

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

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.04.01 - Приборостроение
Отделение школы (НОЦ) Электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Расчетно-конструкторская модель гиродина

УДК 629.7.062.2.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Индыгашева Нэля Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Костюченко Тамара Георгиевна	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	К.И.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКЖ	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Нестеренко Тамара Георгиевна	К.Т.Н		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) _____
 (Дата) Нестеренко Т.Г.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Индыгашевой Нэле Сергеевне

Тема работы:

Расчетно-конструкторская модель гиродина

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 18.11.2016, 10020/с
---------------------------------------------	------------------------

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (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 исследования: гиродин. Создание расчетно-конструкторской модели гиродина с заданными параметрами: - кинетический момент - 5 Н·м·с; - масса не больше 7 кг; - высота обода маховика 40 мм; - наружный радиус маховика 70 мм; - угловая скорость 10000 об/мин.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Разработке подлежат: - аналитический обзор научной литературы; - расчет и моделирование маховика гиродина; - создание параметрической 3D модели гиродина; - расчет основных характеристик гиродина; - создание системы автоматизированного проектирования гиродина. Дополнительные разделы, подлежащие разработке: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>

	«Социальная ответственность». Заключение по работе.
Перечень графического материала	Сборочный чертеж гиродина
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков Артем Георгиевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
На иностранном языке	Квашнина Ольга Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Исполнительные органы	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Костюченко Тамара Георгиевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Индыгашева Нэля Сергеевна		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Способность совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, 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 коммуникативных 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 комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий 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 комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты 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 инновационные риски при их внедрении.
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 методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.
P9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; 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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Индыгашевой Нэле Сергеевне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Стоимость ресурсов при проектировании гиродина 2. Нормы и нормативы расходов ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Предпроектный анализ</i>	1. Анализ конкурентных технических решений 2. SWOT-анализ
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование научно-исследовательских работ: <ul style="list-style-type: none"> – структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ; – разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. План-график проведения НИИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	К.И.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Индыгашева Нэля Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Индыгашевой Нэле Сергеевне

Инженерная школа	ИШНКБ	Отделение	Электронной инженерии
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 гиродин.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования. 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных факторов.	При проведении исследования могут возникнуть такие вредные факторы как: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень ионизирующих излучений. В ходе выполнения работы также возможно поражение электрическим током.
2. Экологическая безопасность 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 2.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	Во время проведения исследования и по его окончанию не существуют источников загрязнения окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможно возникновение пожара.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Индыгашева Нэля Сергеевна		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Уровень образования магистратура
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2016/2018 учебного года

Форма представления работы:

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.11.2016 г.	Обзор и анализ научной литературы	5
02.03.2017 г.	Расчет и моделирование маховика гиродина	15
18.05.2017г.	Создание параметрической 3D модели гиродина	15
28.10.2017 г.	Расчет основных характеристик гиродина	10
20.12.2017 г.	Создание системы автоматизированного проектирования	15
21.04.2018 г.	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
04.05.2018 г.	Написание раздела «Социальная ответственность»	10
15.05.2018 г.	Написание раздела на иностранном языке	10
14.06.2018 г.	Оформление ВКР и представление работы рецензенту	10

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Нестеренко Т.Г.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 109 с., 29 рис., 17 табл., 13 источников, 2 прил.

Ключевые слова: система ориентации и навигации космических аппаратов, исполнительный орган, гироскоп, T-Flex, система автоматизированного проектирования.

Объект исследования: гироскоп.

Цель работы – создание расчетно-конструкторской модели гироскопа.

В ходе работы была создана расчетно-конструкторская модель гироскопа, которая включает в себя расчеты эксплуатационных и прочностных характеристик гироскопа, параметрическую 3D модель гироскопа и систему автоматизированного проектирования для гироскопа.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: гироскоп представляет собой двухстепенный гироскоп с кинетическим моментом 5 Нмс и скоростью вращения 10000 об/мин. Основной функциональной частью гироскопа является маховик, который имеет следующие габаритные размеры: высота обода 40 мм и наружный радиус 70 мм.

Область применения: гироскопы используются в космических аппаратах для их стабилизации и ориентации.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартиформ, 2016.
2. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2011.
3. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. - Введ. 2016-06-21.
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010.
5. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – Введ. 1989-01-01. - М.: Стандартиформ, 2008.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Гироскоп — механизм, вращающееся инерциальное устройство, применяемое для высокоточной стабилизации и ориентации, как правило, космических аппаратов, обеспечивающее правильную ориентацию их в полёте и предотвращающее беспорядочное вращение. Гироскоп — это двухстепенный управляющий силовой гироскоп, выступающий в роли гиросtabilизатора; на космических аппаратах он заменил более простые системы на базе двигателя-маховика.

САПР — организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования.

Оглавление

Введение.....	13
1 Исполнительные органы.....	15
1.1 Системы управления космическими аппаратами	15
1.2 Классификация систем управления космическими аппаратами.....	16
1.3 Назначение и состав систем ориентации.....	17
1.4 Типы исполнительных органов	23
1.5 Гиродин	25
2 Системы автоматизированного проектирования.....	27
2.1 T-FLEXCAD 2D/3D.....	29
3 Расчетно-конструкторская модель гиродина	32
3.1 Проектирование маховика гиродина.....	33
3.2 Датчик положения ротора для гиродина	35
3.3 Выбор электродвигателя для гиродина.....	37
3.4 Выбор материалов.....	40
3.5 Параметрическая 3D модель гиродина	41
3.6 Расчет основных характеристик гиродина	44
3.6.1 Эксплуатационные характеристики.....	44
3.6.2 Прочностные характеристики	46
3.7 САПР гиродина на основе T-Flex CAD	51
3.7.1 Подсистема геометрического моделирования гиродина.....	53
3.7.2 Подсистема расчета эксплуатационных характеристик гиродина...	54
3.7.3 Подсистема расчета прочностных характеристик.....	55
3.7.4 Подсистема конструкторской документации	58
3.7.5 Подсистема технологической подготовки производства	59
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность	61
5 Социальная ответственность	81

Заключение	93
Список публикаций студента.....	94
Список использованной литературы.....	95
Приложение А	97
Приложение Б.....	99

Введение

Последние десятилетия особенно характерны бурным развитием науки и техники, к основным достижениям которой следует отнести и развитие космической техники. Интенсивное освоение околоземного пространства обусловлено прежде всего хозяйственными задачами, которые эффективно решаются с помощью космических аппаратов (спутников).

В наше время результаты космических исследований находят широкое применение в науке и технике; в хозяйственной деятельности человека. Кроме того, полеты в космос оказывают огромное влияние на мировоззрение людей.

Для нормального функционирования все космические аппараты оснащены системами ориентации. Составной частью этих систем являются исполнительные органы.

Поэтому дальнейшее использование космического пространства непрерывно связано с совершенствованием как систем ориентации в целом, так и их исполнительных органов.

В данной работе была создана расчетно-конструкторская модель такого исполнительного органа - гиродина, представляющего собой двухступенный силовой гироскоп.

Расчетно-конструкторская модель гиродина – это комплекс средств проектирования гиродина, включающий в себя непосредственно параметрическую 3D модель конструкции гиродина, позволяющую подбирать различные варианты конструкции его составных частей, систему автоматизированного проектирования гиродина и средства расчета эксплуатационных и прочностных характеристик.

Расчетно-конструкторская модель гиродина была создана на основе САД-системы T-Flex CAD.

С помощью расчетно-конструкторской модели гиродина можно намного ускорить время проектирования такого исполнительного органа как гиродин. Так как вся основная работа по проектированию гиродина производится персональным компьютером, тогда уменьшается влияние

человеческого фактора, что приводит к более высокому качеству получаемой продукции.

1 Исполнительные органы

1.1 Системы управления космическими аппаратами

Первые космические аппараты (спутники), предназначенные для исследования космоса, не имели систем ориентации. Необходимость последних возникла в связи с расширением и углублением космических исследований, проведением научных экспериментов и решением непрерывно расширяющегося круга практических задач в области связи, метеорологии, навигации наземных средств транспорта, геологии, а также задач техники применения космических аппаратов. Все это потребовало создания космического аппарата различного функционального назначения.

Основная задача системы управления космического аппарата – это компенсация возмущений, действующих на него в полете (или неточности выведения), а также программное наведение [1].

В зависимости от назначения космического аппарата (спутник связи, геодезический спутник и т.п.) системы ориентации могут быть различными, но задача у них одна – обеспечить требуемую ориентацию корпуса космического аппарата для выполнения необходимых технологических операций.

Эта задача систем ориентации искусственных спутников Земли разделяется на следующие подзадачи:

- обеспечение задач навигации, т.е. осуществление программных маневров и коррекций траектории;
- обеспечение научных исследований (изучение планет, астрофизических объектов и т.п.);
- обеспечение электроэнергией бортовой аппаратуры, т.е. участие в осуществлении маневров, обеспечивающих максимальную освещенность солнечных батарей;
- обеспечение связи, т.е. наведения остронаправленных антенн на пункты приема передачи информации и команд [2].

1.2 Классификация систем управления космическими аппаратами

Одним из основных элементов систем управления является исполнительный орган. По типу исполнительного органа все эти системы можно разделить на:

- Системы ориентации и стабилизации, исполнительными органами у которых являются реактивные двигатели;
- Системы ориентации и стабилизации, у которых исполнительными органами являются двигатели-маховики, в том числе и установленные в карданов подвес;
- Системы ориентации с моментным магнитопроводом, создающим управляющий момент с помощью тока в электрическом контуре космического аппарата;
- Комбинированные системы ориентации и стабилизации, в качестве исполнительного органа у которых используются наряду с двигателями-маховиками или моментные магнитопроводы в режиме грубой ориентации, или реактивные двигатели;
- Гравитационные системы ориентации;
- Аэродинамические системы ориентации;
- Стабилизация вращением.

Исполнительные органы перечисленных систем можно разделить на два основных класса:

- исполнительные органы, использующие для создания управляющих моментов внешние по отношению к космическим аппаратам силы;
- исполнительные органы, основанные на реактивных принципах.

Отличительной особенностью и главным преимуществом последних является их способность работать при отсутствии какого бы то ни было полезного взаимодействия с внешней средой. Независимость от

окружающей среды предоставляет большие возможности для удовлетворения самых разнообразных требований, необходимость выполнения которых может возникнуть при разработке конкретной системы ориентации.

В этом классе исполнительных органов можно выделить две разновидности: управляющие реактивные двигатели систем ориентации, создающие реактивные силы, и инерционные исполнительные органы, генерирующие реактивные моменты.

Первая из названных разновидностей использует для ориентации космического аппарата реактивные двигатели, создающие тягу путем отброса некоторой массы.

Вторая разновидность охватывает довольно большой круг устройств, генерирующих реактивные моменты вращательным движением отдельных частей космического аппарата.

Инерционные исполнительные органы, выполненные в виде вращающихся осесимметричных тел (роторов) называют силовыми гироскопами, гироскопическими силовыми стабилизаторами, электромеханическими исполнительными органами, гиродинами [2].

1.3 Назначение и состав систем ориентации

В наши дни космические аппараты из экзотических превратились в обычное средство решения повседневных задач. Космические аппараты используются в:

- телевидении;
- телеграфно-телефонной связи;
- прогнозирование погоды;
- геодезии и т.д.

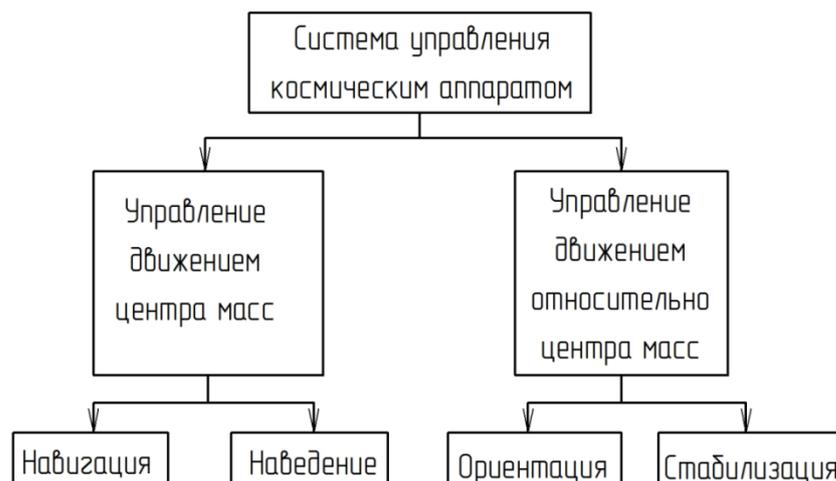


Рисунок 1 - Схема системы управления космическим аппаратом

Из рисунка 1 видно, что эти две разновидности управления космическими аппаратами имеют самостоятельные задачи: одна из них обеспечивает необходимую величину управляющего воздействия для вывода космического аппарата в расчетную точку пространства с заданной скоростью в требуемый момент времени, вторая определяет величины и направления управляющих воздействий для создания требуемого углового движения космического аппарата относительно его центра масс, чтобы гарантировать совмещение осей космического аппарата с осями системы координат, называемой базовой.

Большое разнообразие конкретных технических задач, возникающих перед разработчиками систем ориентации космических аппаратов, привело к созданию множества типов этих систем, а, следовательно, и их функциональных узлов, а том числе и исполнительных органов.

По степени полноты выполняемых функций системы ориентации следует разделить на два вида: одноосные и трехосные.

Первый тип ориентирует лишь одну ось космического аппарата требуемым образом, две другие остаются произвольными. Примером может служить система радиосвязи с Землей, где необходимым условием является направление антенны в заданную точку.

Второй вид систем ориентации представляет полную ориентацию трех осей космического аппарата определенным образом [3].

Для того чтобы космический аппарат ориентировать в пространстве требуемым образом, к нему необходимо прикладывать моменты нужной величины и знака. В зависимости от способа создания этих моментов системы ориентации разделяют на активные, пассивные и комбинированные.

Активные системы для генерирования управляющих моментов затрачивают либо электрическую энергию от бытовых источников, либо рабочее тело, отбрасываемое реактивными двигателями. Эти системы в настоящее время находят наибольшее применение из-за их универсальности и гибкости в управлении.

Пассивные системы для генерирования управляющих моментов используют внешние моменты, прикладываемые к космическому аппарату в результате взаимодействия с гравитационными и магнитными полями, т.е. на поддержание ориентации эти системы не расходует энергию бортовых источников питания.

Комбинированные системы для ориентации используют как внешние моменты, так и имеют устройства, расходующие бортовую энергию. Использование того или иного типа управления обусловлено прочностными, экономическими и другими требованиями обеспечения оптимальности управления ориентацией во всей совокупности параметров.

В зависимости от степени участия человека в управлении системы ориентации подразделяют на автоматические, полуавтоматические и системы ручной ориентации.

Системы ориентации делят также на: грубые, точность ориентации у которых до десяти градусов; средние, точность ориентации у которых единицы градусов; точные, точность ориентации у которых составляет угловые минуты.

Существует ряд других признаков, по которым возможно классифицировать системы ориентации. Однако из отмеченного следует, что

одна и та же система ориентации по своим техническим характеристикам может быть отнесена к нескольким классам: автоматической, точной, активной и т.д.[2].

Для определения места и функций исполнительных органов в ориентации космического аппарата рассмотрим кратко состав системы ориентации.

По своей структуре система управления является замкнутой системой автоматического регулирования, поэтому ее функциональная схема должна содержать объект управления, измерительные и усилительно-преобразующие устройства, а также управляющие органы, которые генерируют силы или моменты, обеспечивающие программное движение космического аппарата вокруг его центра масс.

Структурная схема системы ориентации существенно не зависит от задач, решаемых с помощью космического аппарата, хотя они весьма разнообразны. Во многих режимах управления и ориентации используются одни и те же приборы, поэтому к настоящему времени определилась структурная классическая схема, представленная на рисунке 2.

Датчик формирует сигналы, показывающие положение космического аппарата относительно избранной системы координат. Этот сигнал поступает в блок логики, где производится его анализ, сравнение, необходимые математические операции и преобразование в вид, удобный для дальнейшего использования. На основе проведенного анализа вырабатывается решение о работе системы ориентации в последующие моменты времени [3].

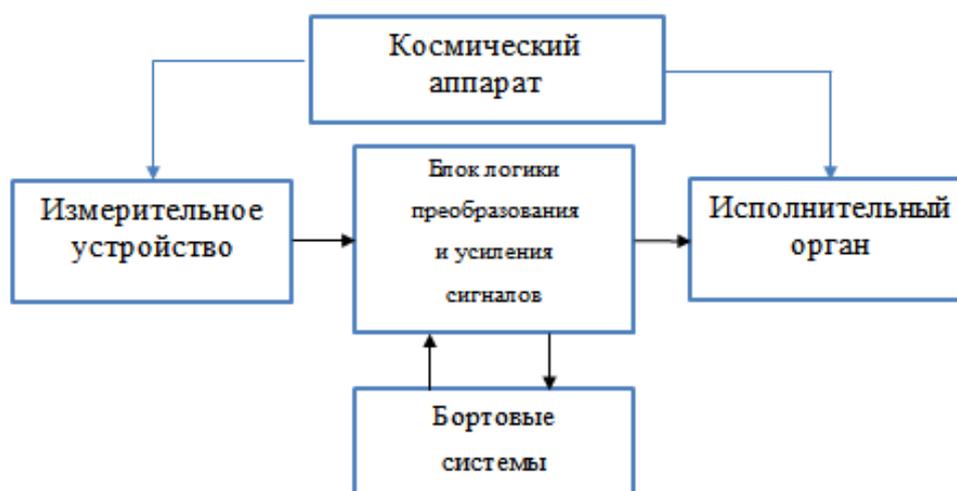


Рисунок 2 – Структурная схема системы ориентации

Кроме этих сигналов в блок логики поступают команды от других бортовых систем, которые дополняют информацию, поступающую от датчиков. С блока логики преобразованные и усиленные сигналы поступают к ИО. В результате их работы к космическому аппарату прикладываются управляющие моменты, которые изменяют его угловое положение.

Ориентация летательного аппарата может производиться двумя принципиально различными методами: пассивным и активным (рис. 3).

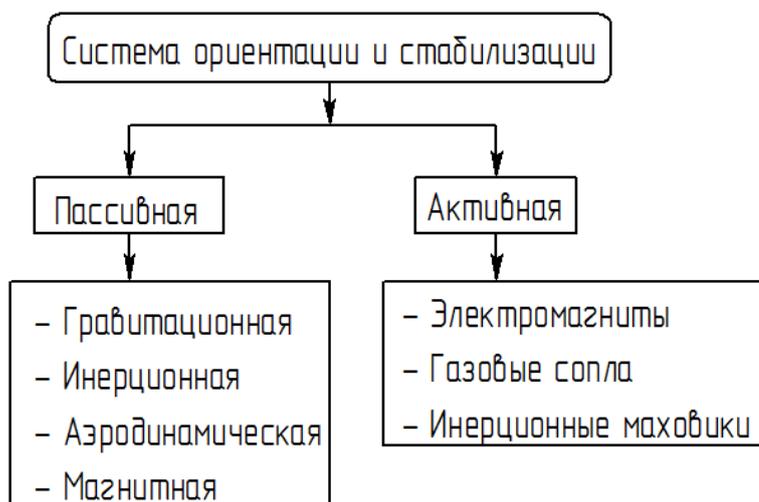


Рисунок 3 - Классификация систем ориентации космического аппарата

«Пассивной ориентацией принято называть ориентацию летательного аппарата, осуществляемую за счет внешних моментов, создаваемых в результате взаимодействия с окружающей средой. Основными видами

пассивной ориентации являются: гравитационная, аэродинамическая, аэродинамическая, магнитная ориентация. Пассивные методы ориентации наряду с их существенными достоинствами – простотой и минимальными энергетическими затратами – имеют ряд ограничений. Основная особенность, ограничивающая их применение, состоит в том, что каждый из этих методов может использоваться для ориентации летательного аппарата лишь относительно одной, вполне определенной, системы отсчета и не обеспечивает возможность переориентации. Активные методы ориентации не имеют недостатков, присущих пассивным методам, хотя и требуют затраты энергии или массы для создания стабилизирующих моментов. При этом в процессе ориентации происходит потребление энергии или расход массы, запасенной на борту космического летательного аппарата (электроэнергии, сжатого газа, химического топлива), или затраты энергии солнечных батарей. Данные методы позволяют обеспечить ориентацию относительно любой базовой системы отсчета и производить переориентацию, то есть переход от одной ориентации к другой, в тех случаях, когда это необходимо.

В зависимости от степени участия человека в управлении, системы ориентации подразделяют на автоматические, полуавтоматические и системы ручной ориентации.

Системы ориентации делят также на: грубые, точность ориентации у которых до десяти градусов; средние, точность ориентации у которых единицы градусов; точные, точность ориентации у которых составляет угловые минуты.

Существует ряд других признаков, по которым возможно классифицировать системы ориентации. Однако из отмеченного следует, что одна и та же система ориентации по своим техническим характеристикам может быть отнесена к нескольким классам: автоматической, точной, активной и т.д. [4].

1.4 Типы исполнительных органов

Исполнительные органы можно разбить на два больших класса:

- ✓ исполнительные органы, использующие для создания управляющих моментов внешние по отношению к космическому аппарату силы;
- ✓ исполнительные органы, основанные на реактивных принципах.

В качестве исполнительных органов, относящихся к первому классу, можно назвать исполнительные органы, использующие магнитное поле Земли, солнечное давление и тому подобные явления. Большим преимуществом этого класса исполнительных органов является то, что для своей работы они требуют только подвода энергии, которая может восполняться на борту космического аппарата солнечными батареями или каким-либо иным образом.

Ко второму классу исполнительных органов отнесены все те, которые основаны на реактивных принципах, т. е. используют закон сохранения вектора момента количества движения системы тел при отсутствии внешних моментов, действующих на эту систему. Их большим преимуществом является то, что они способны работать при отсутствии какого бы то ни было полезного взаимодействия с внешней средой. Независимость от внешней среды дает возможность удовлетворять самым разнообразным требованиям, которые могут возникнуть при разработке конкретной системы ориентации, и поэтому реактивные исполнительные органы являются наиболее распространенными в настоящее время. Известны две основные разновидности этого класса:

- управляющие реактивные двигатели ориентации, создающие реактивные силы;
- инерционные исполнительные органы (силовые гироскопы), создающие реактивные моменты [5].

Первая из названных разновидностей использует для поворотов космического аппарата реактивные двигатели той или иной конструкции, создающие тягу путем отброса некоторой массы. Если линия действия этой тяги проходит не через центр масс аппарата, то возникает момент силы тяги, который можно использовать для управления угловым положением.

Вторая разновидность охватывает довольно широкий круг устройств, создающих путем использования вращательного движения некоторых частей космического аппарата реактивные моменты, вырабатываемые для управления угловым положением. Исполнительный орган такого типа — маховик, ускоренное вращение которого в одну сторону вызывает реактивный момент, действующий на космический аппарат в другую сторону.

Эти два класса охватывают все виды и типы исполнительных органов, существующие в настоящее время.

К настоящему времени уже разработано и продолжает разрабатываться большое количество конструкторско-кинематических схем, в которых отражается все многообразие требований, которые необходимо выполнить, чтобы осуществить тот или иной способ управления ориентацией космического аппарата. основополагающие принципы и методы управления с помощью силовых гироскопов уже достаточно глубоко разработаны. В процессе создания новых ИО, отвечающих как современному уровню развития техники, первоочередной задачей является разрешение противоречивых требований: обеспечить максимально большие кинетические моменты и сохранить потребление мощности на современном уровне. Решение этого вопроса даст качественный скачок в совершенствовании всего комплекса тактико-технических характеристик [5].

Технические характеристики ИО условно можно разделить на две группы. В первую из них входят параметры, характеризующие динамические свойства механической системы "космический аппарат - ИО" (кинетический момент H , электродинамический момент реверсивного двигателя-маховика, жесткость кинематической цепи). Вторая включает эксплуатационные

характеристики (масса, габариты, потребляемая мощность, точность положения и углы отклонения вектора H , ресурс, надежность, экономичность).

Учитывая указанные в литературе признаки классификации (включая конструкторский признак - тип подвеса), можно выделить несколько групп ИО, которые включают все существующие в настоящее время конструкторско-кинетические схемы исполнительных органов систем ориентации космических аппаратов:

- ✓ ИО на базе двигателей маховиков;
- ✓ ИО на базе двухстепенных гироскопов;
- ✓ ИО на базе трехстепенных гироскопов.

1.5 Гиродин

В современной космической технике одной из важных проблем является создание систем ориентации и стабилизации космических аппаратов в пространстве. Для решения этой задачи существуют электромеханические исполнительные органы, служащие в качестве исполнительных органов, создавая управляющие моменты M_y в режимах стабилизации и программных поворотов космического аппарата относительно опорной системы координат. Применяются в основном два типа ЭМИО: управляющие двигатели-маховики и силовые гироскопические приборы, представляющие собой двухстепенные гироскопы (гиродины).

Гиродин — вращающееся инерциальное устройство, применяемое для высокоточной ориентации и стабилизации, как правило, космических аппаратов, обеспечивающее правильную ориентацию в полете и предотвращающее беспорядочное вращение.

Принцип работы инерциальных исполнительных органов основан на законе сохранения момента импульса. Когда двигатель-маховик раскручивается в одну сторону, то космический аппарат начинает крутиться в другую сторону. Если вдруг под влиянием внешних факторов космический

аппарат начал разворачиваться в определённом направлении, достаточно увеличить скорость вращения маховика в ту же сторону, чтобы он скомпенсировал вредный момент и нежелательный поворот космического аппарата прекратится. На космическом аппарате гироскопы заменили более простые системы на базе двигателя-маховика.

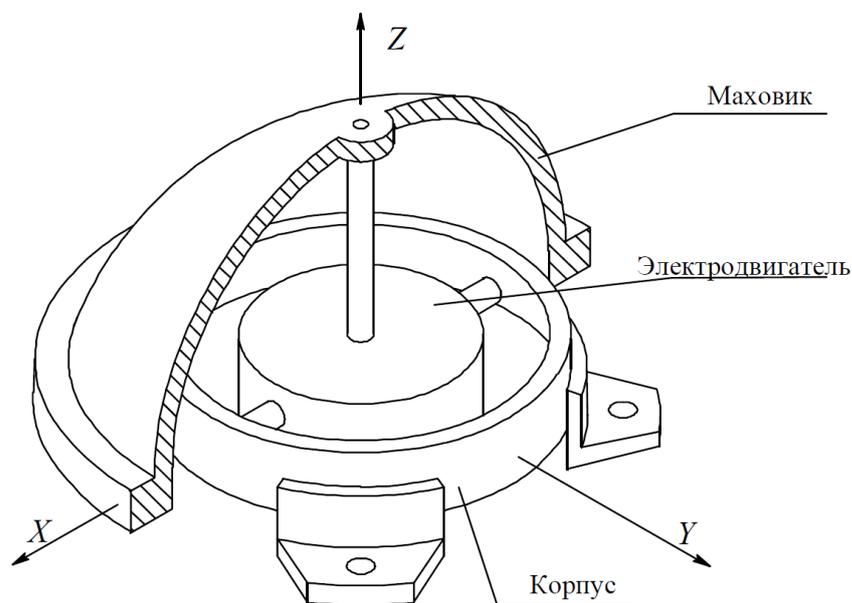


Рисунок 4 - Исполнительный орган на основе двухступенного силового гироскопа

2 Системы автоматизированного проектирования

Система автоматизированного проектирования, САПР, CAD - автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР (система автоматизации проектных работ). Такая расшифровка точнее соответствует аббревиатуре. Для перевода САПР на английский язык зачастую используется аббревиатура CAD (англ. computer-aided design), подразумевающая использование компьютерных технологий в проектировании [6].

САПР - это не системы автоматического проектирования. «Понятие “автоматический” подразумевает самостоятельную работу системы без участия человека. В САПР часть функций выполняет человек, а автоматическими являются только отдельные проектные операции и процедуры. Слово “автоматизированный”, по сравнению со словом “автоматический”, подчёркивает участие человека в процессе.

В основу каждой САПР заложена определенная математическая модель, формализующая описание и функционирование проектируемых объектов и процессы их изготовления. И природа изделий, и производственные процессы накладывают свою специфику на методы их математического моделирования. В конечном счете эта специфика приводит к существенному различию систем проектирования и условий их использования.

Так, САПР изделий электроники, благодаря практически полной стандартизации конечного числа компонентов, используются функциональные математические модели, основанные на структурном описании разрабатываемого изделия, с весьма высоким уровнем формализации. Во всех же остальных системах, несмотря на различную

природу создаваемых с их помощью объектов (детали и узлы машин и механизмов, архитектурные и инженерно-технические сооружения и т.д.), основу математической модели составляет геометрическая модель проектируемого изделия, дополняемая функциональным описанием.

Неоспоримое преимущество автоматизированных, машинных методов проектирования состоит в возможности проводить на ЭВМ эксперименты на математических моделях объектов проектирования, отказавшись от дорогостоящего физического моделирования. Математические модели при этом должны удовлетворять требованиям универсальности, адекватности, точности и экономичности.

Для создания САПР необходимо:

- совершенствование проектирования на основе применения математических методов и средств вычислительной техники;
- автоматизация процесса поиска, обработки и выдачи информации;
- использование методов оптимизации и многовариантного проектирования; применение эффективных математических моделей проектируемых объектов, комплектующих изделий и материалов;
- создание банков данных, содержащих систематизированные сведения справочного характера, необходимые для автоматизированного проектирования объектов;
- повышение качества оформления проектной документации;
- увеличение творческой доли труда проектировщиков за счет автоматизации нетворческих работ;
- унификация и стандартизация методов проектирования;
- подготовка и переподготовка специалистов в области САПР;
- взаимодействие проектных подразделений с автоматизированными системами различного уровня и назначения.

Основная функция САПР – выполнение автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей. При создании САПР и их составных частей следует

руководствоваться принципами системного единства, совместимости, типизации, развития.

Принцип системного единства обеспечивает целостность системы и системную «свежесть» проектирования отдельных элементов и всего объекта проектирования в целом (иерархичность проектирования).

Принцип совместимости обеспечивает совместное функционирование составных частей САПР и сохраняет открытую систему в целом.

Принцип типизации ориентирует на преимущественное создание и использование типовых и унифицированным элементов САПР. Типизации подлежат элементы, имеющие перспективу многократного применения. Типовые и унифицированные элементы периодически проходят экспертизу на соответствие современным требованиям САПР и модифицируются по мере необходимости.

2.1 T-FLEXCAD 2D/3D

T-Flex CAD - система параметрического проектирования, объединяет в себе 3D- и 2D-функционал, обладает исчерпывающим инструментарием для создания параметрических и непараметрических чертежей деталей и сборок, а также для оформления конструкторской документации. При этом она обеспечивает полную поддержку как ЕСКД, так и зарубежных стандартов.

T-Flex CAD 2D – система автоматизированного параметрического проектирования и черчения. Предназначена для быстрого и качественного выпуска чертежной документации в полном соответствии с ЕСКД и международными стандартами. Позволяет создавать чертежи деталей, сборочные чертежи, спецификации, схемы, текстовые документы. Включает обширные библиотеки параметрических стандартных элементов.

T-Flex CAD 3D – система трехмерного твердотельного проектирования. Предназначена для создания трехмерных деталей, сборочных конструкций и автоматического получения точных чертежей по трехмерным моделям. Содержит полный набор функций для создания пространственных моделей,

включая эффективный механизм параметрического пересчета двунаправленной ассоциативности между чертежами и трехмерными моделями. Включает всю функциональность T-Flex CAD 2D.

Элементы модели T-Flex CAD могут быть связаны параметрами и геометрическими отношениями (параллельность, перпендикулярность, касание и т.д.). Все параметры чертежа могут быть выражены с помощью переменных, рассчитаны по формулам, выбраны из баз данных. Перечисленные возможности позволяют получить полностью параметрический чертёж и удобные способы его изменения.

Под параметризацией подразумевается многократное использование чертежа с возможностью изменения его параметров.

Уникальные по своим возможностям являются средства создания сборочных параметрических чертежей. T-Flex CAD позволяет получать сложные чертежи, в которых его отдельные части могут быть взаимосвязаны. Связь можно задать как через геометрическую зависимость, так и через значения параметров. Меняя параметры сборочного чертежа, можно за считанные секунды получить готовые чертежи нового проектируемого изделия. Одновременно с изменением сборочного чертежа получаем и чертежи его составных частей (деталей), а также другие сопутствующие документы.

Программа T-Flex CAD полностью параметрическая, основанная на принципиально новом подходе к 2D-проектированию и оформлению чертежей: все параметры чертежа могут быть выражены с помощью переменных, рассчитаны с помощью обычных формул или выбраны из баз данных. За счет этого конструктор за несколько минут пользователь может получить десятки рабочих чертежей разных типоразмеров изделия.

Кроме того, созданные в программе T-Flex CAD параметрические чертежи отдельных деталей можно соединить, получая при этом параметрические сборочные чертежи, в которых изменение параметров сборочного чертежа приводит к изменению всех его составных частей.

Используя параметрические сборочные чертежи, созданные в T-Flex CAD, конструктор имеет возможность быстро и эффективно получать требуемые модификации сборок. Сборочный чертеж можно спроектировать так, чтобы при различных условиях в него входили разные детали. Подобрать необходимые параметры сборки, можно быстро получить готовые рабочие чертежи отдельных деталей и спецификацию, оформленную в соответствии с ЕСКД. При изменении параметров сборки автоматически будет изменяться спецификация и все другие документы. Уровень параметрических связей не ограничен [7].

3 Расчетно-конструкторская модель гиродина

Целью работы является создание расчетно-конструкторской модели гиродина.

Расчетно-конструкторская модель гиродина – это комплекс средств проектирования гиродина, включающий в себя непосредственно параметрическую 3D модель конструкции гиродина, позволяющую подбирать различные варианты конструкции его составных частей, и средства расчета комплекса эксплуатационных характеристик.

Основная задача, стоящая перед конструктором, – это создание гиродина, наиболее полно отвечающего требованиям технического задания, обладающего наилучшими технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками. Уровень этих характеристик определяется мировыми достижениями в области управления космическими аппаратами.

В конструкции гиродина органа необходимо соблюдать требования технической эстетики, т.е. прибор должен иметь красивый внешний вид и строгую, без излишеств отделку.

Работа по созданию расчетно-конструкторской модели гиродина должна включать в себя создание и применение методик расчета эксплуатационных характеристик, создание конструкции гиродина и его 3D модели как основы для проектирования и выпуска конструкторской документации, выбор материалов для элементов конструкции.

Гиродин состоит из следующих функциональных узлов:

1. Маховик, который представляет собой массивный ротор с явно выраженным ободом, выполненным из нержавеющей конструкционной стали.
2. Датчик положения ротора, который состоит из статора и ротора.
3. Электродвигатель, который состоит из статора, внешнего магнитопровода, представляющего собой ротор.

Требования к гиродину:

- Кинетический момент – 5 Н·м·с;
- Ресурс – 5 лет минимум;

- Масса – 7 кг;
- Потребляемая мощность – максимум 20 Вт;
- Высота обода маховика – 40 мм;
- Скорость – 10000 об/мин.

3.1 Проектирование маховика гиродина

На первом этапе проектирования гиродина рассчитывается маховик, как основной элемент конструкции гиродина, и строится его 3D модель.

Для расчета габаритных размеров маховика, таких как внутренний и наружный радиус, сначала рассчитывается момент инерции маховика. А момент инерции маховика зависит от кинетического момента.

Момент инерции маховика определяется по формуле:

$$J = \frac{H}{\Omega},$$

где H – кинетический момент, Ω – скорость вращения маховика.

$$J = \frac{5H \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{1047 \text{с}^{-1}} = 0,048 \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

Определяем диаметр обода маховика по формуле:

$$D = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot J}{\pi \cdot \gamma \cdot h} \right)^{0,25}$$

где J – момент инерции маховика, $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – удельная масса стали, h – высота обода маховика.

$$D = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,0048 \text{кг} \cdot \text{м}^2}{3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \text{м}} \right)^{0,25} = 0,14 \text{м}$$

Внутренний радиус маховика вычисляется по формуле:

$$r = R \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{J}{0,5 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot h \cdot R^4}}$$

где R – наружный радиус маховика, который равен $R = \frac{D}{2} = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{м}$

$$r = 0,07 \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{0,0048H \cdot m \cdot c^2}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,04m \cdot 0,07^2 m}} = 0,061m$$

По полученным габаритным размерам была смоделирована 3D модель маховика в CAD-системе T-Flex CAD 2D/3D. На рисунке 5 приведена 3D модель маховика.

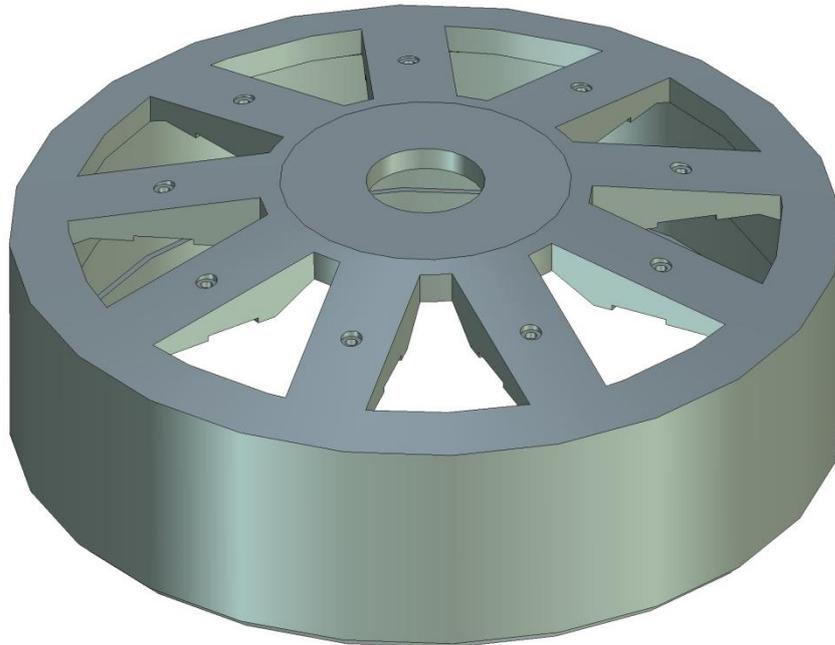


Рисунок 5 - 3D модель маховика

Рассчитаем массу маховика, так как масса маховика может составлять до 50% от всей конструкции.

Масса обода маховика может быть рассчитана по формуле:

$$m = \pi \cdot \gamma \cdot (R - r) \cdot h,$$

где $\gamma = 7800 \frac{kg}{m^3}$ – удельная масса стали, R – внешний радиус обода маховика, r – внутренний радиус обода маховика, h – высота обода.

$$m = 3,14 \cdot 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot (0,07^2 m - 0,061^2 m) \cdot 0,04 m = 1,155 kg.$$

Итак, масса обода составила 1,155 кг. Так как маховик состоит не только из обода, необходимо рассчитать массу всего маховика.

CAD-система T-Flex CAD 2D/3D позволяет рассчитать массу конструкции по ее 3D модели, при условии, что для 3D модели задан материал, из которого она будет изготовлена. На рисунке 4 приведены результаты расчета массы маховика.

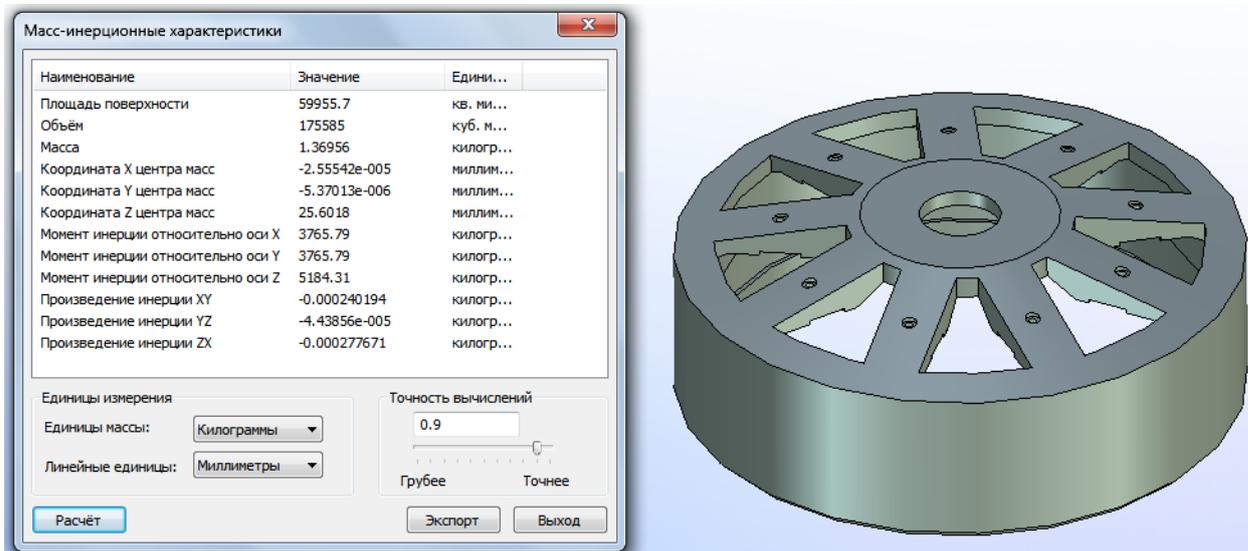


Рисунок 6 - Результаты расчета массы маховика

Таким образом, масса маховика составила 1,369кг.

3.2 Датчик положения ротора для гиродина

Датчик положения ротора (ДПР) - элемент электропривода, позволяющий определить положение ротора электрической машины (чаще магнитного потока ротора). Информация о положении ротора, полученная от ДПР, используется для управления электродвигателем и электрогенераторами.

Датчик положения ротора может быть разных видов:

- Магнитоиндукционный (т.е. в качестве датчика используются собственно силовые катушки, но иногда используются дополнительные обмотки);
- Магнитоэлектрический (датчики на эффекте Холла);
- Оптоэлектрический (на различных оптопарах: светодиод-фотодиод, светодиод-фототранзистор, светодиод-фототиристор).

Датчики положения ротора нашли широкое применение при векторном управлении, в частности в вентильных двигателях. Часто ДПР дополнительно используются для определения и стабилизации скорости вращения вала электрической машины. Иногда ДПР применяют для определения положения объекта управления электропривода, однако при этом снижается точность управления по сравнению с вариантами, при которых датчик положения объекта управления установлен на самом объекте управления.

Современные тенденции электроприводной техники привели к появлению так называемых бездатчиковых электроприводов. В таких системах ДПР отсутствует, а необходимая информация о положении извлекается из фазных токов электродвигателя (в бездатчиковых приводах присутствуют датчики электрических величин). Особенную роль бездатчиковые системы играют в сетевых инверторах, на которые распространяются те же принципы управления, что и на электрические машины, однако установка ДПР физически не возможна.

Преимуществами бездатчиковых систем являются дешевизна, компактность и надёжность. Преимуществами систем с ДПР являются повышенная точность и сравнительная простота управления.

Бесконтактные двигатели постоянного тока существуют в исполнении отдельными с датчиками на роторе и без отдельных датчиков. В качестве отдельных датчиков применяются датчики Холла. Если выполнение безотдельных датчиков, то в качестве фиксирующего элемента выступают обмотки статора. При вращении магнита ротор наводит в обмотках статора ЭДС, в результате чего возникает ток.

Статор имеет традиционную конструкцию и похож на статор асинхронной машины. Он состоит из корпуса, сердечника из электромеханической стали и медной обмотки, уложенной в пазы по периметру сердечника.

Ротор изготавливается с использованием постоянных магнитов.

Вначале для изготовления ротора использовались ферритные магниты. Они распространены и дешевы, но им присущ недостаток в виде низкого уровня магнитной индукции. Сейчас получают популярность магниты из редкоземельных элементов, так как они позволяют получить высокий уровень магнитной индукции и уменьшить размер ротора.

Датчик углового положения ротора должен выдерживать достаточно суровые условия работы в отсеке двигателя, обладать высокой надежностью и иметь низкую стоимость.

На рисунке 7 представлена 3D-модель датчика положения ротора для гиродина.

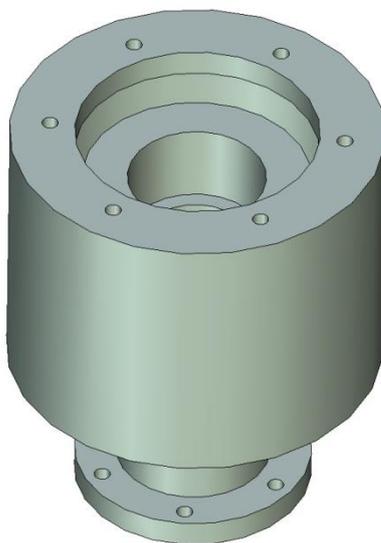


Рисунок 7 – Датчик положения ротора

3.3 Выбор электродвигателя для гиродина

В качестве привода для маховика используется бесконтактный двигатель постоянного тока. Он отличается от коллекторных двигателей традиционной конструкции тем, что у него щеточно-коллекторный узел заменен полупроводниковым коммутатором (инвертором), управляемым сигналами, поступающими с бесконтактного датчика положения ротора. Рабочая обмотка двигателя (обмотка якоря) расположена на сердечнике статора, а постоянный магнит на роторе.

Вал двигателя Д (рис. 8) механически соединен с датчиком положения ротора ДПР, сигнал от которого поступает в блок коммутатора БК. Подключение секций обмотки якоря происходит через элементы блока коммутатора. Назначение ДПР – выдавать управляющий сигнал в блок коммутатора в соответствии с положением полюсов постоянного магнита относительно секций обмотки якоря.

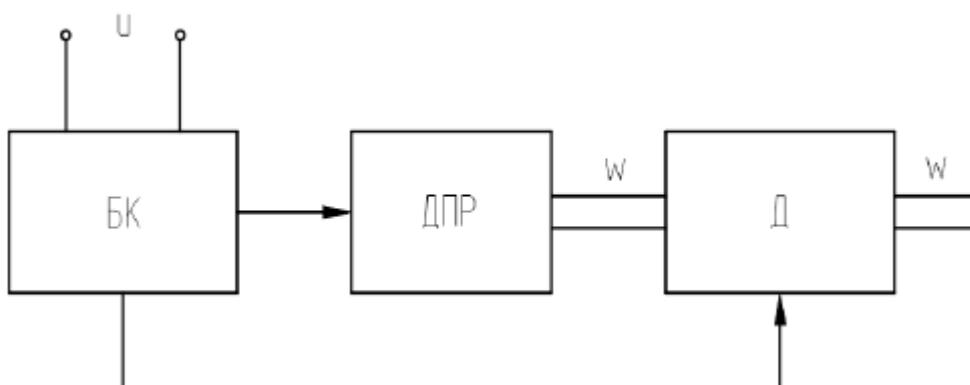


Рисунок 8 – Блок схема БДПТ

В [2] описаны две схемы конструкции приводного бесконтактного двигателя постоянного тока. На вес исполнительного органа влияет то, по какой схеме он скомпонован.

Первая схема – это применение традиционной компоновки бесконтактного двигателя постоянного тока во встроенном исполнении в сочетании с гладким цилиндрическим ободом маховика (рис. 9)

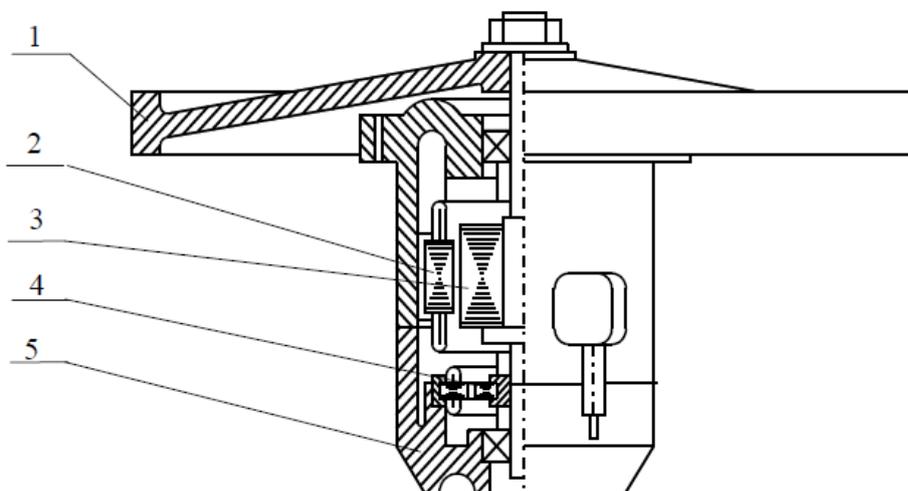


Рисунок 9 – Двигатель-маховик с традиционной формой компоновки

бесконтактного двигателя постоянного тока:

- 1 – маховик; 2 – статор; 3 – ротор электродвигателя;
4 – датчик положения ротора; 5 – корпус

Вторая схема – это совмещение активных частей бесконтактного двигателя постоянного тока с ободом маховика [1].

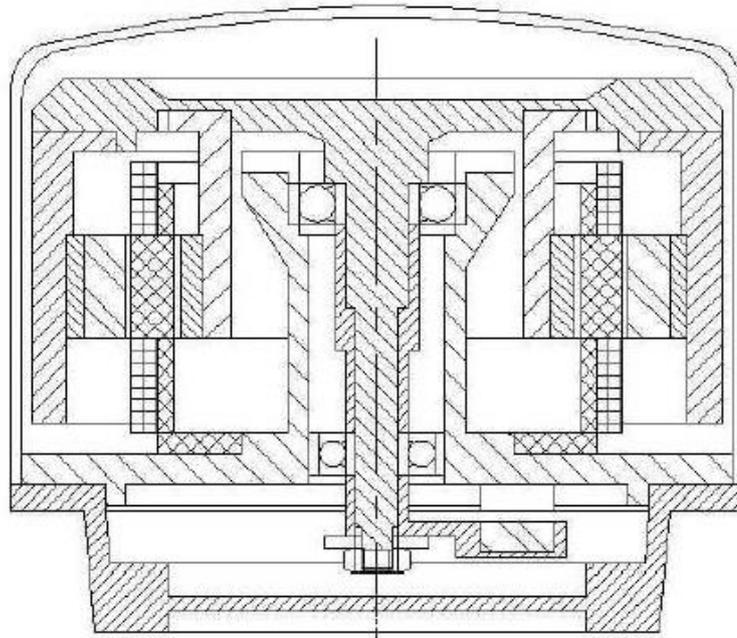


Рисунок 10 – Двигатель-маховик с совмещением активных частей бесконтактного двигателя постоянного тока с ободом маховика

Сравнение весовых показателей исполнительных органов, выполненных по этим двум вариантам схемы, свидетельствует в пользу второго. Поэтому выбирается вторая схема конструкции электродвигателя [1].

Полученная 3D модель электродвигателя представлена на рисунке 11. В этой конструкции ротор совмещен с ободом маховика.

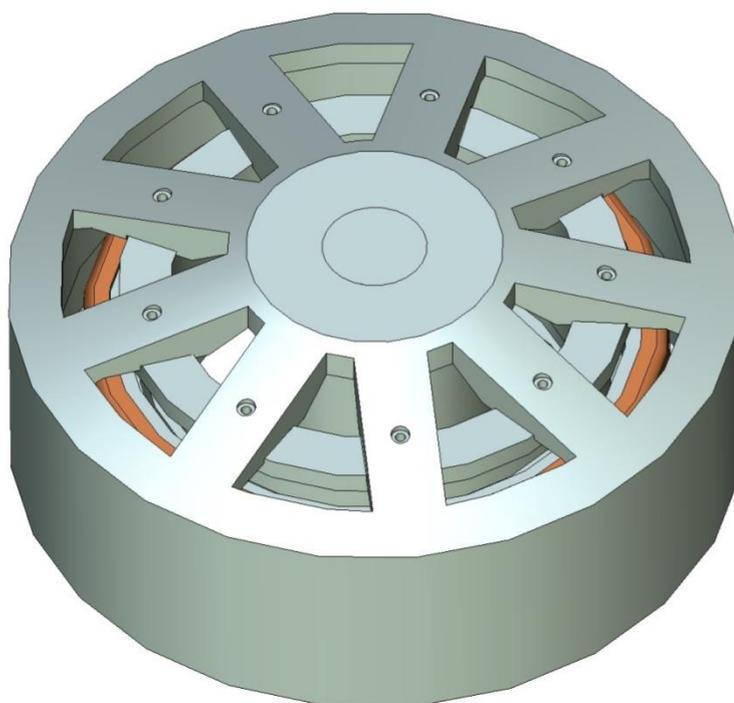


Рисунок 11 –3D модель электродвигатель

3.4 Выбор материалов

При выборе материалов для изготовления деталей учитывается назначение детали и условия их эксплуатации.

Основная деталь гиродина – маховик, который совмещен с ротором электродвигателя, изготавливается из стали 40Х13. Эта сталь является типовым материалом для изготовления роторов электродвигателей маховиков.

Для изготовления втулки выбирается сталь 20Х13. Втулка является важной деталью механизма, очень важно правильно выбрать материал для ее производства. К изготовлению втулок из стали целесообразно прибегать тогда, когда стоит вопрос о прочности материала. Так, втулки из стали гораздо прочнее бронзовых, это позволяет реже производить их замену.

Также важно, чтобы материал для направляющих втулок обладал антифрикционными свойствами и высокого уровня теплопроводностью.

В подшипниках закладывается смазка ВНИИНП-271 по 0,05 грамм. Смазка уменьшает шум при работе, распределяет и отводит тепло от рабочих элементов шарикоподшипника, что особенно важно при высоких скоростях

вращения, так как с ростом угловой скорости увеличивается работа трения и, следовательно, повышается тепловыделение, уменьшается износ трущихся поверхностей.

Статор двигателя состоит из стакана, выполненного из пластмассы АГ4В, и обмотки, сделанный из круглой медной проволоки. Ротор изготавливается из электротехнической стали.

Быстроходные валы, вращающиеся в подшипниках скольжения, изготавливают из цементуемых сталей 20Х.

Для обмотки электродвигателя и датчика положения ротора используется медный провод. Корпус статора выполнен из пластмассы.

Для подведения питания к обмоткам электродвигателей, ДПР, ПВР, ДУ используется кабель марки КУСГ (КУСОГ) 11*0.2 и 14*0.1 (ТУ 16-505.038-82).

Основание выполнено из алюминиевого сплава АМг2м2 ГОСТ 2163-76.

Кожух — жёсткий корпус (оболочка) машины (прибора, механизма, аппарата, агрегата), не являющийся несущим элементом конструкции, для скрепления и поддержания отдельных элементов конструкции, защитного ограждения выступающих и движущих частей и т. д. Обычно легкосъёмный, для облегчения доступа к внутренностям устройства. Кожух выполняется из композиционного материала, углепластика.

3.5 Параметрическая 3D модель гироина

На следующем этапе проектирования гироина были построены параметрические 3D модели всех деталей в T-FLEX CAD 2D/3D. На рисунках 12-14 представлены 3D модели некоторых деталей гироина.



Рисунок 12– Вал

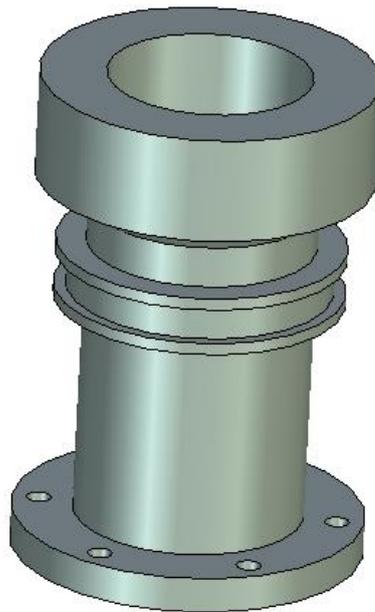


Рисунок 13- Втулка

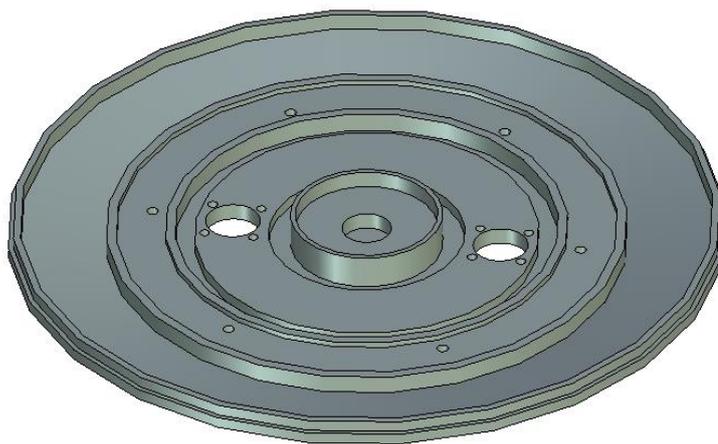


Рисунок 14– Основание

После того как были спроектированы параметрические 3D модели деталей, была произведена сборка всей конструкции. На рисунке 15 представлена 3D сборка конструкции в разобранном виде. Вся конструкция параметрическая, это значит, что при изменении высоты обода маховика и наружного радиуса маховика происходит изменение всей конструкции гиродина.

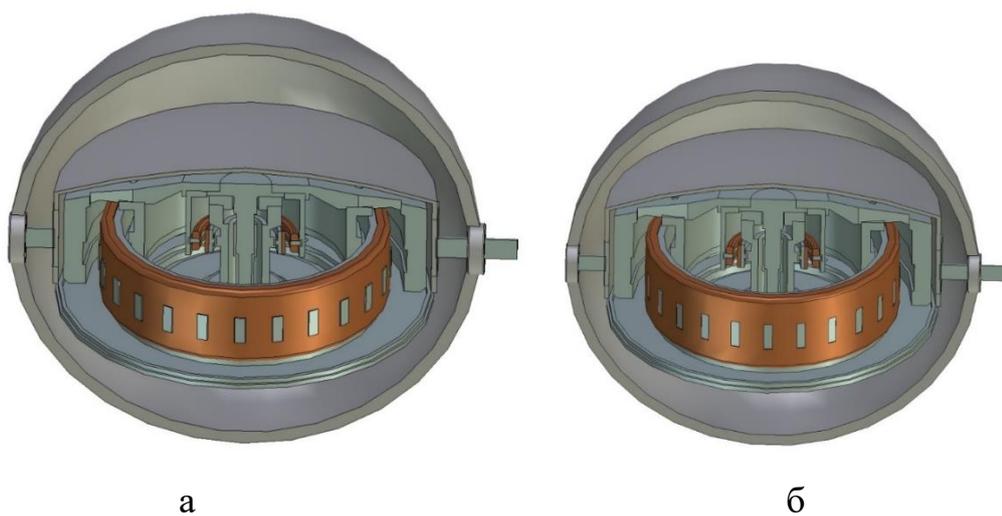


Рисунок 15

- а) - 3Dмодель гиродина при высоте обода маховика 45 мм и наружном радиусе 75 мм
- б) - 3Dмодель гиродина при высоте обода маховика 35 мм и наружном радиусе 65 мм

3.6 Расчет основных характеристик гиродина

3.6.1 Эксплуатационные характеристики

- Расчет критической угловой скорости вращения маховика

Критическая скорость вращения маховика Ω_k является одной из важнейших характеристик гиродина.

Критическая скорость определяется выражением:

$$\Omega_k = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}(\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + \sqrt{\frac{1}{4}(\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + m \cdot J(\alpha \cdot \beta - \gamma^2)}}},$$

где α, β, γ - коэффициенты влияния, m – масса маховика, J – момент инерции маховика.

В случае, когда маховик установлен консольно (рис. 16), α, β, γ определяются выражениями

$$\alpha = \frac{a \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b^3}{3 \cdot E \cdot J_2},$$
$$\beta = \frac{a}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b}{E \cdot J_2},$$
$$\gamma = \frac{a \cdot b}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b}{3 \cdot E \cdot J_2},$$

где a – расстояние между опорами; b – длина консоли; E – модуль упругости I рода; J_1 – момент инерции сечения вала между опорами; J_2 – момент инерции сечения вала консоли.

$$J_1 = J_2 = 0,05(d_n^4 - d_g^4),$$

где d_n, d_g - наружный и внутренний диаметр вала соответственно.

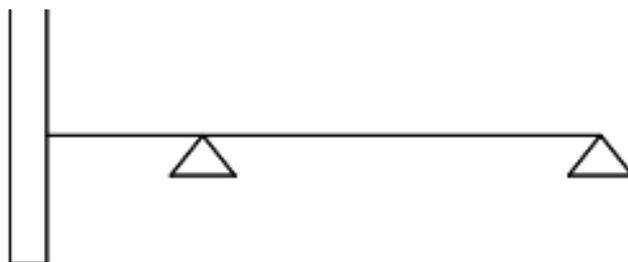


Рисунок 16 – Консольное установление маховика

- Расчет момента сопротивления

Момент сопротивления M_c относится к числу основных эксплуатационных характеристик гиродина, потому что оказывает непосредственное влияние на потребление энергии, величину динамического момента и возмущающего воздействия, на динамику управляемого объекта. Величина M_c нелинейно зависит от скорости и содержит две составляющие:

$$M_c = M_a + M_n,$$

где M_a – момент аэродинамического сопротивления; M_n – момент трения шарикоподшипника.

Момент аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

$$M_a = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot C_a \cdot \Omega^2 \cdot \Gamma_\phi,$$

где ρ – плотность окружающей среды; C_a – аэродинамический коэффициент; Γ_ϕ – геометрический фактор, значение которого зависит от геометрической формы и размеров маховика.

Маховик имеет форму, показанную на рисунке 17.

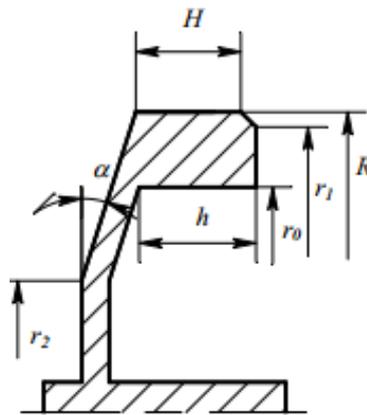


Рисунок 17 – Форма маховика

Для маховика такой формы геометрический фактор рассчитывается по следующей формуле:

$$\Gamma_\phi = R^4 \cdot H + r_0^4 \cdot h + \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \frac{2 \cdot R^5 + r_0^5 - r_1^5 - 2 \cdot r_2^5}{5} + \frac{2 \cdot r_2^5 + r_1^5 - r_0^5}{5},$$

Расчеты эксплуатационных характеристик проводились в Редакторе переменных (рис. 18) системы T-Flex CAD.

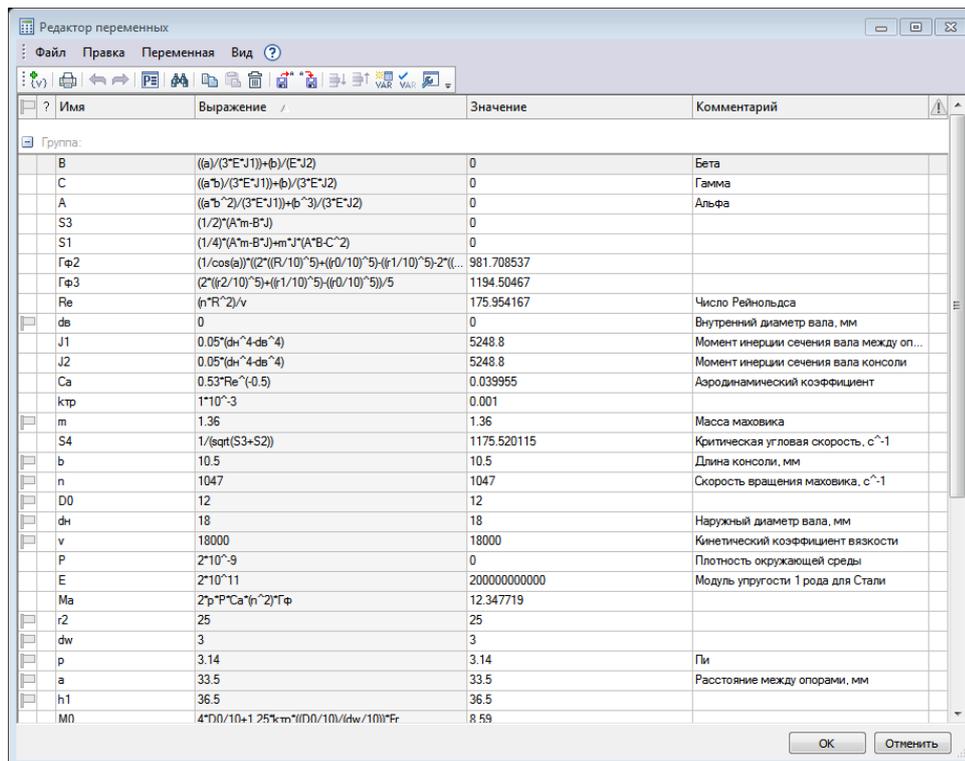


Рисунок 18 – Окно Редактора переменных

При изменении наружного радиуса маховика и высоты обода маховика происходит не только перестроение конструкции гидродина, но и перерасчет основных эксплуатационных характеристик.

3.6.2 Прочностные характеристики

Основной прочностной характеристикой маховиков является механическая прочность обода маховика. Она определяется через угловую скорость и размеры маховика и описывается соотношением:

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot \Omega^2 \cdot R^2}{g}$$

где $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - удельная масса стали, Ω - скорость вращения, R - наружный радиус обода маховика, g - ускорение свободного падения.

Для проектируемого маховика механическая прочность обода составляет:

$$\sigma = \frac{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1047^2 \text{ с}^{-1} \cdot 0,14^2 \text{ м}}{9,8} = 0,43 \cdot 10^6 \text{ Па} .$$

Для используемого материала маховика (сталь 40Х13) предел прочности составляет приблизительно $380 \cdot 10^6$ Па, что значительно превосходит полученный результат. Это значит, что маховик удовлетворяет требованиям по прочности.

Статический анализ

Статический анализ позволяет производить расчёт напряжённо-деформированного состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени нагрузок. Учитываются напряжения, возникающие по причине температурного расширения/сжатия материала. По результатам расчёта оценивается прочность конструкции, определяются наиболее уязвимые места конструкции.

При вращении маховика на него воздействует центробежная сила, возникающая при вращении ротора с угловой скоростью Ω при наличии эксцентриситета, создающая упругий прогиб вала.

В модуле T-FLEX Анализ выбираем тип анализа Статический, затем задаем сетку, используя параметры, заданные по умолчанию.

На рисунке 19 представлена конечно-элементная модель маховика гиродина.

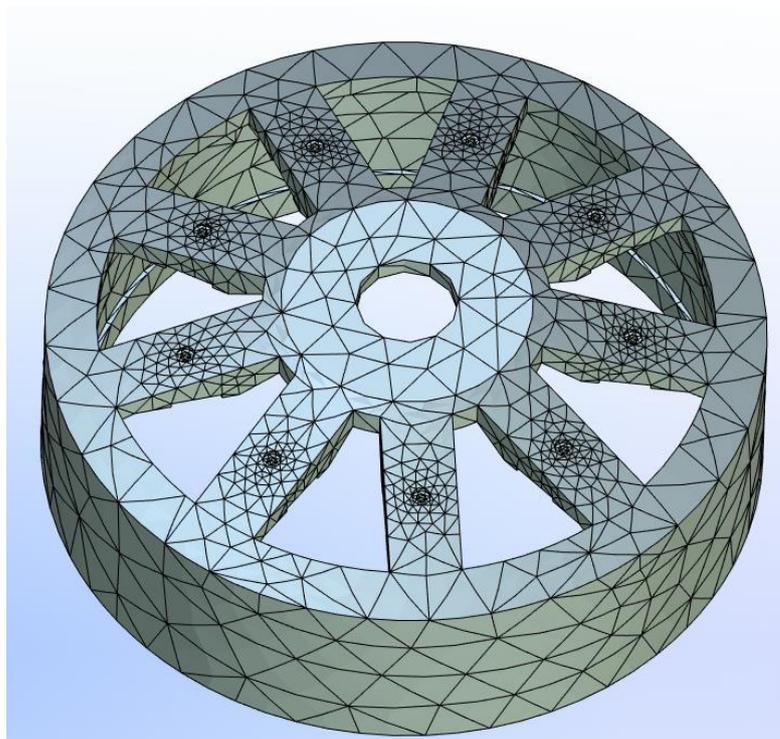


Рисунок 19 – Конечно-элементная модель маховика

Задаем полное закрепление в местах крепления маховика к валу и прикладываем к ободу нагрузку «Вращение», направленную по нормали от обода, равную рассчитанной центробежной силе.

На рисунке 20 представлена 3D маховика гиродина с указанием места закрепления и действующей нагрузкой.

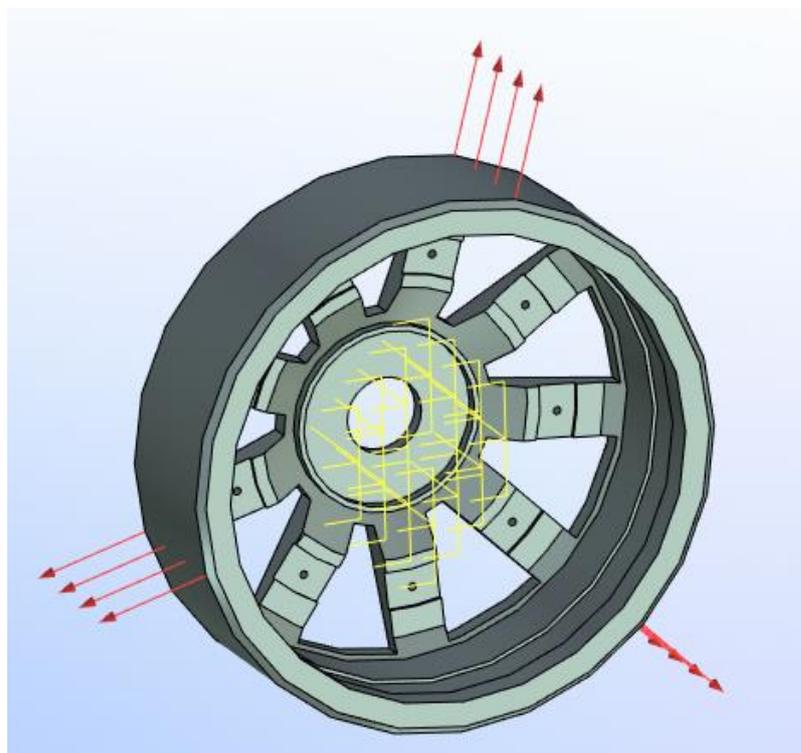


Рисунок 20 - Маховик с закреплением и нагрузкой

На рисунке 21 представлен результат статического анализа «Перемещение, модуль».

Наибольшее перемещение при заданной нагрузке составило 0,41 мм. Полученное значение перемещения не влияет на работоспособность конструкции, так как оно имеет малое значение по сравнению с размерами маховика.

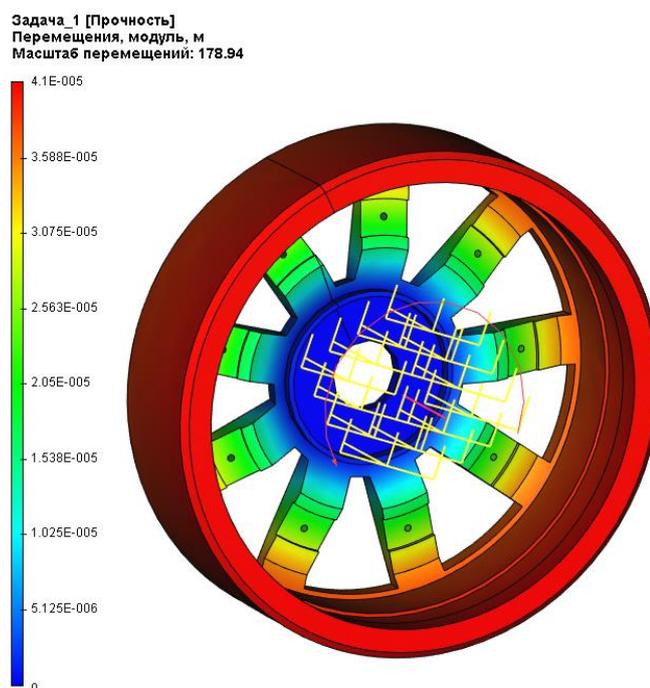


Рисунок 21 -Результат статического анализа «Перемещение, модуль»

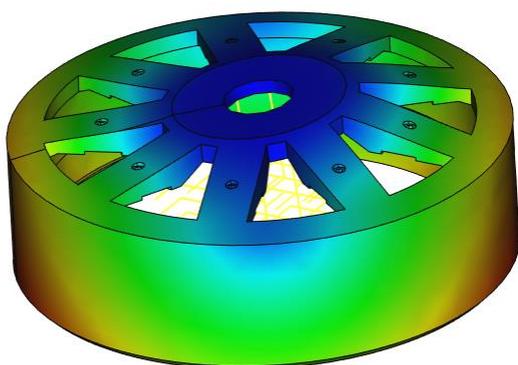
Анализ собственных частот

Анализ собственных частот позволяет осуществлять расчёт собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. По итогам расчета осуществляется проверка наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия. Можно повысить надёжность и работоспособность изделия, оптимизируя конструкцию таким образом, чтобы исключить возникновение резонансов.

Формы колебаний представляют собой относительные амплитуды перемещений конструкции в узлах конечно-элементной сетки. По ним можно определить характер движения, осуществляемого системой на частоте колебаний, соответствующей собственной.

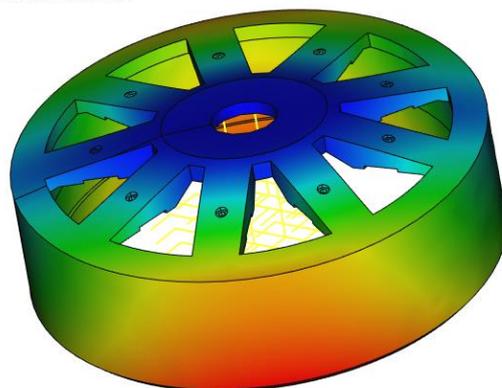
Форма колебаний показывает, какие относительные деформации (перемещения) будет испытывать конструкция в случае возникновения резонанса на соответствующей собственной частоте. Анализируя эти формы, можно сделать заключение о характере резонансных перемещений, но не об их фактической амплитуде.

Задача_2 [Собственные частоты]
Относительные перемещения, модуль
Форма 1 - резонансная частота: 653.277 Гц
Масштаб перемещений: 0.01



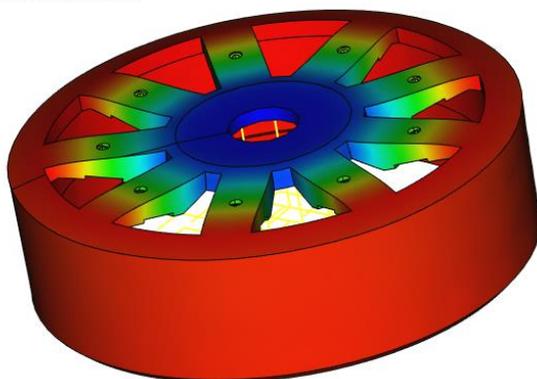
а)

Задача_2 [Собственные частоты]
Относительные перемещения, модуль
Форма 2 - резонансная частота: 656.532 Гц
Масштаб перемещений: 0.01



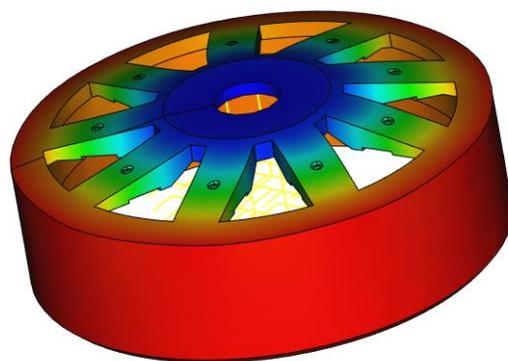
б)

Задача_2 [Собственные частоты]
Относительные перемещения, модуль
Форма 3 - резонансная частота: 1428.947 Гц
Масштаб перемещений: 0.01



в)

Задача_2 [Собственные частоты]
Относительные перемещения, модуль
Форма 4 - резонансная частота: 1748.947 Гц
Масштаб перемещений: 0.01



г)

Рисунок 22 - Результаты анализа собственных частот

- а) – форма 1 – резонансная частота 653,3 Гц;
- б) – форма 2 – резонансная частота 656,5 Гц;
- в) – форма 3 – резонансная частота 1428,9 Гц;
- г) – форма 4 - резонансная частота 1748,9 Гц

3.7 САПР гиродина на основе T-Flex CAD

В настоящее время существует большое количество CAD-систем, функционал которых позволяет создавать 3D модели элементов конструкции, которые являются основой как для выпуска конструкторской документации и производства, так и для дальнейшего моделирования с целью проверки работоспособности прибора.

Одной из таких САД-систем является российский программный комплекс T-Flex, содержащий необходимый функционал для проектирования. Основным достоинством программного комплекса T-Flex являются его параметрические возможности, что позволяет эффективно оптимизировать разрабатываемую конструкцию в процессе проектирования .

На рисунке 23 приведена структурная схема системы автоматизированного проектирования гироидина, основанная на использовании программного комплекса T-Flex. САПР гироидина содержит в себе пять подсистем, предназначенных выполнять определенную проектную функцию и таким образом реализовать необходимые этапы проектирования. Это следующие подсистемы:

- подсистема геометрического моделирования;
- подсистема расчета эксплуатационных характеристик;
- подсистема расчета прочностных характеристик;
- подсистема конструкторской документации;
- подсистема технологической подготовки производства.



Рисунок 23 - Структурная схема САПР гиродина

3.7.1 Подсистема геометрического моделирования гиродина

Подсистема геометрического моделирования гиродина предназначена для создания 3Dгеометрии гиродина - моделей деталей, сборок и подборок. С помощью T-Flex CAD 2D создаются чертежи деталей, сборочные чертежи и спецификации. T-Flex CAD 3D позволяет создавать трехмерные детали и сборочные конструкции.



Рисунок 24 - Структурная схема Подсистемы создания 3D моделей деталей гироидина и 3D сборки

3.7.2 Подсистема расчета эксплуатационных характеристик

гироидина

Подсистема предназначена для расчета требуемых эксплуатационных характеристик и подбора оптимального варианта конструкции по критерию, связанному с какой-либо характеристикой. В число эксплуатационных характеристик входят массогабаритные характеристики, критическая угловая скорость, момент сопротивления, ресурс и другие.

Возможности T-Flex позволяют включать расчет характеристик, зависящих от геометрии конструкции, прямо в 3D модель. Поэтому при изменении основных геометрических размеров и параметрическом перестроении модели происходит перерасчет и эксплуатационных характеристик. При многократном изменении размеров (переборе вариантов конструкции) происходит выбор оптимального по заданному критерию варианта.

Подсистема базируется на использовании модуля T-Flex CAD 2D/3D.

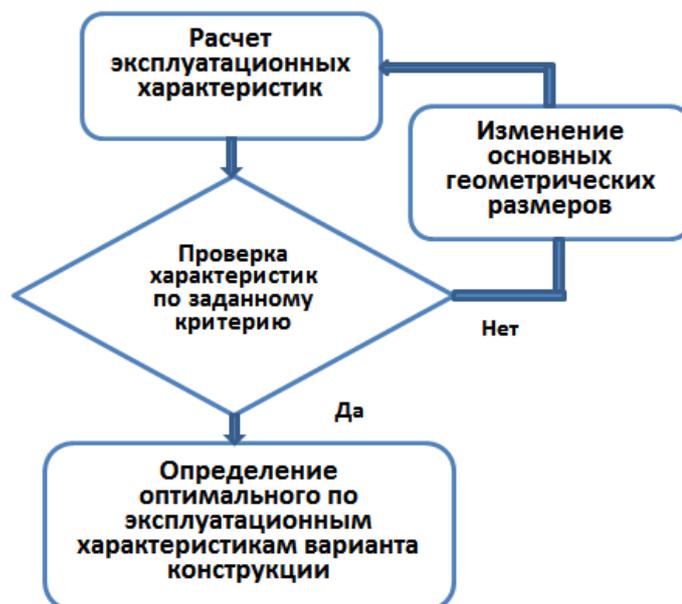


Рисунок 25 - Структурная схема подсистемы расчета эксплуатационных характеристик

3.7.3 Подсистема расчета прочностных характеристик

Подсистема расчета прочностных характеристик базируется на использовании модуля T-Flex Анализ программного комплекса T-Flex.

Модуль T-Flex Анализ основан на использовании метода конечных элементов и позволяет исследовать разрабатываемую конструкцию на механическую прочность, рассчитать резонансные частоты, провести анализ устойчивости, тепловой анализ и другое .

При этом между трехмерной моделью изделия и расчетной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твердотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель.

На рисунке 26 приведена структурная схема подсистемы расчета прочностных характеристик.

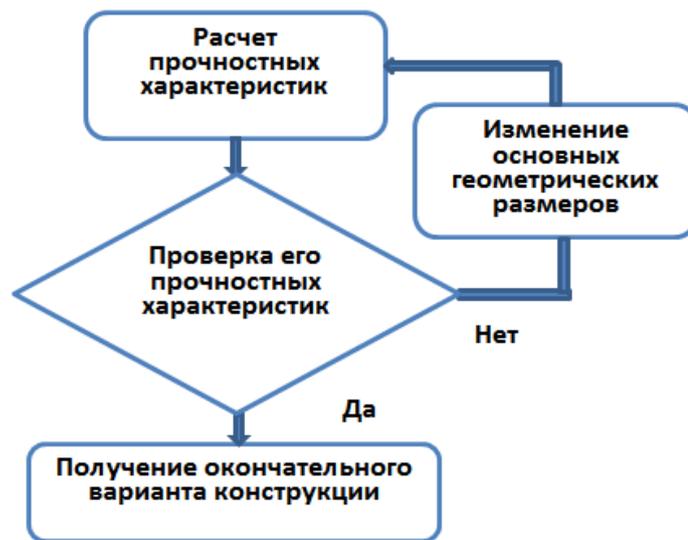


Рисунок 26 - Структурная схема подсистемы расчета прочностных характеристик.



Рисунок 27 -Обобщенная структурная схема системы T-Flex Анализ

Для построения корректной конечно-элементной модели изделия в первую очередь требуется осуществить передачу исходной геометрии изделия в САЕ – систему.

Модули конечно-элементного анализа интегрированы непосредственно в систему 3D - моделирования T-Flex CAD 3D, поэтому объемная модель создается прямо в T-Flex CAD 3D.

Статический анализ позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил. Также можно учесть напряжения, возникающие по причине температурного расширения/сжатия материала или деформации конструкции на величину известных перемещений. С помощью модуля «Статический анализ» можно оценить прочность разработанной конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее уязвимые места конструкции и внести необходимые изменения, оптимизировать изделие.

Анализ устойчивости важен при проектировании конструкций, эксплуатация которых предполагает продолжительное воздействие различных по интенсивности нагрузок. С помощью данного модуля можно оценить запас прочности по т.н. «критической нагрузке». Под действием критической нагрузки в сжатых зонах конструкции могут скачкообразно возникнуть значительные неупругие деформации, зачастую приводящие к её разрушению или серьёзному повреждению.

Тепловой анализ – модуль обеспечивает возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения. Тепловой анализ может использоваться самостоятельно для расчёта температурных или тепловых полей по объёму конструкции, а также совместно со статическим анализом для оценки возникающих в изделии температурных деформаций.

Поскольку анализ ведётся в параметрической системе, то не требуются дополнительные действия в случае внесения параметрических изменений в модель и её повторного анализа.

В подсистеме прочностного анализа разрабатываемая конструкция исследуется на прочность, рассчитываются резонансные частоты, при необходимости проводится анализ устойчивости и тепловой анализ.

3.7.4 Подсистема конструкторской документации

Подсистема выпуска конструкторской документации базируется на использовании модуля T-Flex CAD 2D/3D и предназначена для выпуска конструкторской документации в соответствии с Государственными стандартами. На рисунке 28 приведена структурная схема подсистемы выпуска конструкторской документации.



Рисунок 28- Структурная схема подсистемы выпуска конструкторской документации.

Конструкторская документация представляет собой совокупность определенных технических и нормативных видов документов, которые составляются компанией с целью обеспечить бесперебойную работу на производстве, а также выпуск товаров, которые будут соответствовать утвержденным требованиям и будут отвечать нормам безопасности и качества.

Разработка конструкторской документации может осуществляться согласно стандартам, установленным Правительством РФ, предъявляющим требования к производимым товарам и документам, их оформлению и регистрации. Для каждого отдельного типа товара документация разрабатывается отдельно – большое значение тут имеют такие показатели как сфера использования, свойства конструкции и другие факторы. Состав конструкторской документации может быть представлен как одним документом, так и несколькими. Наиболее распространенный вид конструкторской документации – это ТУ (технические условия), но также

конструкторская документация может быть представлена технологическим регламентом и инструкциями, рецептурой, этикеткой, паспортом безопасности и так далее.

В этой подсистеме формируется комплект КД. Затем происходит передача чертежей и 3D моделей деталей для технологической подготовки.

3.7.5 Подсистема технологической подготовки производства

Технологическая подготовка производства представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску продукции необходимого качества при установленных сроках, объеме производства и затратах. Содержание и объем технологической подготовки производства зависят от типа производства, конструкции и назначения изделия. Под технологической готовностью понимается наличие полного комплекта технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для производства новых изделий.

Технологическая подготовка производства должна производиться в соответствии со стандартами государственной Единой системы технологической подготовки производства.

На рисунке 29 приведена структурная схема подсистемы технологической подготовки производства.



Рисунок 29 - Структурная схема подсистемы технологической подготовки производства.

Подсистема предназначена для организации технологической подготовки и оценки готовности всех служб производства к изготовлению продукции. Она включает процессы, работы и мероприятия, связанные с разработкой технологических процессов по изготовлению продукции, проектированием и изготовлением технологической оснастки, инструментов, средств механизации и необходимой технологической документации.

Система автоматизированного проектирования гиродина позволяет быстро и с хорошим качеством спроектировать гиродин, получив при этом оптимальные эксплуатационные характеристики и основу для его производства.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Таблица 1 - Карта сегментирования рынка

		Деятельность	
		Расчетно-конструкторская модель гиродина	Система автоматизированного проектирования гиродина
Вид деятельности компании	Судоходство		
	Авиация		
	Космонавтика		

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерии	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. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2

4. Энергоэкономичность	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
5. Надежность	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,21
6. Уровень шума	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Безопасность	0,09	5	3	5	0,45	0,27	0,45
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Цена	0,02	4	4	5	0,08	0,08	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
Итого	1				4,87	4,49	4,4

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

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, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, 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.

4.1.3 SWOT - анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

3. Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

4. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Экономичность и энергоэффективность исследования.</p> <p>С2. Простота исследования в сравнении с аналогами.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>Сл1. Отсутствие компании, способной построить производство исходя из исследования.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новую технологию.</p>		

В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Результаты, представленные в табличной форме (табл. 4 – табл. 7), призваны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Каждый символ в таблице обозначает степень соответствия.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта (1)

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

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта (2)

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	0	+	0

	B2	+	-	+
	B3	+	-	+

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта (3)

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

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	-	-	0
	У2	+	0	+
	У3	-	0	+

В результате получаем сильно коррелирующие параметры:

- 1) $B1C3C4C5, B2C2C3, B3C1C3 \Rightarrow B1B2C3, B2B3C3, B1B3C3$
- 2) $B1Сл2, B2Сл1Сл3, B3Сл1Сл3 \Rightarrow B2B3Сл1Сл2$
- 3) $У1C1C2C3, У2C1C2C3, У3C4 \Rightarrow У1У3C1C2C3$
- 4) $У2Сл1Сл3, У3Сл3 \Rightarrow У2У3Сл3$

Исходя из этих данных, получаем наиболее выгодные направления реализации проекта.

Составим итоговую матрицу (табл. 8) для заключительного третьего этапа, в котором будут описаны основные решения научно-исследовательского проекта.

Таблица 8 – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	научно-исследовательского проекта:	научно-исследовательского проекта:
		Сл1. Отсутствие компании, способной

	<p>С1. Экономичность и энергоэффективность исследования.</p> <p>С2. Простота исследования в сравнении с аналогами.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>построить производство исходя из исследования.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новую технологию.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1В2С3, В2В3С3, В1В3С3</p>	<p>В2В3Сл1Сл2</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации</p>	<p>У1У3С1С2С3</p>	<p>У2У3Сл3</p>

УЗ. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		
------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

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

4.2 Планирование управления научно-исследовательского проекта

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составили перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провели распределение исполнителей по видам работ. Для данной магистерской диссертации порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Проведение патентных исследований	Дипломник
	4	Выбор направления исследований	Руководитель

	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Подготовка образцов для экспериментов	Дипломник
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Дипломник
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Дипломник
Проведение ОКР			
Оформления отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Дипломник

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{\text{кал}} = 366$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу, приведенной в Приложении Г.

Календарный план-график строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. План-график показан в

При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 10 - Календарный план график проведения НИР

№ п/п	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	3	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Д	18														

9. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
10. затраты научные и производственные командировки;
11. контрагентные расходы;
12. накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхi}, \quad (7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных

ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 11.

Таблица 11 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_M), руб.
Тетрадь	шт.	1	43	55
Ручка	шт.	2	15	47
Бумага	шт.	120	3	380
Итого				613

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 12. 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 12 - Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	30000	30000
2	Принтер	1	8000	8000
Итого				38000

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу, представленной в Приложении Ж.

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}$$

где Z_M – 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_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 13 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	32	32
Действительный годовой фонд рабочего времени	215	215

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); k_d – 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 $Z_{тс}$); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 14.

Таблица 14 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_r , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.	$Z_{доп}$, тыс. руб.
Руководитель	26,3	0,3	0,5	1,3	61,542	2,977	28	83,354	12,503
Дипломник	2,41	0,3	0,5	1,3	5,6394	0,273	104	28,370	4,255
Итого $Z_{осн}$								111,724	16,758

Основная заработная плата **руководителя** (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей

темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

$$Z_{\text{внеб}} = 27,1 \cdot (111,724 + 16,758) = 3481.8622$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

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

Таблица 15 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	613	Пункт 3.4.1
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	38000	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	111724	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16758	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	3482	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	27292	16% от суммы 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	197869	Сумма ст. 1-6

5 Социальная ответственность

Тема магистерской диссертации связано с моделированием гиродина. Гиродин является исполнительным устройством, предназначенным для ориентации и навигации космических аппаратов.

4.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Анализ вредных и опасных факторов при создании расчетно-конструкторской модели гиродина.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 опасные и вредные факторы, возникающие при проведении данной работы, приведены в таблице 15.

Таблица 15 - вредные и опасные факторы, влияющие на исследователя

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Создание расчетно-конструкторской модели гиродина	1) Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения 2) Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	1) Поражение электрическим ток. 2) Физические и нерво-психологическа я перезагрузка	СП 52.13330.2011; СанПиН 2.2.4.3359-16; ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ;

На основе нормативного документа СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы» рассмотрим ОВПФ, сопровождающие работу.

Микроклимат

Микроклимат является одним из наиболее значительных нормируемых факторов безопасных условий труда. Температура, влажность воздуха и

скорость движения воздушных масс в производственном помещении – основные параметры микроклимата помещения.

В качестве специфики воздействия микроклимата помещения на организм человека отметим следующие факторы. По показаниям многочисленных исследований можно увидеть, что высокая температура в сочетании с высокой влажностью воздуха резко увеличивают время сенсорных и моторных реакций, нарушают координацию движений, что приводит к увеличению количества ошибок в работе. А при низкой температуре высок риск простудных и прочих заболеваний, при температуре менее +10 °С начинается ооченение конечностей, такая температура минимально допустима. Проведение моделирования относится к категории работ по уровню энергозатрат 1а (работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), т.к. вся работа выполняется на персональной ЭВМ.

Оптимальные параметры микроклимата приведены в табл. 16.

Таблица 16 Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 139)	22-24	60-40	0,1
Тёплый	1а (до 139)	23-25	60-40	0,1

Оптимальными для микроклимата жилых и общественных помещений в тёплое время года считаются: температура воздуха 22-25° С, относительная влажность 30-60 %, скорость движения воздуха не более 0,25 м/с; в холодное время года эти показатели составляют соответственно 20-22° С, 30-45 % и 0,1-0,15 м/с. При этом разница температур по горизонтали от окон до противоположной стены не должна превышать 2 °С, а по вертикали 1 °С на каждый метр высоты помещения.

Для создания комфортного микроклимата в помещении используются специальные системы: в холодное время года — системы отопления: газовые, дровяные или угольные печи; система централизованного водяного, в редких случаях (как устаревшего) парового отопления (для жилых и общественных зданий запрещено); калориферы и электрообогреватели. Системы приточно-вытяжной вентиляции (возможно использование рекуперации тепловой энергии вытяжного воздуха). Системы увлажнения воздуха (паровые, ультразвуковые, с традиционным испарением (холодные)).

В тёплое и жаркое время года - системы вентиляции и кондиционирования (охладители, осушители, обеспыливатели).

Освещение

В качестве специфики воздействия недостаточной освещённости на здоровье рабочего необходимо привести следующие факторы. Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к ошибкам при выполнении работы или профессиональным заболеваниям, именно поэтому очень важно правильно обеспечить освещение рабочего места, оборудованного персональным компьютером.

Нормы по освещению рабочего места установлены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340 - 03. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещённость поверхности экрана не должна быть не менее 300 лк и не более 500 лк.

Для создания необходимой освещенности при системе общего освещения необходимо применение источников света ЛЛ типа: ЛТБЦЦ, ЛДЦ, СД.

Электромагнитные излучения

Возникающие в процессе работы электрооборудования (в частности ПЭВМ) электромагнитные излучения способны оказывать негативное влияние на здоровье испытателя. При моделировании гиродина используется жидкокристаллический видеотерминал, что позволяет снизить уровень электромагнитного излучения, действующего на специалиста.

Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей (в соответствии с санитарными правилами СанПин 2.2.2/2.4.1340-03) приведены в таблице 17.

Таблица 17 ВДУ электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ

Параметр	Диапазон частот	ВДУ
Напряжённость электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряжённость электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Соблюдение данных требований достигается путём эксплуатации оборудования, прошедшего сертификацию и получившего в соответствии с установленным порядком санитарно-эпидемиологическое заключение о его безопасности для здоровья.

Электробезопасность

Персональный компьютер – основное средство, на котором выполняются работы – является электроприбором и питается от сети напряжением 220В, сила тока в сети равна 10А, частота 50Гц, уровень напряжения превышает безопасный для человека предел напряжения величиной в 42В, а уровень тока превышает порог ощутимого тока – при частоте 50Гц он составляет величину от 0,6 до 1,5 мА согласно ГОСТ12.1.019-

79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». Следовательно, возникает опасность поражения пользователя электрическим током.

Воздействие на человека электрического тока приводит к общим травмам (электроудары) и местным (ожоги, металлизация кожи, электроофтальмия, механические повреждения).

Основными причинами поражения человека электрическим током являются:

- удар электрическим током при использовании неисправных бытовых электроприборов;
- присоединение к незащищенным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.);
- ошибочно поданное напряжение на рабочее место;
- появление напряжения на корпусе оборудования, которое в нормальных условиях не находится под напряжением;
- удар электрическим током неисправной линии электропередач (приближение к неисправной ЛЭП на недопустимое расстояние);

Рекомендации для избежания возникновения пожара:

Каждое рабочее помещение должно содержаться в чистоте. Промышленные отходы и мусор должны убираться своевременно как по мере накопления, так и после завершения рабочей смены. Не допускается уборка рабочих помещений с использованием горючих, а также других легковоспламеняющихся средств.

Все проходы должны всегда содержаться в исправном состоянии и никогда не загромождаться. В каждом рабочем помещении должно находиться достаточное количество первичных устройств пожаротушения.

Курить на предприятии не разрешается. Для этого необходимо оборудовать отдельные места. Пожароопасные работы должны выполняться только при наличии устройств пожаротушения и при соблюдении безопасного расстояния до воспламеняемых материалов.

Все электрические приборы, техника, а также устройства освещения должны обязательно отключаться в конце рабочей смены. Все устройства пожаротушения, а также система сигнализации обязательно должны быть исправными.

Нельзя загромождать доступ к этим средствам какими-либо предметами. Если работоспособность системы автоматической сигнализации нарушена, необходимо принять неотложные меры по ее ремонту. Работа данного устройства должна обеспечиваться круглосуточно.

Пожарная безопасность

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе, организационно-техническими мероприятиями.

К таким мероприятиям относится организация обучения работающих правилам пожарной безопасности на производстве.

Производственное оборудование должно быть пожаровзрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации (ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»).

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- 1) использование только исправного оборудования;
- 2) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- 3) назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- 4) издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- 5) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- 6) курение в строго отведенном месте;

7) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В лабораторной комнате должны висеть огнетушители, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить лабораторию. На видном месте в коридорах должны быть вывешены инструкции и обязанности сотрудников и план эвакуации в случае пожара.

При возникновении пожара необходимо сообщить об этом в городскую пожарную охрану по телефону 01 (при этом необходимо сообщить точный адрес здания, место возникновения пожара или обнаружения признаков пожара, вероятную возможность угрозы людям, а также другие сведения, необходимые диспетчеру пожарной охраны). Кроме того, следует назвать себя и номер телефона, с которого делается сообщение о пожаре.

Оповестить о пожаре или его признаках людей, находящихся поблизости, и принять необходимые меры для эвакуации всех людей из здания (из опасной зоны). При появлении опасных факторов пожара (дым, потеря видимости, высокая температура, токсичные пары горения) немедленно эвакуироваться в безопасную зону. При возможности сообщить о пожаре руководителям, должностным лицам и всем людям, находящимся в здании.

5.2 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Защита окружающей среды от вредных факторов осуществляется по нескольким направлениям:

- защита атмосферы;
- защита гидросферы;
- утилизация и ликвидация промышленных отходов.

Утилизация и ликвидация промышленных отходов

Рассмотрим в данном подпункте общие вопросы складирования и утилизации нетоксичных отходов предприятия.

В процессе изготовления и сборки изделий, производимых на предприятии, может образовываться различный амортизационный лом, обрезки проводов, пластмассы, резины и других твёрдых отходов.

Их ликвидацию будем осуществлять согласно СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

При моделировании гиродина промышленных отходов не образуется.

5.3 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при работе в кабинете, классифицируются на следующие:

1. по причине возникновения – преднамеренные и непреднамеренные;
2. по природе возникновения:
 - техногенные. К ним относятся: взрывы, пожары, обрушение помещений, аварии на системах жизнеобеспечения;
 - природные, т.е. связанные с проявлением стихийных сил природы. Это могут быть землетрясения, наводнения, ураганы, бури, природные пожары;
 - экологические – это аномальные изменения состояния природной среды, такие как загрязнения биосферы, разрушение озонового слоя, кислотные дожди;
 - антропогенные, являются следствием ошибочных действий людей;
 - социальные – это события, происходящие в обществе: конфликты с применением силы, терроризм, грабежи, насилия, противоречия между работниками предприятия;
 - комбинированные.

В соответствии с концепцией остаточного риска, которым обусловлены чрезвычайные ситуации, абсолютную безопасность обеспечить невозможно. Поэтому принимается такая безопасность, которую приемлет и может

обеспечить общество и рабочий персонал помещения в данный период времени.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Пожар в производственном помещении представляет большую опасность и наносит огромным ущерб. Такой пожар грозит уничтожением приборов, компьютеров, инструментов и комплектов документов, представляющих значительную ценность. Кроме того, пожар характеризуется опасностью для жизни человека. Возникновение пожара в кабинете может быть обусловлено следующими факторами: в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 100°C. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, и, как следствие, – короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

5.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей компьютеров рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работы с использованием компьютера и без него (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Если же работа требует постоянного взаимодействия с монитором (набор текстов или ввод данных и т. п.) с напряжением внимания и сосредоточенности при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организовывать перерывы на 10 – 15 минут через каждые 45 – 60 минут работы.

Такие перерывы:

- включаются в рабочее время в силу ч. 1 ст. 109 ТК РФ;
- увеличиваются на 30% при работе в ночное время (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Отметим, что в зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе за компьютером продолжительность перерывов может варьироваться от 50 до 90 минут (при 8-часовой смене) и от 80 до 140 минут (при 12-часовой смене). Продолжительность и начало каждого перерыва устанавливаются работодателем в правилах внутреннего трудового распорядка (ст. 109 ТК РФ).

Для снижения нервно-эмоционального напряжения, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии целесообразно устраивать физкультурные минутки. Они различны по содержанию и предназначены для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц (например, для общего воздействия, улучшения мозгового кровообращения, снятия утомления с плечевого пояса и рук и др.).

Согласно п. 13.1 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 лица, работающие за компьютером более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией электронно-вычислительных машин), должны проходить медосмотры. Следовательно, работодатель обязан организовывать проведение как предварительных (при поступлении на работу), так и периодических медицинских осмотров. Напомним, что в силу ст. 213 ТК РФ данные медицинские осмотры проводятся за счет средств работодателя.

Специфика труда, связанного с применением ПЭВМ, заключается в больших нагрузках в сочетании с малой двигательной активностью, монотонностью выполняемых операций, вынужденной рабочей позой. Эти факторы отрицательно сказываются на самочувствии работающего. Зрительные нагрузки связаны с воздействием на зрение дисплеев. Чтобы условия труда были благоприятными, уменьшалась нагрузка на зрение, дисплеи соответствуют таким требованиям:

- экран имеет антибликовое покрытие;
- цвета знаков и фона согласованы между собой. При работе с текстовой информацией наиболее благоприятным для зрительной работы является представление черных знаков на светлом фоне, так как при одинаковом контрасте разборчивость знаков на светлом фоне лучше, чем на темном;
- для многоцветного отображения используется одновременно максимум 6 цветов - пурпурный, голубой, синий, зеленый, желтый, красный, а также черный и белый. Для одноцветного отображения черный, белый, серый, желтый, оранжевый и зеленый;
- необходимо регулярное тщательное обслуживание терминалов специалистами.

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей (размер ВДТ и ПЭВМ, клавиатуры и др.), характера выполняемой работы.

Высота рабочей поверхности стола регулируется в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола составляет 725 мм. рабочий стол имеет пространство для подставки ног, которое составляет:

- высоту не менее 600 мм, ширину не менее 500 мм, глубину на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула (кресла) поддерживает рациональную рабочую позу при работе с ПЭВМ, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) полумягкая с нескользящим, не электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Клавиатура компьютера расположена на расстоянии 10-15 мм от края стола, поэтому запястья рук будут опираться на стол.

Заключение

В ходе выполнения работы были рассмотрены системы ориентации космических летательных аппаратов, типы исполнительных органов, что такое система автоматизированного проектирования и его назначение.

Создана расчетно-конструкторская модель гироидина. Расчетно-конструкторская модель гироидина – это комплекс средств проектирования гироидина, включающая в себя параметрическую 3D модель конструкции гироидина, позволяющую подбирать различные варианты конструкции его составных частей, и средства расчета комплекса эксплуатационных характеристик.

К дополнению к расчетно-конструкторской модели гироидина была создана система автоматизированного проектирования, которая состоит из пяти подсистем, каждая из которых предназначена выполнять определенную проектную функцию. Система автоматизированного проектирования гироидина позволяет автоматизировать производство гироидина, из-за чего повышается качество получаемой продукции, снижаются затраты и время проектирования.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен расчет себестоимости научно-исследовательской разработки. Оценив уровень научно-технического эффекта, можно сказать, что данная разработка по значимости занимает средний уровень.

В разделе «Социальная ответственность» были проанализированы вредные факторы, возникающие при работе над проектом, рассчитана необходимая освещенность, площадь и объем помещения, потребляемый воздухообмен и ряд других факторов. Подводя итог по этому разделу можно сказать, что работу инженера можно отнести к первой категории, включающей в себя легкие физические работы, то есть работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбы.

Список публикаций студента

1. Индыгашева Н. С. Проектирование маховика гироскопа // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием, Томск, 12-14 Апреля 2016. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016 - Т. 2 - С. 11-14
2. Индыгашева Н. С. Расчетно-конструкторская модель гироскопа // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. В 3 т., Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 2 - С. 218-222
3. Индыгашева Н.С. Проектирование маховика при создании расчетно-конструкторской модели гироскопа // Наука. Технологии. Инновации. сборник научных трудов: в 9 частях, Новосибирск, 05-09 декабря 2016 – С. 28-30
4. Индыгашева Н. С. Расчет основных характеристик маховика параметрическими средствами T-FLEX // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов V Международного молодежного форума, Томск, 18-20 Апреля 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - С. 52-55
5. Tamara Kostyuchenko and Nelya Indygashева. Computer-aided design system for control moment gyroscope // VI International Forum for Young Scientist «Space Engineering 2018» MATEC Web Conf. 2018

Список использованной литературы

1. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами (Исполнительные органы: назначение, принцип действия, схемы, конструкция): Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. 2000.
2. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н., Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. Часть 1: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013.
3. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. «Управление космическими летательными аппаратами». М., «Машиностроение», 1974.
4. Гущин В.Н. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. – Москва, Машиностроение, 2003.
5. Артюхин Ю.П., Каргу Л.И., Симаев В.Л. Система управления космических аппаратов, стабилизированных вращением. М.: Наука, 1979.
6. Андреев Л.Н., Бортяков Д.Е., Мещеряков С.В. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.
7. Латышев П.Н. Каталог САПР. Программы и производители: Каталогное издание. – М.: ИД СОЛОН-ПРЕСС, 2011.
8. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
9. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартиформ, 2016.

10. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2011.
11. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. - Введ. 2016-06-21.
12. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010.
13. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – Введ. 1989-01-01. - М.: Стандартинформ, 2008.

Приложение А
Сборочный чертеж гиродина

Приложение Б

Раздел 2 Исполнительные органы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Индыгашева Нэля Сергеевна		

Консультант школы отделения ОКД ИШНКБ _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электронной инженерии	Костюченко Тамара Георгиевна	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП: _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Квашнина Ольга Сергеевна			

1 Servomechanisms

1.1 Control Systems

The first spacecraft (satellites) intended for space exploration had no orientation systems. The need for the latter arose in connection with the expansion and deepening of space research, scientific experiments and the solution of a continuously expanding range of practical problems in the field of communications, meteorology, navigation of ground vehicles, geology, as well as the tasks for space vehicles. All this required the creation of a space vehicle for various functional purposes.

The main task of the spacecraft control system is to compensate for perturbations that act on it during flight (or inaccuracies in the derivation), as well as software guidance.

Depending on the purpose of the spacecraft (communication satellite, geodetic satellite, etc.), the orientation systems may be different, but they have one common task - to provide the required orientation of the spacecraft body for the performance of necessary technological operations.

This task of the orientation systems of artificial satellites is divided into the following subtasks:

- provision of navigation, i.e. implementation of program maneuvers and trajectory corrections;
- provision of scientific research (study of planets, astrophysical objects, etc.);
- electric power supply of on-board equipment, i.e. participation in the implementation of maneuvers, ensuring maximum illumination of solar batteries;
- provision of communication, i.e. guidance of highly directional antennas to the points of reception of information transfer and commands.

1.2 Classification of management systems

One of the main elements of management systems is the servomechanism. By the type of a servomechanism, all these systems can be divided into:

- Orientation and stabilization systems, the servomechanisms of which are jet engines;
- Orientation and stabilization systems, in which the servomechanisms are flywheel engines, including hangers mounted in cardan;
- Orientation systems with a torque magnetic core creating a control torque by means of a current in the electrical circuit of spacecraft;
- Combined systems of orientation and stabilization, which use as a servomechanism either the torque cores in the coarse orientation mode, or jet engines along with flywheel motors;
- Gravitational orientation systems;
- Aerodynamic orientation systems;
- Stabilization by rotation.

The servomechanisms of these systems can be divided into two main classes:

- servomechanisms that use forces to create the control moments that are external to spacecraft;
- servomechanisms based on reactive principles.

A distinctive feature and the main advantage of the latter is their ability to work in the absence of any useful interaction with the external environment. Independence from the environment provides great opportunities to meet the most diverse requirements, the need for which can arise when developing a specific orientation system.

In this class of servomechanisms, two types can be distinguished: control jet engines of orientation systems that create reactive forces, and inertial servomechanisms generating reactive moments.

The first of the mentioned type uses for the orientation of the spacecraft jet engines that create thrust by throwing off some mass.

The second variety covers a fairly large circle devices generating reactive moments by the rotational motion of individual parts of the spacecraft.

Inertial servomechanisms made in the form of rotating axisymmetric bodies (rotors) are called power gyroscopes, gyroscopic power stabilizers, electromechanical actuators, and gyrodynes.

1.3 Purpose and composition of orientation systems

Today, space vehicles have evolved from the exotic devices into the usual means of solving everyday problems. Spacecraft are used in:

- television;
- telegraph and telephone communication;
- weather forecasting;
- geodesy, etc.

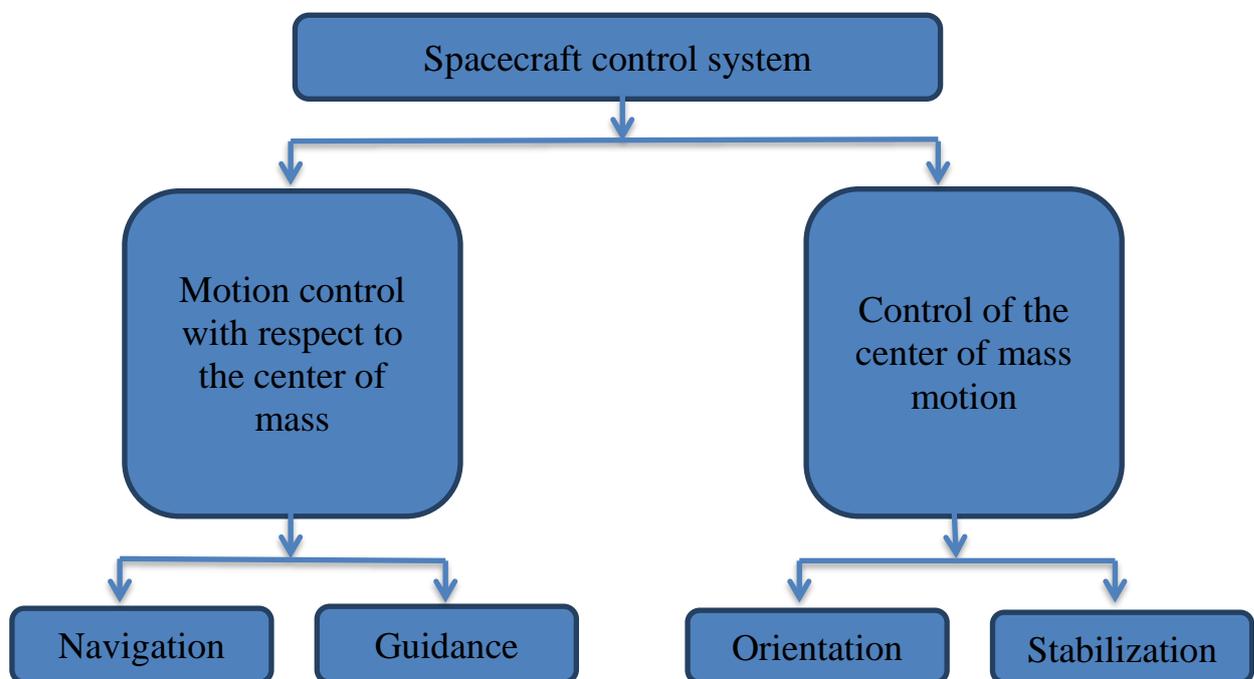


Figure 1 - Scheme of the spacecraft control system

It can be seen from Figure 1, that these two directions have independent tasks: one of them provides the necessary magnitude of the control effect for the output of the spacecraft to the design point of space at a given speed at the required time, the second determines the values and directions of the control actions to create the required angular motion of the space apparatus relative to its center of mass to ensure the alignment of the axes of the spacecraft with the axes of the coordinate system, called the base.

A wide variety of specific technical problems that arise before the designers of spacecraft orientation systems led to the creation of many types of these systems, and, consequently, their functional nodes, including those of the servo mechanisms.

The degree of completeness of the functions performed by the orientation system should be divided into two types: uniaxial and triaxial.

The first type orientates only one axis of the spacecraft in the required way, the other two remain arbitrary. An example is a radio communication system with the Earth, where the necessary condition is the direction of the antenna at a given point.

The second kind of orientation systems represents a complete orientation of the three axes of the spacecraft in a certain way.

In order for the spacecraft to orient in space in the required manner, it is necessary to apply the moments of the required magnitude and sign to it. Depending on the method of creating these moments, the orientation systems are divided into active, passive and combined.

Active systems for generating control moments expend either electrical energy from domestic sources or the working medium thrown away by jet engines. These systems now find the greatest application because of their versatility and flexibility in management.

Passive systems for generating control moments use external moments applied to the spacecraft as a result of interaction with gravitational and magnetic fields, i.e. to maintain the orientation of these systems does not consume the energy of the onboard power supplies.

Combined systems for orientation use both external moments, and have devices that consume airborne energy. The use of this or that type of management is determined by the strength, economic and other requirements of ensuring the optimal orientation control in the whole set of parameters.

Depending on the degree of human participation in management, the orientation systems are divided into automatic, semi-automated and manual orientation systems.

Orientation systems are also divided into: coarse, orientation accuracy of which is up to ten degrees; Average, the orientation accuracy of which is one degree; Precise, the orientation accuracy of which is angular minutes.

There are a number of other features on which it is possible to classify orientation systems. However, it follows from the above that the same orientation system can be assigned to several classes according to its technical characteristics: automatic, accurate, active, etc.

To determine the location and functions of the executive bodies in the orientation of the spacecraft, we consider briefly the composition of the system of orientation.

By its structure, the control system is a closed system of automatic control, therefore its functional diagram must contain the control object, measuring and amplifying-converting devices, as well as control bodies that generate forces or moments that ensure the software movement of the spacecraft around its center of mass.

In addition to these signals, the logic block receives commands from other on-board systems that supplement the information coming from the sensors. From the logic block, the converted and amplified signals are fed to the EUT. As a result of their work, control moments are applied to the spacecraft, which change its angular position.

The orientation of the aircraft can be made by two fundamentally different methods: passive and active (Figure 2).

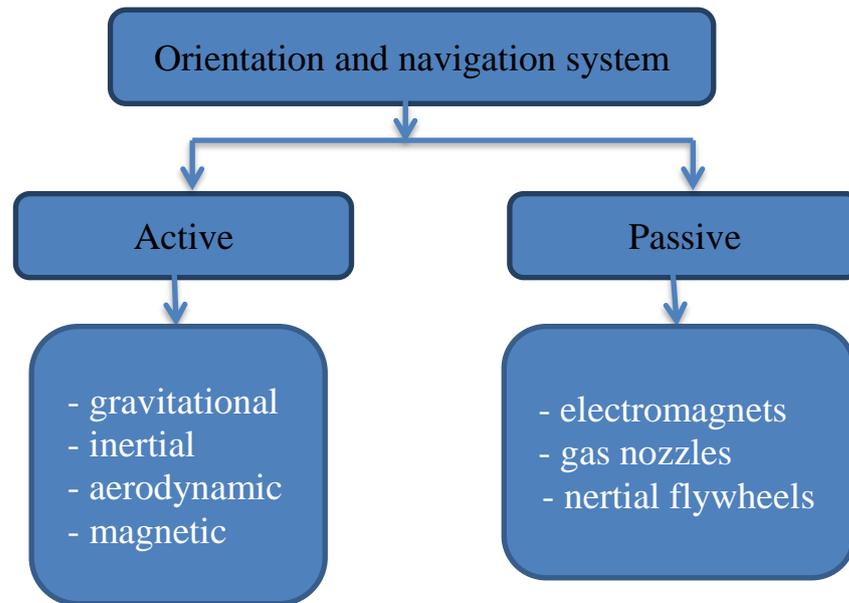


Figure 2 - Classification of spacecraft orientation systems

Passive orientation is called the orientation of the aircraft, carried out due to external moments created as a result of interaction with the environment. The main types of passive orientation are: gravitational, aerodynamic, aerodynamic, magnetic orientation. Passive methods of orientation along with their essential merits – simplicity and minimal energy costs - have a number of limitations. The main feature limiting their application is that each of these methods can be used to orient the aircraft only relative to one, quite definite, system of reference and does not provide the possibility of reorientation.

Active orientation methods do not have the drawbacks inherent to passive methods, although they require the expenditure of energy or mass to create stabilizing moments. In the process of orientation, energy consumption or mass consumption stored on board of spacecraft (electricity, compressed gas, chemical fuel), or energy costs of solar batteries, occurs. These methods make it possible to provide orientation with respect to any basic reference frame and to reorient, i.e. to make a transition from one orientation to another, when necessary.

Depending on the degree of human participation in management, the orientation systems are divided into automated, semi-automated and manual orientation systems.

Orientation systems are also divided into: coarse, the orientation accuracy of which is up to ten degrees; average, the orientation accuracy of which is one degree; precise, the orientation accuracy of which is angular minutes.

There are a number of other features which allow classification of orientation systems. However, it follows from the above that the same orientation system can be classified according to its technical characteristics into several classes: automated, accurate, active, etc.

1.4 Types of servomechanisms

The executive bodies can be divided into two large classes:

- executive bodies using forces external to the space vehicle to create managing moments;
- executive bodies based on reactive principles.

As executive bodies belonging to the first class, one can name executive bodies that use the Earth's magnetic field, solar pressure and the like. The great advantage of this class of executive bodies is that for their work they require only the supply of energy that can be replenished on board the spacecraft with solar batteries or in some other way.

The second class of executive bodies includes all those that are based on reactive principles, that is, they use the law of conservation of the angular momentum vector of the system of bodies in the absence of external moments acting on this system. Their big advantage is that they are able to work in the absence of any useful interaction with the external environment. Independence from the external environment makes it possible to satisfy the most diverse requirements that may arise when developing a specific system of orientation, and therefore reactive executive bodies are the most common at the present time. There are two main varieties of this class:

- control jet engines of orientation, creating reactive forces;
- inertial executive bodies (power gyroscopes), creating reactive moments.

The first of the named varieties uses jet engines of this or that design for turning the spacecraft, creating traction by throwing some mass. If the line of action

of this thrust does not pass through the center of mass of the apparatus, then a torque moment arises that can be used to control the angular position.

The second version covers a rather wide range of devices that create by using the rotational motion of certain parts of the spacecraft the reactive moments developed to control the angular position. An executive body of this type is a flywheel, whose accelerated rotation in one direction causes a reactive moment acting on the spacecraft in another direction.

These two classes cover all types and types of executive bodies that currently exist.

To date, a large number of design and kinematic schemes have already been developed and continue to be developed that reflect the variety of requirements that must be met in order to implement one or another method for controlling the orientation of the spacecraft. Fundamental principles and methods of management with the help of power gyroscopes have already been thoroughly developed. In the process of creating new IO that meet both the current level of technological development, the primary task is to resolve contradictory requirements: to ensure the greatest possible kinetic moments and to conserve power at the present level. Solving this issue will give a qualitative leap in improving the entire range of tactical and technical characteristics.

Technical characteristics of IE can be divided into two groups. The first of these includes parameters characterizing the dynamic properties of the mechanical system "spacecraft - IO" (kinetic moment H , the electrodynamic moment of the reverse engine-flywheel, the rigidity of the kinematic chain). The second includes performance characteristics (mass, dimensions, power consumption, position accuracy and angles of deviation of vector H , resource, reliability, economy).

Taking into account the classification criteria mentioned in the literature (including the design feature - suspension type), several IO groups can be distinguished, which include all the currently existing design and kinetic schemes of the executive bodies of spacecraft orientation systems:

- IO based on flywheel engines;

- IO based on two-stage gyroscopes;
- IO based on three-stage gyroscopes.

1.5 Gyrodine

In modern space technology, one of the important problems is the development of orientation and stabilization systems of space vehicles in space. To solve this problem, there are electromechanical servomechanisms that create the control moments M_u in the modes of stabilization and programmed rotations of the spacecraft relative to the reference coordinate system. Mainly two types of EMIS are used: control flywheel motors and power gyroscopic devices, which are two-stage gyroscopes (gyrodines).

Gyrodine is a rotating inertial device used for high-precision orientation and stabilization, as a rule, of space vehicles, ensuring correct orientation in flight and preventing random rotation.

The principle of operation of inertial servomechanisms is based on the law of conservation of angular momentum. When the flywheel motor rotates in one direction, the spacecraft begins to spin in the other direction. If, suddenly, under the influence of external factors, the spacecraft begins to turn in a certain direction, it is sufficient to increase the speed of rotation of the flywheel in the same direction, so that it compensates for the harmful moment and the unwanted turn of the spacecraft ceases. On the spacecraft, a gyrodine has replaced simpler systems based on the flywheel motor.

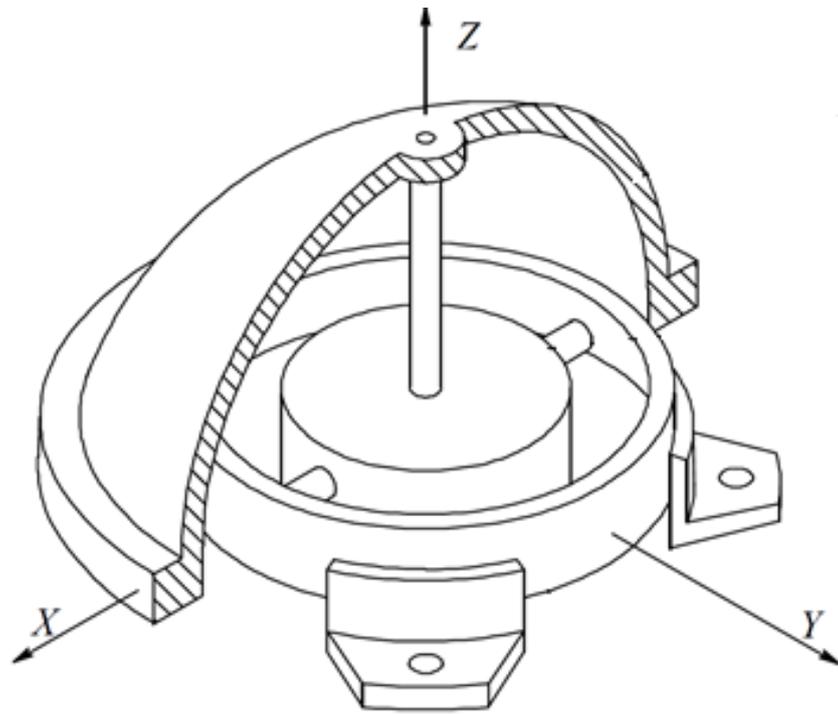


Figure 4 - Servomechanism based on a two-stage power gyro.