

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

Институт Неразрушающего Контроля
 Направление подготовки «Приборостроение»
 Кафедра Точного Приборостроения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Датчик угла шарового гироскопа

УДК 681.586.2:622.243.272.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3В	Кожевников Павел Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ТПС	Голиков А.Н.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Маланова Н.В.	к.т.н.		

По разделу «Вопросы технологии»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПС	Бориков В.Н.	Доктор тех. наук		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10;. ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-3,ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт Неразрушающего Контроля
 Направление подготовки «Приборостроение»
 Кафедра Точного Приборостроения

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БЗВ	Кожевникову Павлу Владимировичу

Тема работы:

Датчик угла шарового гироскопа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	пр. №703/с от 03.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> <p align="center">-----</p> <p>Оптический (бесконтактный) датчик высокого разрешения предназначен для обеспечения возможности получения характеристик угловых и линейных изменений положения главной оси ротора в газодинамической опоре управляемого шарового гироскопа.</p>	<p>Макет (чертеж) макета гироскопа предоставляются.</p> <p>Исследования ориентированы на оценку технической возможности применения существующих оптических датчиков (источников света, приемников и оптики) в макете разрабатываемого гироскопа с учетом следующих требований и условий:</p> <p>Габариты отведенного объема в конструкции макета, мм: Диаметр – 60 мм; высота – 30 мм.</p> <p>Датчик должен обеспечивать съем сигнала в аналоговой форме или коде вокруг двух ортогональных осей в диапазоне углов $\pm 2^\circ$ вокруг каждой оси.</p> <p>Зона нечувствительности (нулевая зона) не более 15".</p> <p>Допускается размещать источник света и приемник отдельно в полюсных зонах ротора.</p> <p>Датчик должен обеспечивать работоспособность в условиях температуры от + 10°C до + 70°C.</p> <p>В качестве канала передачи (световода) допускается использовать объем осевого отверстия в шаровом роторе диаметром 10 мм.</p>
---	--

	Требования к энергообеспечению функциональных элементов датчика – не оговариваются. мм. Должны быть выбраны: 1. Элементная база; 2. Конструкция; 3. Блок-схема преобразования сигналов;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор оптикомеханических преобразователей (устройств). – Выбор и обоснование принципа и конструкции датчика – Аналитическое исследование чувствительности оптико-электронного датчика для двухкоординатного измерителя угловой скорости на основе гироскопа на газодинамическом подвесе с шаровым ротором. – Исследование линейности характеристики датчика по каналам с учетом геометрических размеров в отведенном объеме конструкции – Алгоритм обработки сигнала для определения углового положения оси вращения ротора относительно системы координат корпуса
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Конструкция размещения основных элементов ОДУ: приёмник; оптическая система; источник.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Маланова Наталья Викторовна
Вопросы технологии	Гормаков Анатолий Николаевич

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ТПС	Голиков А.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3В	Кожевников П.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«Вопросы технологии»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б3В	Кожевников Павел Владимирович

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Вопросы технологии»:

1. Конструкторская документация	Чертёж общего вида (ФЮРА.40811.032 ВО), рабочий чертёж фланца (ФЮРА.40811.04)
---------------------------------	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Служебное назначение, техническое описание изделия и его основные технические характеристики	Двухкоординатный датчик углового положения оси вращения шарового ротора на газодинамическом подвесе, предназначен для того чтобы обеспечить регистрацию углового отклонения оси вращения ротора. Основные параметры датчика: энергопотребление, точность измерения, габаритные параметры.
2. Разработка операционной карты технологического процесса изготовления детали	Фланец ФЮРА.40811.04 (Приложение Б)
3. Анализ технологичности деталей, обоснование выбора материала	Изделие обладает высокой технологичностью.

Перечень графического материала :

1. Рабочий чертёж фланца
2. Технологическая карта изготовления детали

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	5.03.2017
---	-----------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3В	Кожевников Павел Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б3В	Кожевников Павел Владимирович

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Проект выполняется в учебной аудитории ТПС ИНК; - В реализации проекта задействованы 2 человека руководитель проекта, студент-дипломник;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Данная НИР новая, следовательно, нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют; - Минимальный размер оплаты труда (на 2017 год) составляет 7800 руб;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению; - Отчисления во внебюджетные фонды – 30 % от ФОТ (На 2017 год: ПФР – 22%; ФСС – 2.9 %; ФФОМС – 5.1 %;)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследовательской работы	- Техничко-экономическое обоснование НИР. - SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения НИР. Составление сметы затрат НИР.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Оценка научно-технического уровня следования, - Оценка рисков

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT;
2. График проведения и бюджет НИР (график Ганта);
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	6.03.2017
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3В	Кожевников Павел Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б3В	Кожевникову Павлу Владимировичу

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – приборы, оборудование; Рабочая зона представляет собой учебно-научную лабораторию САПР; Работа производится сидя, за документами и основная часть за ПЭВМ;</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) <p>1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</p>	<p>1.1. Вредные факторы при работе за ПЭВМ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; – Повышенная или пониженная подвижность воздуха; – Повышенное тепловое воздействие ЭВМ; – Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; – Повышенный уровень электромагнитных излучений; – Недостаточная освещенность; <p>1.2. Опасные факторы при работе с ПЭВМ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, а также привести к пожарам; – Статические физические перегрузки; – Монотонность труда;
--	---

<p>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;</p>	<p>Во время проведения исследования и по его окончанию не существуют источников загрязнения окружающей среды.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований; 3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований; 3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС;</p>	<p>Возможны чрезвычайные ситуации: пожары, ситуации природного характера и техническая характеристика;</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства; 4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя;</p>	<p>При работе с персональным компьютером, которые соединены с сетью напряжения, возможны электрические замыкания (удары) для персонала и пожары. Согласно нормам, установлены средства пожаротушения.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	7.03.2017
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер	Маланова Н. В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БЗВ	Кожевников П.В.		

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

Институт Неразрушающего контроля
 Направление подготовки (специальность) 12.03.01 Приборостроение
 Уровень образования: бакалавриат
 Кафедра точного приборостроения
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(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)
10.02.2017	Обзор литературы	5
25.03.2017	Процесс проектирования оптического датчика угла для определенного вида конструкции датчика угловой скорости	40
20.04.2017	Вопросы технологии	25
25.04.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
12.05.2017	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ТПС	Голиков Алексей Никандрович			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Точного приборостроения	Бориков Валерий Николаевич	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 с., 29 рис., 25 табл., 47 источников, 6 прил.

Ключевые слова: Датчик угла; Двухкоординатный измеритель углового перемещения; Оптический датчик угла; индукционный датчик угла; шаровой ротор гироскопа; датчик угловой скорости: принцип съема информации; бесконтактный тип съема углового положения; газодинамическая опора гироскопа;

Объектом исследования является обзор и анализ с последующим проектированием оптического датчика углового положения шарового ротора на газодинамическом подвесе.

Цель работы – разработка оптического датчика угловых перемещений оси вращения шарового ротора на газодинамическом подвесе.

В процессе исследования проводились изучение спроектированных ранее оптических двухкоординатных датчиков углового положения, и анализ различных типов конструкций оптического датчика угла для применения в конструкции датчика угловой скорости с шаровым ротором на газодинамическом подвесе.

В результате исследования разработан оптический датчик углового положения оси вращения шарового ротора, с приведением конструкции датчика с учетом последующего крепления на непосредственном датчике угловой скорости, а также описанием принципа работы. Составлена технологическая карта изготовления детали для фиксации датчика с конструкцией датчика угловой скорости.

Возможно, результаты НИР будут интересны предприятиям работающих в области авиакосмических разработок, морских и разработок военной техники.

В будущем планируется провести процесс закупки и изготовления нужных деталей, для сборки первого прототипа разработанной конструкции.

Обозначения и сокращения

ВКР – выпускная квалификационная работа;

НИР – научно исследовательская работа;

ДУ – датчик угла;

ОДУ – оптический датчик угла;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЦАК – цифровой автоколлиматор;

КМОП – комплементарная структура металл-оксид-полупроводник;

ПЗС – прибор с зарядовой связью;

ПК – персональный компьютер;

НТИ – научно техническое исследование;

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;

НТУ – научно-технический уровень;

ПЭВМ – персональная электро-вычислительная машина;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭМП – электромагнитное поле;

ВДТ – видео дисплейный терминал;

Оглавление

Введение.....	16
1 Конструкция макета прибора и требования к ДУ.....	18
2 Обзор и анализ систем съема и обработки информации об угловом отклонении.....	20
2.1 Индукционный ДУ	20
2.1.1 Вводные замечания	20
2.1.2 Двухкоординатный индукционный датчик угла трансформаторного типа	21
2.2 Оптические датчики угла (ДУ)	23
2.2.1 Вводные замечания	23
2.2.2 Оптические датчики угла для шаровых роторов	25
3 Разработка конструкции оптической системы ДУ	33
3.1 Фотоэлектрические матрицы	36
3.2 Оптическая система, реализующая поворот луча вместе с ротором ..	39
3.3 Источник оптического излучения.....	40
3.4 Разработка конструкций элементов оптического датчика угла	43
3.4.1 Конструкция источника ОДУ	43
3.4.2 Конструкция оптической системы	45
3.4.3 Конструкция крепления фотоматрицы на корпусе прибора	46
4 Оценка погрешности оптической системы датчика	47
4.1 Погрешность измерения при точечном источнике света и плоскопараллельном луче оптического излучения.....	47
4.2 Погрешность измерения при рассеянном пучке света оптического излучения.....	52
4.3 Погрешность измерения, вносимая величиной светочувствительности КМОП-матрицы	55
5 Раздел «Вопросы технологии».....	57
5.1 Служебное назначение, техническое описание изделия и его основные технические характеристики	57
5.2 Анализ технологичности детали (крышка – ФЮРА.40811.05 «Приложение Б»), обоснование выбора материала для её изготовления (сплав 20Х13)	58
6 Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	61
6.1 Техничко-экономическое обоснование НИР	62

6.2	Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	63
6.3	Определение трудоемкости выполнения работ	65
6.4	Построение графика работ	68
6.5	Смета затрат на разработку проекта.....	69
6.6	Оценка научно-технического уровня НИР	73
6.7	Оценка возможных рисков	75
	Заключение по разделу.....	78
7	Раздел «Социальная ответственность»	79
7.1	Производственная безопасность	80
7.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.....	80
7.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	83
7.1.3	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	84
7.2	Экологическая безопасность	86
7.2.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ...	86
7.2.2	Анализ «жизненного цикла» объекта исследования	86
7.2.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	87
7.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
7.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	87
7.3.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	88
7.3.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	89
7.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	91
7.4.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ...	91
7.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	93
	Заключение по разделу.....	94
	Заключение	95
	Список публикации студента.....	96
	Список литературы	97
	Приложение А	

Приложение Б

Приложение В

Приложение Г

Приложение Д

Приложение Е

Введение

При работе с гироскопическим прибором, важнейшим информационным параметром является угловое положение оси вращения ротора, относительно корпуса прибора. Особенно актуально получение таких характеристик при исследовании поведения шарового ротора в газодинамическом подвесе, при изменении пространственного положения корпуса прибора относительно вектора силы тяжести.

В этих случаях кроме угловых отклонений оси вращения ротора имеются и дополнительные отклонения ротора относительно чаш, так называемый эксцентриситет (смещение геометрического центра шарового ротора от геометрического центра опоры). Фиксирование такого рода данных позволяет оптимизировать характеристики конструкции элементов опоры, с учетом среды в зазоре между ротором и чашами (опорой).

Существует много различных способов съема угловой информации, подходящих под ту или иную задачу. В первую очередь, для выбора принципа работы датчика, требуется изучить конструкцию прибора, на котором будет установлен датчик угла (ДУ), и установить требования, согласно которым будет разрабатываться датчик угла.

В данной работе производится оценка возможности применения оптических датчиков. Обоснование наиболее подходящего типа фоточувствительного элемента. Приводятся результаты исследования о возможном использовании датчика на имеющейся конструкции макета гироскопического прибора с газодинамическим подвесом шарового ротора.

В работе представлены конструкции трёх основных элементов оптического датчика угла: источник, оптическая система, приёмник. Проведен обзор и анализ различных вариантов исполнения конструкции основных элементов оптического датчика угла. Представлен вариант конструкции по установке этих элементов на элементах конструкции датчика угловой скорости.

Проведен расчет и анализ основных источников погрешностей, и определены их величины для элементов конструкции датчика угла.

В ВКР рассмотрен вопрос технологии изготовления крышки ФЮРА.40811.05 (Приложение Б). С учетом материала, разработана технологическая карта изготовления детали.

В ВКР, разработаны разделы социальной ответственности и финансового менеджмента, где определены вредные и опасные факторы при исследованиях по теме ВКР, а также экономическая целесообразность разрабатываемого типа датчика угла.

1 Конструкция макета прибора и требования к ДУ

Конструкция макета прибора приведена на рисунке 1.1. Гироскоп имеет прямую схему подвеса ротора. Основными элементами макета являются шаровой ротор 1, который помещен в полость двух полусферических чаш 2 [1].

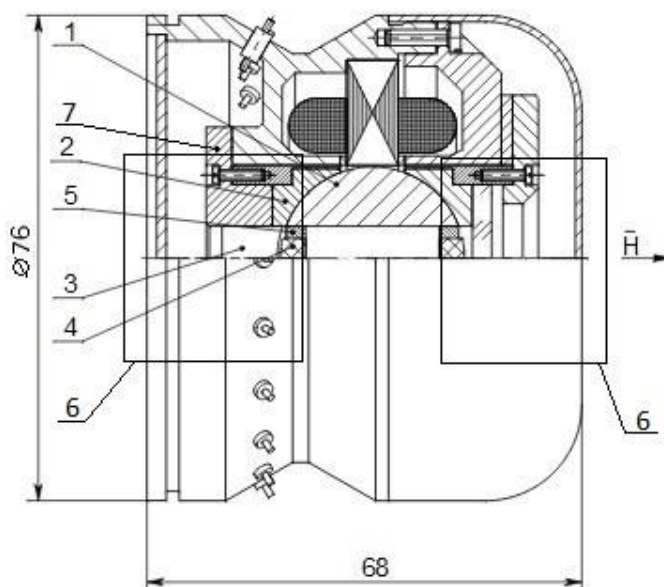


Рисунок 1.1 – Конструкция гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора

Таким образом, изучив конструкцию гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора, можно указать следующие требования для разработки датчика угла:

1. ДУ не должен контактировать с элементами конструкции.
2. Зона нечувствительности (нулевая зона) не более 1° .
3. ДУ должен иметь малые массо-габаритные параметры.
4. ДУ должен измерять отклонение оси вращения по двум координатам.

Шаровой ротор осложняет задачу конструирования ДУ.

Первое требование обусловлено тем, что вид подвеса ротора является бесконтактным. В конструкции используется газодинамический подвес,

следовательно, в ходе работы шаровой ротор не контактирует с элементами конструкции гироскопа.

Второе требование обусловлено тем, что при работе гироскопического прибора ось вращения ротора, будет отклоняться от прежнего положения на малый угол.

Конструкция ДУ должна иметь малые габариты, чтобы вписать в отведенные объемы гироскопического прибора.

Последнее требование, это чтобы датчик измерял в двух плоскостях, в связи с тем, что гироприбор будет перемещаться в пространстве, в двух направлениях, тем самым мы должны измерять положение оси вращения ротора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Для решения поставленной задачи с учетом требований подходят датчики не контактные, такие как:

1. Индукционные.
2. Оптические.

Рассмотрим приведенные типы датчиков в качестве возможной элементной базы для съема информации об угловом положении шарового ротора.

2 Обзор и анализ систем съема и обработки информации об угловом отклонении

2.1 Индукционный ДУ

2.1.1 Вводные замечания

Индукционный датчик угла с перемещающимся ротором представляет собой устройство, выходной электрический сигнал которого пропорционален перераспределению магнитного потока возбуждения, вызванному перемещением ротора. Датчики такого типа иногда называют следящими трансформаторами (рисунок 2.1).

Магнитный поток, создаваемый катушкой возбуждения, индуцирует в каждой выходной катушке ЭДС, пропорциональную магнитной проводимости магнитопровода статора соответственно с одной или другой стороны от его оси симметрии.

2.1.2 Двухкоординатный индукционный датчик угла трансформаторного типа

Применяемый двухкоординатный ДУ выполнен на основе двух индукционных датчиков трансформаторного типа (рисунок 2.1). Первая пара сигнальных обмоток (ОС1, ОС2) измеряют положение оси вращения ротора по первой координате, вторая пара сигнальных обмоток (ОС3, ОС4) измеряют положение оси вращения ротора по второй координате. Общий вид приведен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Общий вид датчика угла

Ротор выполнен с осевым отверстием, в которое устанавливается ферромагнитный материал, «грибок». Магнитопровод статора и грибок выполнены из феррита.

Диапазон измерений по каждому каналу не более 2° [1]. Основные технические характеристики датчика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики датчика

$U_{пит}$, В	$f_{пит}$, кГц	$R_{первич}$, Ом	$R_{вторич}$, Ом	$I_{возб}$, мА	$U_{ост}$, В
2.4 ± 0.2	24 ± 1	12.5	$23^{+2.3}_{-4.6}$	3.5	5

- Нулевой сигнал 1-ого и 2-ого каналов, соответственно – 2 мВ; 5 мВ;

- Крутизна выходного сигнала 1-ого и 2-ого каналов – $2.3 \frac{\text{мВ}}{\text{угл.мин.}}$;

$$1.5 \frac{\text{мВ}}{\text{угл.мин.}};$$

- Диапазон измеряемых углов – $\pm 1.6^\circ$;

К недостаткам ДУ необходимо отнести:

1. Увеличенная зона нулевого сигнала, от 1 до 2.5 угловых секунд.
2. Наличие момента магнитного натяжения ротора.

К достоинствам такого ДУ можно отнести:

1. Простота конструкции и изготовления.
2. Малые габариты.
3. Хорошая чувствительность.

2.2 Оптические датчики угла (ДУ)

2.2.1 Вводные замечания

Оптические датчики — небольшие по размерам электронные устройства, способные под воздействием электромагнитного излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах подавать единичный или совокупность сигналов на вход регистрирующей или управляющей системы.

Оптические датчики являются разновидностью бесконтактных датчиков, так как механический контакт между чувствительной областью датчика (сенсором) и воздействующим объектом отсутствует. Данное свойство оптических датчиков обуславливает их широкое применение в автоматизированных системах управления. Дальность действия оптических датчиков намного больше, чем у других типов бесконтактных датчиков.

Оптический датчик угла (ОДУ), включает в себя два основных элемента: источник и приемник электромагнитного излучения.

По типу устройства оптические датчики делятся на моноблочные и двухблочные. В моноблочных излучатель и приёмник находятся в одном корпусе. У двухблочных датчиков источник излучения и приёмник оптического сигнала расположены в отдельных корпусах.

По принципу работы выделяют три группы оптических датчиков:

- тип Т — датчики барьерного типа (приём луча от отдельно стоящего излучателя)
- тип R — датчики рефлекторного типа (приём луча, отражённого катафотом)
- тип D — датчики диффузионного типа (приём луча, рассеянно отражённого объектом)

У датчиков барьерного типа излучатель и приёмник находятся в отдельных корпусах, которые устанавливаются друг напротив друга на одной

оси. Предмет, попавший в активную зону оптического датчика, прерывает прохождение луча. Изменение фиксируется приёмником, появившийся сигнал после обработки подаётся на управляемое устройство.

Датчики рефлекторного типа содержат в одном корпусе и передатчик оптического сигнала, и его приёмник. Для отражения луча используется рефлектор (катафот). Для обнаружения объектов с зеркальной, отражающей металлической поверхностью в датчиках рефлекторного типа используют поляризационный фильтр.

В датчиках диффузионного отражения источник оптического сигнала и его приёмник находятся в одном корпусе. Приёмник учитывает интенсивность луча, отражённого контролируемым объектом. Для точности срабатывания в датчиках данного типа может включаться функция подавления фона.

Оптические датчики имеют индикатор рабочего состояния и, как правило, регулятор чувствительности, который даёт возможность настроить срабатывание на объект, находящийся на неблагоприятном фоне.

Основными недостатками фотоэлектрических датчиков угла (с точки зрения применения их в гироскопических приборах) являются нестабильность во времени выходных характеристик датчиков (крутизны и нулевого сигнала) и сильная зависимость этих параметров от температуры [9].

Для устранения недостатков, присущих осветительным лампам накаливания, применяемым в фотоэлектрических датчиках, делаются попытки применять в качестве осветителей неоновые лампы и инфракрасные источники излучения [9]. В настоящее время эта погрешность полностью устранена, поскольку лампы накаливания больше не применяются в оптических устройствах.

2.2.2 Оптические датчики угла для шаровых роторов

2.2.2.1 Двухкоординатный датчик съема информации об угловом положении ротора с нанесением волнистого рисунка на поверхность ротора

На рисунке 2.3 изображен вариант схемы регистрации углового положения ротора, при использовании магнитного подвеса ротора.

С помощью оптической системы на этот рисунок направляется луч света. Отраженный сигнал, воспринимаемый фотодетектором, оказывается промодулированным рисунком. Это дает возможность определять направление оси вращения ротора [10].

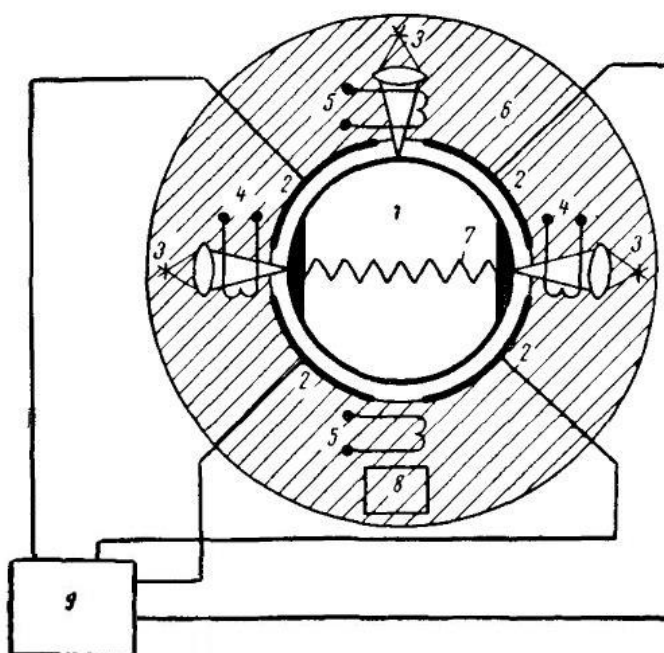


Рисунок 2.3 – Схематическое изображение гироскопа с полностью сферическим ротором

1 – ротор; 2 – электроды подвеса; 3 – оптический съём; 4 – катушки разгона; 5 – демпфирующие катушки; 6 – корпус гироскопа; 7 – рисунок на роторе; 8 – система поддержания вакуума; 9 – система питания электродов подвеса;

Независимо от ориентации ротора относительно корпуса два из трех оптических датчиков всегда будут направлены на рисунок вращающегося ротора. Временной интервал между моментами прохождения двух линий рисунка под оптическим датчиком зависит от положения ротора относительно корпуса. Используя результаты измерения этого временного интервала любыми двумя (из трех) датчиками и подавая эти данные в счетно-решающее устройство, можно определить положение оси вращения ротора по отношению к корпусу прибора [10]. Рассмотренный вариант имеет существенный недостаток: для получения высоких точностей требуется идеальная сферичность ротора. Более подробное описание данного типа съема информации показано в [10].

2.2.2.2 Фотоэлектрическое устройство для съема информации с шарового ротора на бесконтактном подвесе гироскопа с рисунком опорной и функциональной линий на роторе гироскопа

Принципы работы всех фотодатчиков и электронных каналов идентичны, поэтому рассмотрим работу (Φ_μ , рисунок 2.4) в случае, когда поверхность ротора зачернена, а линии обладают отражательной способностью [11].

При вращении ротора синхронизирующий светодиод 11 (рисунок 2.5) излучает непрерывно, и его световой поток с помощью линзы концентрируется на поверхности ротора в виде светового пятна. В моменты прохождения линий отраженный световой поток с помощью полупрозрачного зеркала направляется на синхронизирующий фотоприемник 13 (рисунок 2.5), на выходе которого возникают сигнальные импульсы от линий. Эти импульсы запускают одновибратор 17 (рисунок 2.5), сигналы с которого поступают на усилитель мощности 18 (рисунок 2.5). На выходе этого усилителя появляется импульс, под воздействием которого светодиод 10 (рисунок 2.5) излучает большой световой поток на время прохождения только логической, опорной и

функциональной линией, через поле зрения измерительного авторефлектора [11].

Фотоэлектрическое устройство состоит из сферического ротора 1 (рисунок 2.4) с рисунком в виде двух синхронизирующих линий 2, 3, логической 4, опорной 5 и функциональной 6 линий (рисунок 2.4), идентичных фотодатчиков 7, расположенных в корпусе подвеса по осям прямоугольной системы координат (X,Y,Z), трех идентичных электронных каналов I, II и III фотодатчиков 7 и вычислитель 8 пространственного положения ротора (рисунок 2.4) [11].

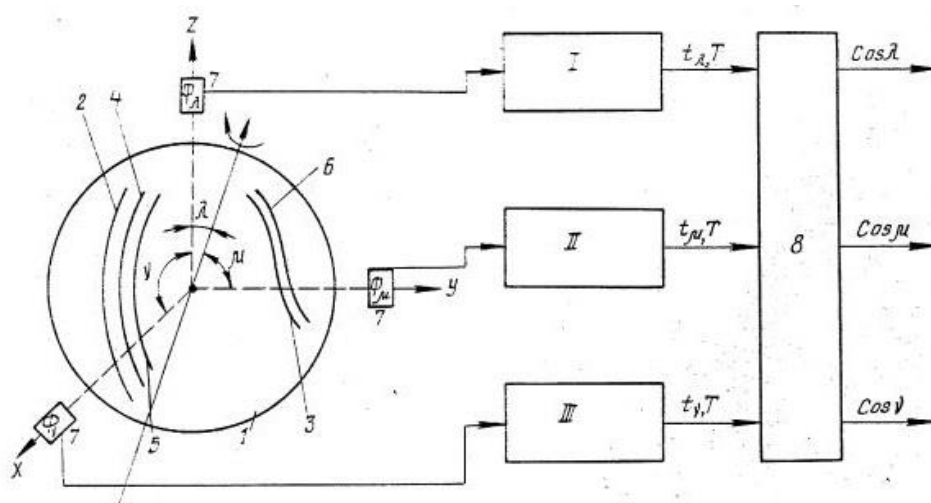


Рисунок 2.4 – Блок-схема фотоэлектрического устройства

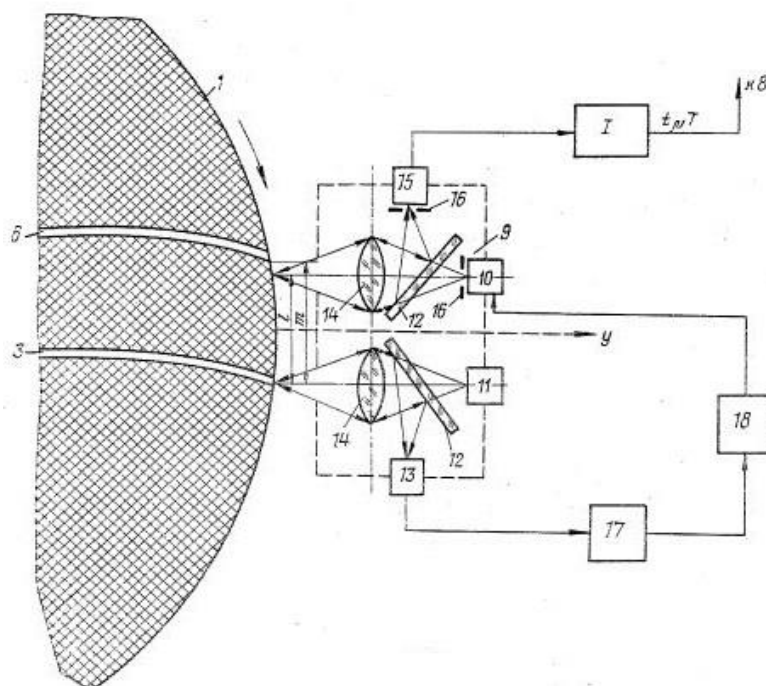


Рисунок 2.5 – Фотодатчик

Фотодатчик содержит в одном корпусе 9 (рисунок 2.5) два авторефлектора, состоящих из измерительного светодиода 10, оптическая ось которого совпадает с осью ОУ прямоугольной системы координат и синхронизирующего светодиода 11, наклонных полупрозрачных зеркал 12, синхронизирующего фотоприемника 13, линз 14, измерительного фотоприемника 15 и диафрагмы 16 [11].

2.2.2.3 Датчик съема информации об угловом перемещении со светоразделительной зеркальной пирамидой

Рассмотрим принцип работы на примере одномерной (однокоординатной) оптико-электронной следящей системы со светоразделительной зеркальной пирамидой.

Рассмотрим метод определения позиционной характеристики. На рисунке 2.6 (а) представлена однокоординатная следящая система этого типа. Суммарный выходной поток (Φ_{AB}) складывается из двух последовательностей

импульсов светового потока Φ_A и Φ_B , образующихся в каждом из плеч системы при очередном их перекрытии обтюратором 1 (рисунок 2.6, б). Точному наведению на излучатель соответствует случай, когда амплитуда первой гармоники сигнала на выходе приемника излучателя 2 равна нулю. Такого рода системы обладают принципиальной особенностью, заключающейся в нелинейности позиционной характеристики – зависимости амплитуды первой гармоники выходного сигнала от величины углового рассогласования на входе. Причина нелинейности позиционной характеристики заключается в нелинейности характеристик составляющих ее звеньев [12].

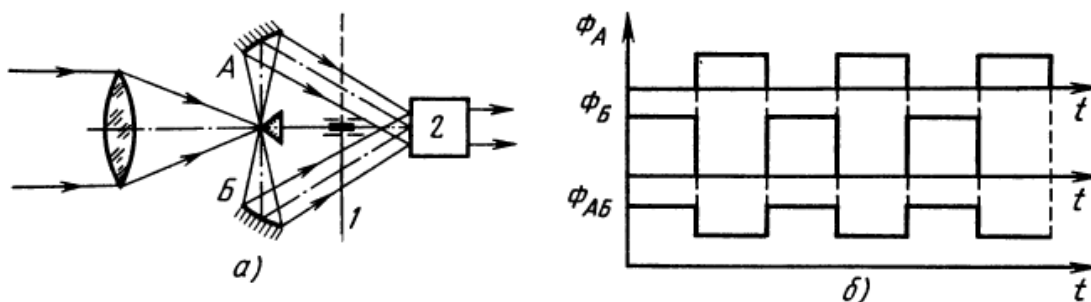


Рисунок 2.6 – Однокоординатная следящая система с зеркальной пирамидой

а – схема; б – сигналы, получаемые на выходе фотоэлемента;
1 – дисковый коммутатор; 2 – фотоэлемент;

2.2.2.4 Фотоэлектрический датчик линейных и угловых перемещений сферического ротора с растровым рисунком

Данное устройство применяется для измерения угловых смещений сферического ротора электростатического гироскопа, содержащие фотоэлектрический датчик с источником излучения, фотоприемником, предварительным фотоусилителем и селективным контуром, имеют на сферическом роторе растровый рисунок (рисунок 2.7) [13].

Фотоэлектрический датчик работает следующим образом: При вращении сферического ротора нанесенный на нем растровый рисунок

обеспечивает модуляцию отраженного светового потока при наличии углового смещения ротора. Амплитуда переменной составляющей сигнала пропорциональна угловому отклонению ротора. Одновременно величина постоянной составляющей сигнала зависит от линейного смещения ротора. Отраженный поток воспринимается фотоприемником и фотоусилителем. Для выделения переменной составляющей используется селективный контур, настроенный на частоту вращения ротора. Постоянная составляющая выделяется интегрирующим контуром. Разность напряжений на выходе селективного и интегрирующего контуров, пропорциональная угловому смещению, выделяется на сумматоре 7 (рисунок 2.7), а их сумма, пропорциональная линейному смещению, – на сумматоре 8 (рисунок 2.7) [13].

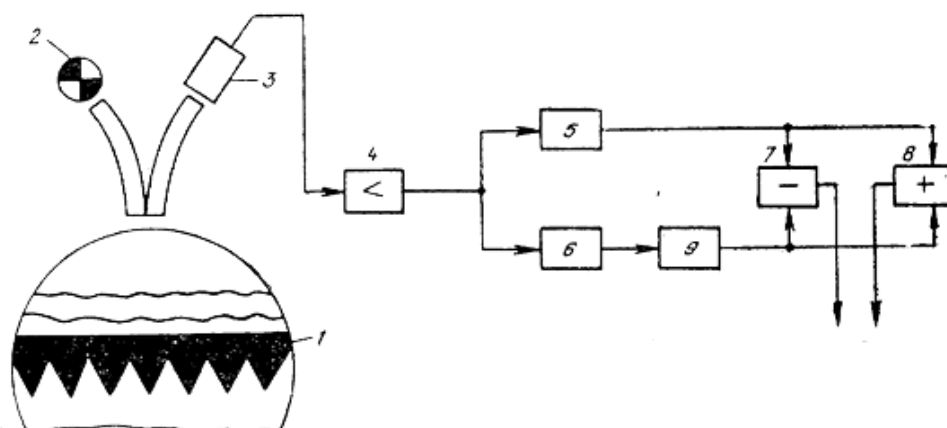


Рисунок 2.7 – Схема фотоэлектрического датчика линейных и угловых перемещений сферического ротора гироскопа

На рисунке 2.7 изображено: сферический ротор 1, который имеет растровый рисунок, участок которого освещается посредством источника излучения 2. Световая энергия от ротора 1, воспринимается фотоприемником 3, связанным со входом предварительного фотоусилителя 4. Фотоэлектрический датчик содержит также селективный контур 5 и интегрирующий контур 6, выходы которых подключены к сумматорам 7 и 8, и преобразователь 9 [13].

2.2.2.5 Цифровой двухкоординатный автоколлиматор с разрешением 0.001 угловой секунды

Цифровой фотоэлектрический двухкоординатный автоколлиматор использует в качестве фотоприемного и измерительного элемента – телевизионную камеру на основе ПЗС-матрицы. Работа с автоколлиматором производится с помощью специального программного комплекса, который обеспечивает полную автоматизацию процесса измерений [14]. Оптическая схема прибора приведена на рисунке 2.8.

Далее приведены некоторые технические характеристики цифрового автоколлиматора, полный список в [14]:

- Дискретность выходных данных – от 0.1" до 0.001".
- Диапазон измерений угла $\pm 10'$ по горизонтальной оси и $\pm 7'$ по вертикальной оси.
- Полная погрешность измерений в нормальных условиях в диапазоне измерений угла $\pm 5'$ по горизонтальной оси и $\pm 5'$ по вертикальной оси - не более $\pm 0.1''$.
- Время подготовки ЦАК к работе - не более 2 часов.
- Расстояние от основания до оси объектива 100мм.

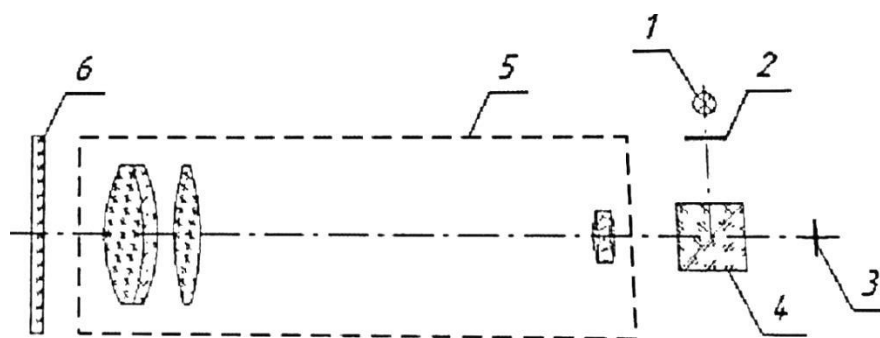


Рисунок 2.8 – Оптическая схема автоколлиматора
1 – светодиод; 2 – автоколлимационная марка; 3 – ПЗС-матрица; 4 – призма-куб; 5 – объектив; 6 – зеркало;

Автоколлимационная марка (перекрестье) 2, освещенное светодиодом 1, расположено в фокальной плоскости объектива 5. Лучи света, выходящие

из объектива 5 параллельным пучком, отражаются от зеркала 6, и, в обратном ходе через объектив 5 и светоделитель 4, формируют автоколлимационное изображение перекрестья на фотоприемнике (матрице ПЗС-камеры) 3. При повороте зеркала на угол α , отраженные от него лучи поворачиваются на двойной угол 2α и изображение перекрестья в плоскости матрицы изменяет свое положение [14].

Работа с автоколлиматором осуществляется с помощью персонального компьютера (ПК) и программы «Автоколлиматор». К USB-портам компьютера необходимо подключить шнуры светодиода и камеры. Никакого дополнительного питания не требуется. Более подробно описано в [14].

3 Разработка конструкции оптической системы ДУ

Вышеизложенные примеры, показывают их применение с учетом конструкторских особенностей. А поскольку задача основана относительно новой конструкции (рисунок 1.1), следовательно, данные примеры не могут подойти под эту конструкцию, это связано с тем, что конструктив позволяет разместить ДУ только в полюсной части, для измерения углов поворота, по двум каналам.

3.1 Фотоэлектрические матрицы

Широко распространенные матрицы, это КМОП матрицы, поскольку:

1. Стоимость ниже, чем у ПЗС-матриц.
2. Энергопотребление меньше, чем у ПЗС-матриц.
3. Чувствительные элементы КМОП-матрицы не имеют зазора между собой.
4. Размер ячейки на порядок ниже.

Таблица 2 – Сравнение свойств и параметров ПЗС и КМОП матриц [16]

Свойство	ПЗС	КМОП
Выходной сигнал пикселя	Пакет электронов	Напряжение
Выходной сигнал устройства	Напряжение (аналоговый)	Биты (цифровой)
Коэффициент заполнения	Высокий	Умеренный
Несогласованность усилителей	Неприменимо	Умеренная
Системный шум	Низкий	От умеренного до высокого
Сложность системы	Высокая	Низкая
Сложность датчика	Низкая	Высокая
Компоненты камеры	Печатная плата + несколько микросхем + объектив	Микросхема + объектив
Относительная стоимость разработки	Зависит от приложения	Зависит от приложения
Относительная стоимость системы	Зависит от приложения	Зависит от приложения
Параметр	ПЗС	КМОП
Чувствительность	Умеренная	Немного лучше
Динамический диапазон	Высокий	Умеренный
Однородность	Высокая	От низкой до умеренной
Скорость	От умеренной до высокой	Наибольшая
Получение неполного изображения (Windowing)	Ограниченное	Неограниченное
Антиблоринг	От хорошего до отсутствующего	Хороший
Питание и управление	Сложное, высокие напряжения	Простое, низкое напряжение

3.2 Оптическая система, реализующая поворот луча вместе с ротором

Для обеспечения поворота луча вместе с осью вращения ротора гироскопа требуется использовать оптическую систему, способную реализовать это.

Из курса общей физики, и различные источники по геометрической оптике, и практическом их применении, в том числе из теории оптических приборов В.Н. Чериловского [18], был предложен следующий вид конструкции оптической системы, изображенной на рисунке 3.6, которая способна обеспечить решение поставленной задачи.

Данная оптическая система позволяет обеспечить поворот луча, с поворотом ротора гироскопа, при любых диаметрах луча света.

Разработанная конструкция для фиксации линз приведена в приложении В.

3.3 Разработка конструкций элементов оптического датчика угла

На основе выбранных элементов для оптического датчика угла, разработаем конструкцию для закрепления элементов ОДУ в конструкцию макета измерителя угловой скорости (рисунок 1.1).

3.3.1 Конструкция источника ОДУ

Конструкция приведена в Приложении А – ФЮРА.203129.01 СБ. Также конструкция изображена на рисунке 3.10.

4 Оценка погрешности оптической системы датчика

4.1 Погрешность измерения при точечном источнике света и плоскопараллельном луче оптического излучения

Учитывая размер пикселя, можно определить погрешность измерения отклонения ротора гироскопа. Представим, что источник света представляет собой идеализированную модель, способную сфокусировать луч в точку, размер которой чуть больше размера пикселя.

Установим КМОП-матрицу на минимальное расстояние от центра ротора, с запасом:

Поскольку КМОП-матрица представляет собой плоскость, а отклонение ротора идет по сферической поверхности. Световое пятно из формы круга (в исходном положении) будет изменяться в эллипс по направлению углового положения. Поэтому на погрешность выходного сигнала, помимо размера пикселя, будет влиять эллиптическая форма луча света, при отклонении ротора на некоторый угол.

6 Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-исследовательской работы (НИР), планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта (произвести технико-экономическое обоснование проекта);
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков;

6.1 Технико-экономическое обоснование НИР

На данный момент системы ориентации стали использоваться в авиации, ракетной и космической технике, а также в морском флоте находят широкое применение сложные комплексные системы автоматического управления движением. В настоящее время на эти системы возлагаются огромные требования на выходную точность измерения параметров, энергоэффективности, а также по показателям массогабаритных величин.

Разрабатываемая конструкция является крайне актуальным для множества отраслей техники и производства.

Коммерческого потенциала у данного исследования нет, поскольку оно выполняется в рамках ВКР и в большей степени олицетворяет теоретическую значимость полученных результатов.

Результаты НТИ актуальны для предприятий, заинтересованных в интеграции приборов ориентации повышенной точности измеряемого параметра. Использование этого прибора охватывает большой спектр отраслей, таких как: аэрокосмическая, судостроительная, добывающая, военной техники и др.

Произведем также в данном разделе SWOT-анализ НТИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок [27]. В таблице 9 описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НТИ, которые могут появиться в его внешней среде.

Таблица 9 – SWOT-анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Принцип работы, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С2. Метод, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С3. Возможность применения данного датчика для более точного измерения; С4. Актуальность проблемы; С5. Наличие опытного руководителя; С6. Простота конструкции;	В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки; В2. Большой потенциал применения нового прибора в России и других странах;
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Высокие требования по точности изготовления деталей; Сл2. Сложность настройки прибора;	У1. Высокая конкуренция; У2. Низкие точностные характеристики относительно других изобретений различных предприятий; У3. Отсутствие спроса;

Итак, самой большой угрозой для проекта является получение низких точностных характеристик относительно заявленных, но конструкция предполагает доработку, поскольку есть несколько различных вариантов по увеличению точности измерения.

Что касается слабых сторон, то для данного метода, во избежание их влияния, требуется привлечение опытных кадров, обеспечить обучение нового персонала со знаниями оптоэлектроники, программированию и физики.

Таким образом, несмотря на то, что коммерческого потенциала у данного исследования нет и оно в большей степени олицетворяет теоретическую значимость полученных результатов, результаты НИИ актуальны для предприятий, заинтересованных в использовании новых приборов ориентации.

6.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию

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

финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР необходимо ее разбить на этапы. Под этапом понимается крупная часть работы, которая имеет самостоятельное значение и является объемом планирования и финансирования. НИР имеет:

а. Подготовительный этап. Сбор, изучение и анализ, имеющийся информации. Определение состава исполнителей и соисполнителей, согласование с ними частных задач. Разработка и утверждение задания.

б. Разработка обзорной части.

с. Проведение анализа обзорной части.

д. Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки.

е. Завершающий этап. Рассмотрение результатов исследования.

Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

Данную НИР можно разделить на следующие этапы:

1) Разработка задания на НИР;

2) Выбор направления исследования;

3) Теоретические и экспериментальные исследования;

4) Обобщение и оценка результатов;

5) Оформление отчета НИР.

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследований в НИР	2	Подбор и изучение литературных данных по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Научный руководитель, студент
	6	Выбор вида макета (модели)	Научный руководитель, студент
	7	Конструирование макета	Научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	Научный руководитель, студент
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

6.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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 [28]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}; \quad (18)$$

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 неблагоприятного 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% [28].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}; \quad (19)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.;

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [28]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кален}; \quad (20)$$

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

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

$k_{кален}$ – коэффициент календарности;

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [28]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 118} = 1.48; \quad (21)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
		t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
1	Составление и утверждение технического задания	2	2	2	Научный руководитель, студент	1	2
2	Подбор и изучение материалов по теме	12	13	12	Студент	12	24
3	Выбор направления исследований	1	2	1	Научный руководитель	1	2
4	Календарное планирование работ по теме	4	5	4	Научный руководитель	4	8
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	25	30	27	Научный руководитель, студент	14	20
6	Выбор вида макета (модели)	7	8	5	Научный руководитель, студент	2	4
7	Конструирование макета	11	13	11	Научный руководитель, студент	5	10
8	Анализ полученных результатов, выводы	7	8	5	Научный руководитель, студент	2	4
9	Оценка эффективности полученных результатов	10	11	10	Научный руководитель, студент	5	10
10	Составление пояснительной записки	8	10	10	Студент	10	20
Итого							104

6.4 Построение графика работ

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [29].

На основе таблицы 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 12 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент	2					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	24					
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент	2					
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент	8					
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Научный руководитель, студент	20					
6	Выбор вида макета (модели)	Научный руководитель, студент	4					
7	Конструирование макета	Научный руководитель, студент	10					

- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы научно-исследовательской работы (НИР).

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} ; \quad (22)$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции [29].

В данной работе моделирование проводится на компьютере поэтому материальных затрат нет. Для проведения научно-исследовательской работы требуется компьютер. Срок полезного использования: компьютер – по третьей группе (техника электронно- вычислительная): 15 лет [30]. Рассчитываем материальные затраты используется один компьютер стоимостью 167000 рублей.

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году [31].

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле:

$$I_{\text{ам.обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп.обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times H_a ; \quad (23)$$

где: $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации;

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с. обор.}}}, \quad (24)$$

где: $T_{\text{с.с. обор.}}$ – срок службы оборудования;

$$I_{\text{ам.комп}} = \left(\frac{T_{\text{исп.комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot H_a = \left(\frac{104}{365} \right) \cdot 167000 \cdot \frac{1}{15} = 3172.24; \quad (25)$$

Так как для исследования нужен только компьютер, то $I_{\text{ам.комп}} = I_{\text{ам.обор}}$.
Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат [31].

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{\text{зп}}$):

$$\Phi_{\text{зп}} = 28000 \text{руб.},$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30 %.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{\text{соц.отч.}}$):

$$I_{\text{соц.отч.}} = \text{ЕСН} = 0.3 * \Phi_{\text{зп}} = 0.3 * 28000 = 8400 \text{руб.}; \quad (26)$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;

- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы. Тогда:

$$I_{\text{накл.расх.}} = 2 \cdot \Phi_{\text{зп}} = 2 \cdot 28000 = 56000 \text{ руб.}; \quad (27)$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочее}} = 0.02 \cdot (I_{\text{ам.обор}} + \Phi_{\text{зп}} + ECH) = 0.02 \cdot (3172.24 + 28000 + 8400) = 791.4; \quad (28)$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{\text{проекта}}$):

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{ам.обор}} + \Phi_{\text{зп}} + I_{\text{прочее}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{соц.отч}} = 3172.24 + 28000 + 791.4 + 56000 + 8400 = 96364 \text{ руб} \quad (29)$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$PP = 0.3 \cdot K_{\text{проекта}} = 0.3 \cdot 96364 = 28909.2 \text{ руб} \quad (30)$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц):

$$Ц = K_{\text{проекта}} + PP = 96364 + 28909.2 = 125273.2 \text{ руб} \quad (31)$$

Таблица 13 – Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Амортизация оборудования	$I_{\text{ам,обор}}$	3172.24
Затраты на оплату труда	ЗП	28000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отч}}$	8400
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	56000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	791.4
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	96364
Плановые накопления (прибыль)	ПР	28909.2
Стоимость проекта (цена)	Ц	125273.2

Исходя из расчетов и полученных результатов, приведенных в таблице 13, можно сделать вывод, что данная научно исследовательская работа должна иметь бюджет не менее 125273.2 рублей.

6.6 Оценка научно-технического уровня НИР

Важнейшим результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [31]:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i; \quad (32)$$

где: H_T — показатель, определенный по трем признакам;

R_i — весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i — количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблица 15, 16).

Таблица 14 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0.5
2. Теоретический уровень	0.3
3. Возможность реализации	0.2

Таблица 15 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 16 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0.5

Таблица 17 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	8 – 10
От 5 до 10 лет	5 – 7
Свыше 10 лет	0 – 4

Результаты оценок признаков отображены в таблице 18.

Таблица 18 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	K _i	Π _i
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0.5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0.3	8
3. Возможность реализации по времени	Время реализации в течение первых лет	0.2	8

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_T = 0.5 * 6 + 0.3 * 8 + 0.2 * 8 = 7; \quad (33)$$

Таблица 19 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне исследования, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

6.7 Оценка возможных рисков

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков даст возможность избежать опасные факторы, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь проекта.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего

наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 20 – 23.

Таблица 20 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация персонала	0	2	0.061	0
2	Непросвещенность предприятий о данном приборе	50	4	0.168	8.928
3	Несоблюдение техники безопасности	25	6	0.23	6.25
4	Увеличение нагрузки на персонал	50	4	0.168	8.928
	Сумма		16	0.627	24.1

Таблица 21 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	2	0.029	1.960
2	Экономический кризис	25	3	0.049	0.980
3	Непредвиденные расходы в плане работ	25	5	0.126	5.862
4	Сложность выхода на мировой рынок	75	6	0.136	10.29
	Сумма		16	0.34	19.92

Таблица 22 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	6	0.24	5.25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	8	0.313	7.0357
	Сумма		14	0.553	12.2857

Таблица 23 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных методов	50	5	0.135	8.936
2	Отсутствие результата в установленные сроки	25	6	0.123	6.25
3	Несвоевременное патентование	25	8	0.176	3.657
	Сумма		19	0.434	18.843

Таблица 24 – Общие риски

№	Риски	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Социальные	16	0.627	10.03

2	Экономические	16	0.34	5.44
3	Технологические	14	0.553	7.742
4	Научно-технические	19	0.434	8.246
Итого				31.458

Расчет рисков дает общую оценку в 31.458. Это говорит о том, что выделенные риски имеют место быть, но остановка проекта не целесообразна, поскольку величина вероятности не столь велика, чтобы в итоге не довести проект до конца.

Заключение по разделу

В ходе разработки данной главы выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

1. Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 10 позиций. С помощью данных показателей был разработан календарный - план график проведения НИР по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта. Общая продолжительность дней на проведение исследования – 104 дня.

2. Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 125 273.2 руб.

3. Была проведена оценка возможных рисков. Общая вероятность возникновения выделенных рисков составила 31.458, это говорит о том, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий.

Таким образом, можно сделать вывод, что разрабатываемое нами исследование превосходит как в ресурсоэффективности, так и в экономической активности результата. Вследствие этого фактора конкурентоспособность предлагаемого результата исследования увеличивается. Отсутствие финансирования и незаинтересованность потенциальных потребителей в научной разработке является проблемой для дальнейшего ее развития.

Данное научное исследование не имеет коммерческого потенциала, но значителен инновационный потенциал, заключающийся в том, что данное исследование проводится впервые и разрабатываемый прибор измерения угла отклонения шарового ротора гироскопа на газодинамическом подвесе не имеет аналогов для данного вида конструкции прибора. Возможно, результаты НИР будут интересны предприятиям работающих в области авиакосмических разработок, морских и разработок военной техники.

Список публикации студента

По тематике ВКР студентом написаны следующие публикации:

1. Теоретическое исследование основных элементов шарового гироскопа / Кожевников П.В., Васильченко Р.А. // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – Режим доступа: www.scienceforum.ru/2016/1552/25044 (дата обращения: 09.06.2017)

2. Исследование индукционного датчика перемещения / Кожевников П.В., Васильченко Р.А. // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2017/2358/32680> (дата обращения: 09.06.2017)

3. Кожевников П. В. Датчики углового положения шарового ротора гироскопа / П. В. Кожевников, А. А. Игнатовская; науч. рук. А. А. Игнатовская // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 56-59].