Подбор и изучение литературы по тематике научного исследования  | Студент               | 28 |  |    |   |   |
| 3 | Составление календарного плана выполнения научного исследования | Студент               | 6  |  |   |   |   |
| 4 | Этапы, касающиеся разработки технологического процесса          | Руководитель, студент | 4  |  | <br> |   |   |
| 6 | Исправление ошибок и оформление конечного варианта работы       | Студент               | 34 |  |  |  |   |
| 7 | Защита  | Студент               | 1  |  |  |   |  |

Руководитель 

Студент 

### 6.3.2. Бюджет проекта

**Сырьё, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)**

Эта статья включает затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Таблица 13 – Материальные затраты, необходимые для разработки микродвигателя-маховика

| Наименование        | Количество, шт | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|---------------------|----------------|-------------------|----------------------------|
| Подпятник бронзовый | 1              | 540               | 540                        |
| Винт М1,6х3,5       | 2              | 11                | 22                         |
| Винт М2х10          | 3              | 14                | 42                         |
| Винт М2,5х7         | 4              | 15                | 60                         |
| Винт М2х2           | 2              | 14                | 28                         |
| Винт М2х4           | 2              | 14                | 28                         |
| Шпилька М2х25       | 2              | 18                | 36                         |
| Круг стальной 45    | 2              | 1790              | 3580                       |
| Итого               |                |                   | 4336                       |

**Вывод:** Материальные затраты на приобретение всех необходимых материалов составили 4336 рублей.

### Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [23].

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (23)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (24)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

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

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (25)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – 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.  $F_{\text{д}}=1790$  раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (26)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда [24]);

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в табл.14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители  | $Z_{\text{б}}$ ,<br>руб. | $k_{\text{пр}}$ | $k_{\text{д}}$ | $k_{\text{р}}$ | $Z_{\text{м}}$ ,<br>руб | $Z_{\text{дн}}$ ,<br>руб. | $T_{\text{р}}$ ,<br>раб.<br>дн. | $Z_{\text{осн}}$ ,<br>руб. |
|--------------|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Руководитель | 23264                    | 1,2             | 1,1            | 1,3            | 69559,36                | 404,14                    | 62                              | 25056,2                    |

**Вывод:** Основная заработная плата руководителя проекта составляет 25056,2 рублей в месяц.

## **Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (27)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Таблица 15 – Заработная плата исполнителей НТИ

| <b>Заработная плата</b>         | <b>Руководитель</b> |
|---------------------------------|---------------------|
| Основная зарплата               | 25056,2             |
| Дополнительная зарплата         | 2505,6              |
| Итого по статье $C_{\text{зп}}$ | 27561,8             |

**Вывод:** Дополнительная заработная плата руководителя составляет 2505,6 рублей.

### **Отчисления во внебюджетные фонды**

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (28)$$

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

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 27561,8 = 8268,5 \text{ руб.} \quad (29)$$

**Вывод:** Отчисления во внебюджетные фонды составляет 8265,5 рублей.

## Накладные расходы

В эту статью включаются 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. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,7 \cdot 27561,8 = 19293,26 \text{ руб.} \quad (30)$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет данного проекта. Все данные сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи   | Сумма, руб.  |
|---|--------------|
| 1. Материальные затраты НТИ                                     | 4336         |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 25056,2      |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 2505,6       |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 8268,5       |
| 5. Накладные расходы  | 19293,2<br>6 |
| 6. Бюджет затрат НТИ  | 59459,5<br>6 |

**Вывод:** На данном этапе рассчитан бюджет проекта, который основывается на материальных затратах, затратах на заработную плату, отчислениях во

внебюджетные фонды и накладных расходах. Суммарные затраты на НИИ составляет 59459,56 рублей.

### 6.3.3. Риски проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 17 – Реестр рисков

| № | Риск                 | Потенциальное воздействие      | Вероятность наступления (1-5) | Влияние риска (1-5) | Уровень риска | Способы смягчения риска                      | Условия наступления                          |
|---|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|--|--|
| 1 | Поставки и материала | Срыв поставки материалов       | 4                             | 4                   | Средний       | Найти надежных поставщиков                   | Истечение срока договора                     |
| 2 | Экономический        | Снижение финансирования        | 3                             | 3                   | Средний       | Найти материалы по низкой цене               | Экономический кризис                         |
| 3 | Технический          | Изменение технологии обработки | 2                             | 2                   | Низкий        | Применение более универсального оборудования | Изменение параметров микродвигателя-маховика |

**Вывод:** На данном этапе выявлены возможные риски, которые могут повлиять на проект и разработаны способы их смягчения. По данному реестру видно, что наиболее вероятным и опасным риском является срыв поставки материалов.

### 6.4. Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности

На данном этапе требуется определить показатели эффективности данной разработки [25].

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\phi} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{4336}{4336} = 1 \quad (31)$$

Данный показатель говорит о том, что бюджет не превышает затрат на разработку.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии  | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект |
|---|-------------------------------|----------------|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя         | 0,1                           | 4              |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,15                          | 5              |
| 3. Помехоустойчивость   | 0,1                           | 4              |
| 4. Энергосбережение   | 0,2                           | 4              |
| 5. Надежность   | 0,2                           | 5              |
| 6. Материалоемкость   | 0,25                          | 5              |
| Итого:  | 1                             |                |

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разработки:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (32)$$

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,6$$

Интегральный показатель экономической эффективности разработки:

$$I_{\text{эк}} = \frac{I_m}{I_{\phi}} = \frac{4,6}{1} = 4,6 \quad (33)$$

Данный показатель говорит о том, что данная разработка обладает высокой экономической эффективностью.

## Список публикаций

1. Полюшко Д.А. Затонов И.А. Космический мусор и современные методы борьбы с ним. Космическое приборостроение: сборник научных трудов II Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 375 с.

2. Полюшко Д.А., Долгих А.Г. Ленточный моментный двигатель для импульсного режима работы. Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль/Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 247 с.

3. Полюшко Д.А. Применение бесконтактных микроэлектродвигателей постоянного тока для управления ориентацией малых КЛА. Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 327 с.

4. Полюшко Д.А. Разработка конструкции микродвигателя-маховика малого КЛА. Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов V Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 337 с.