

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

---

Институт Неразрушающего контроля  
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
Кафедра Точного приборостроения

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Однокомпонентный микромеханический гироскоп с расширенной полосой пропускания</b>

УДК 681.2:531.383.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ТПС	Барбин Евгений Сергеевич			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН ИСГТ	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ ИНК	Мезенцева Ирина Леонидовна			

По разделу «Вопросы Технологии»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПС	Гормаков Анатолий Николаевич	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Точного Приборостроения	Бориков Валерий Николаевич	Д.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
<i><b>Универсальные компетенции</b></i>	

P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

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

Институт Неразрушающего контроля  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Кафедра Точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (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
1Б2В	Шагдырову Батору Ильичу

Тема работы:

Однокомпонентный микромеханический гироскоп с расширенной полосой пропускания
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2016, 644/с
---	-------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– размер сенсора не более (4x4) мм;</li> <li>– диапазон измерения угловой скорости - 300°/с;</li> <li>– режим работы – непрерывный;</li> <li>– диапазон рабочих частот - не менее 5000 Гц;</li> <li>– рабочая температура от -40° до +80° С.</li> <li>– область применения – автомобильная; промышленность.</li> </ul>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ отечественной и зарубежной литературы по теме работы;</li> <li>– выбор расчетной схемы микромеханического гироскопа;</li> <li>– разработка функциональной схемы гироскопа;</li> <li>– составление математической модели гироскопа;</li> <li>– расчет собственных частот;</li> <li>– расчет емкостей гребенчатых структур;</li> </ul>

	– вопросы технологии; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность.
<b>Перечень графического материала</b>	Чертеж общего вида микромеханического гироскопа, схема кинематическая функциональная
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Вопросы технологии	Гормаков Анатолий Николаевич
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
– Нет	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ТПС	Барбин Евгений Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Вопросы технологии»:

1. Конструкторская документация
2. Справочники, научно-техническая литература

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

1. Анализ материала	Материалы используемые для изготовления МЭМС-устройств
2. Технологический процесс травления	Способы контроля размеров, Bosch-процесс, жидкостное травление стекла.
3. Технологический маршрут изготовления МЭМС датчика	Маршрут изготовления микромеханического акселерометра .
4. Оборудование используемое при изготовлении МЭМС датчика	Оборудование используемое для отдельных технологических операций

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

*Чертеж общего вида микромеханического гироскопа.*

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б2В	Шагдырову Батору Ильичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПС</b>
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	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение потенциальных потребителей, результатов исследования; анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения и SWOT-анализ, проведена оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определены цели и результат проекта, организационная структура проекта и ограничения и допущения
3. Планирование процесса управления НТИ	Определена иерархическая структура работ проекта, контрольные события и план проекта, диаграмма занятости и диаграмма Ганта, бюджет, матрица ответственности, план управления коммуникациями и реестр рисков проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведена оценка социальной и сравнительной эффективности исследования.

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

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка социальной и сравнительной эффективности НТИ
6. Потенциальные риски
7. Диаграмма Ганта и занятости

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б2В	Шагдырову Батору Ильичу

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

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования и области его применения</p>	<p>Микромеханический гироскоп (ММГ) предназначен для измерения угловой скорости и представляет собой интегрированное устройство с размерами в несколько миллиметров, состоящее из механического чувствительного элемента (ЧЭ) и электронных систем управления. Достоинством такого датчика являются малые размеры, малые массы, их низкая себестоимость при массовом производстве и др. МЭМС-датчики нашли применение в таких областях как управление движением объектов (автомобили, авиация, ракеты), в системах навигации, в машиностроении и измерительной технике, в геологоразведочной аппаратуре, робототехнике.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Профессиональная социальная безопасность</b>  1.1. Анализ выявленных вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.  1.2. Анализ выявленных вредных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.  1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	<p><b>Вредные факторы</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>• недостаточная освещенность рабочего места;</li> <li>• отклонения показателей микроклимата от нормы.</li> </ul> <p><b>Опасные факторы</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• электрический ток (источник – ПЭВМ).</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b>  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>Возможное воздействие на литосферу.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>  3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.  3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований.  3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>	<p>На объекте возможны следующие ЧС:  - техногенного характера – пожар;  - стихийного характера – землетрясение.  Наиболее типичная ЧС – пожар.</p>

<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <p>4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.</p>	<p>Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПЭВМ регулируется в СанПин 2.2.2/2.4.1340 – 03.</p>
--	---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2В	Шагдыров Батор Ильич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 31 рис., 16 табл., 20 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: микромеханический гироскоп, полоса пропускания, инерционная масса, упругий подвес (торсион), инерционная масса, гребенчатые структуры, МЭМС.

Объектом исследования является однокомпонентный микромеханический гироскоп.

Цель работы – разработка однокомпонентного микромеханического гироскопа, с расширенной полосой пропускания.

В процессе исследования проводилась разработка функциональной схемы и составление математической модели акселерометра, проводился частотный и статический анализ конструкции, расчет основных параметров, рассмотрены вопросы технологии, социальной ответственности и финансового менеджмента.

В результате исследования разработана конструкция однокомпонентного микромеханического гироскопа, с расширенной полосой пропускания.

Степень внедрения: были проведены теоретические исследования и разработана конструкция микромеханического датчика с увеличением полосы пропускания.

Область применения: автомобильная промышленность.

Значимость работы состоит в том, что данное конструкторское решение, позволит микромеханическому гироскопу более устойчиво работать, на большем диапазоне частот.

В будущем планируется изготовить экспериментальный макет разработки и проверить на практике характеристики полученные теоретическим путем.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ**

В данной работе применены следующие сокращения:

МЭМС – микроэлектромеханические системы

ММГ – микромеханический гироскоп

ИТ – инерционное тело

ЧЭ – чувствительный элемент

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

РД – режим движения

РЧ – режим чувствительности

ПП – полоса пропускания

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	С.
Введение.....	16
1 Обзор существующих схем гироскопа. ....	18
1.1 Основная информация о гироскопах. ....	18
1.2 Микромеханические гироскопы, принцип работы .....	19
2.1 Классификация микромеханических гироскопов. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Микромеханические гироскопы LL – типа.....	21
2.3 Полоса пропускания, способы увеличения.....	22
3 Математическая модель .....	25
3.1 Функциональная схема .....	25
3.2 Составление математической модели .....	27
4 Разработка конструкции и математическое моделирование.....	32
4.1 Проведение частотного анализа конструкции.....	32
4.2 Определение коэффициентов жесткости упругих подвесов.....	37
4.3 Расчет суммарной ёмкости гребенчатых структур .....	39
5 Вопросы технологии.....	42
5.1 Анализ материала .....	42
5.2 Технологический процесс травления .....	43
5.3 Технологический процесс изготовления МЭМС-датчика .....	46
5.4 Технологический процесс сборки.....	47
5.5 Оборудование используемое при изготовлении МЭМС-датчика .....	49
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	57
6.1 Предпроектный анализ.....	57
6.2 Инициация проекта.....	60

6.3	Планирование управления научно-техническим проектом .....	61
6.4	Определение ресурсной, финансовой бюджетной эффективности исследования.....	66
7	Социальная ответственность .....	69
7.1	Профессиональная социальная безопасность.....	69
7.2	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	73
	Заключение .....	75
	Список публикаций.....	76
	Список используемых источников.....	78
	Приложение А (таблицы) .....	80
	Приложение Б (иерархическая структура проекта).....	92
	ФЮРА.402112.001.ВО. Сенсор макета ММГ. Чертеж общего вида.....	
	.....на отдельной странице	
	ФЮРА.402111.001.К2. Сенсор макета ММГ. Чертеж общего вида.....	
	.....на отдельной странице	
	ФЮРА.402112.001.ВО. Сенсор макета ММГ. Чертеж общего вида.....	
	.....на отдельной странице	

## Введение

Микромеханический гироскоп (ММГ) служит для измерения угловой скорости, представляет собой интегрированное устройство с размерами в несколько миллиметров, как правило состоит состоящее из механического чувствительного элемента (ЧЭ) и электронных систем управления. Главными достоинствами такого датчика являются малые массы, малые размеры, и низкая себестоимость при массовом производстве.

МЭМС-датчики, как правило, имеют интегрированную электронику обработки сигнала и не имеют движущихся частей. За счет этого и обеспечивается их высокая надежность и способность обеспечивать стабильные показания в жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи).

МЭМС-датчики нашли применение в таких областях как управление движением объектов (автомобили, авиация, ракеты), в системах навигации, в машиностроении и измерительной технике, в геологоразведочной аппаратуре, робототехнике. В процессе расширения областей применения микромеханических датчиков возникали проблемы с их использованием. Это было связано с тем, что при работе в реальных условиях (вибрации, удары, акустические воздействия, изменения температуры) характеристики датчиков существенно изменялись.

А так же благодаря своим основным достоинствам, таким как: сверхмалая масса (доли граммов) и габаритам (единицы миллиметров), низкой себестоимости, высокой устойчивости к механическим и тепловым воздействиям, микромеханические гироскопы активно используются в автомобильной промышленности. Данная индустрия является основным «двигателем» развития ММГ. По данным [1] с 1990 года по 2005 доля таких устройств в автомобильной технике увеличилась почти в 3 раза, и в дальнейшем также имеет тенденцию к увеличению. В современных автомобилях используются 50 - 85 датчиков для создания различных систем безопасности,



управления и навигации, таких как подушки безопасности, тормозная антиблокировочная система, навигационная и другие;

В ходе данной работы будет разработана конструкция МЭМС-датчика (гироскопа), посредством которой будет увеличен один из параметров работы микромеханического гироскопа как ширина полосы пропускания.

## 1 Обзор существующих схем гироскопа.

### 1.1 Основная информация о гироскопах.

Гироско́п (от др.-греч. γῦρος — круг + σκοπέω — смотрю) — устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета[2].

Сейчас этот термин используется для названия устройств содержащих объект, который совершает быстрые периодические движения. В результате этих движений устройство становится чувствительным к вращению в инерциальном пространстве. На рисунке – 1.1 представлена модель традиционного гироскопа с тремя степенями свободы(с двумя рамками карданова подвеса) [3].

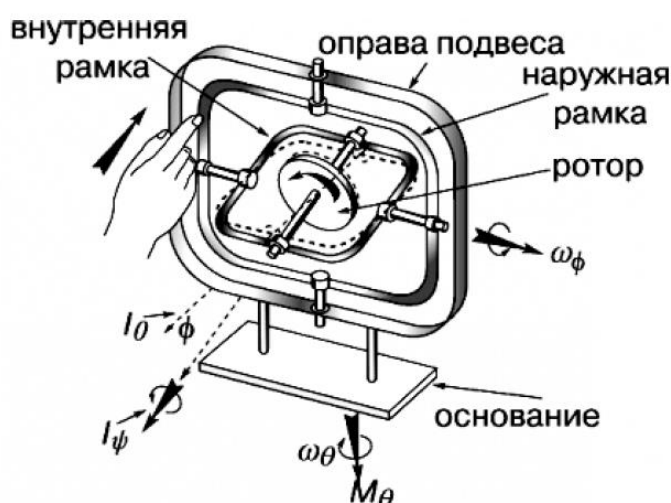


Рисунок 1.1 – Модель традиционного гироскопа.

$I_\psi$  – ось собственного вращения ротора;

$I_\theta$  – опорное направление кинетического момента;

$\phi$  – угол отклонения внутренней рамки карданова подвеса;

$\omega_\phi$  – угловая скорость поворота внутренней рамки подвеса (прецессия);

$M_\theta$  – момент возмущающей внешней силы;

$\omega_\theta$  – угловая скорость поворота внешней рамки подвеса (нутация)

Гироскопический эффект создается той же самой центробежной силой, которая действует на волчок, вращающийся на столе. В точке опоры волчка о

стол возникают сила и момент, под действием которых ось вращения волчка отклоняется от вертикали, а центробежная сила вращающейся массы, препятствуя изменению ориентации плоскости вращения, вынуждает волчок вращаться и вокруг вертикали, сохраняя тем самым заданную ориентацию в пространстве[3].

## **1.2 Микромеханические гироскопы, принцип работы**

Главное достоинство данного ММГ является его высокая защищенность от линейных перегрузок. Важное достоинство микромеханических гироскопов — расположение сервисной электроники в интегральном исполнении на одной подложке с механической структурой в одном чипе, что существенно снижает уровень паразитных и шумовых сигналов в системе съема. В качестве достоинства ММГ следует также отметить отсутствие необходимости в обеспечении вакуума в корпусе гироскопа. Величина случайного дрейфа составляет  $\sim 0,3$  град/с [3].

Микромеханические, или микрогироскопы (МГ), являются электромеханическими системами, в которых энергия вынужденных (первичных) колебаний инерционной массы (ИМ) на упругом подвесе (резонаторе) при появлении переносной угловой скорости преобразуется в энергию вторичных колебаний, который содержат информацию об измеряемой угловой скорости. Это преобразование осуществляется вследствие воздействия на резонатор сил (моментов) инерции Кориолиса при вращении резонатора с переносной угловой скоростью, вектор количества движения, или момента количества движения (кинетического момента), соответственно для поступательных или вращательных первичных колебаний ИМ [3].

По виду движения инерционных масс в режиме возбуждения различают гироскопы L-L типа, R-R типа и L-R, R-L типа.

Как и классический гироскоп, ММГ содержит все основные элементы: инерциальная масса, опоры главной оси и оси прецессии, ось, датчик угла,

датчик момента, гироскамеру, двигатель, электронику управления[3]. На примере (рисунок-1.2) ММГ с одной осью чувствительности компании Draper Laboratory.

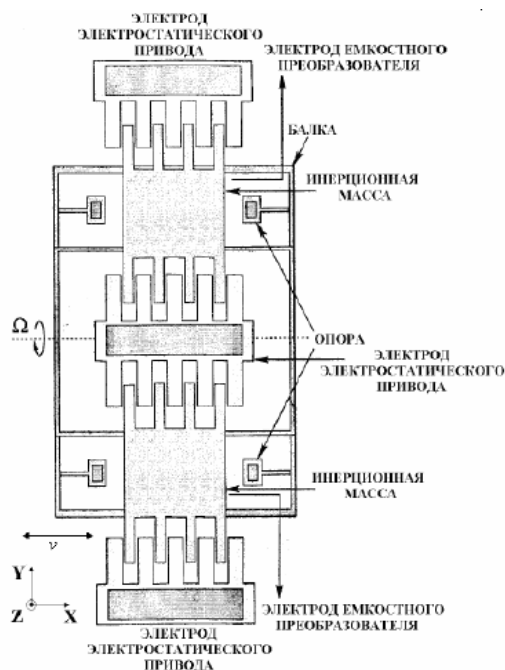


Рисунок 1.2 – Микромеханический гироскоп с одной осью чувствительности компании Draper Laboratory (США).

Принцип работы ММГ заключается в создании относительно корпуса знакопеременного поступательного либо вращательного движения чувствительного элемента по одной из степеней свободы и измерении перемещений по другой степени свободы, возникающих под действием кориолисовых сил или гироскопических моментов при наличии переносной угловой скорости корпуса [4].

На рисунке 1.3 поясняется принцип на примере ММГ с двухступенным упругим подвесом и поступательными перемещениями ЧЭ. При наличии знакопеременной относительной линейной скорости  $V$  вдоль оси  $OX$  и переносной измеряемой угловой скорости  $\Omega$  вокруг оси  $OZ$  появляются знакопеременное ускорение Кориолиса  $W_k$  и соответствующая ему сила  $F_k$  вдоль оси  $OY$  [3].

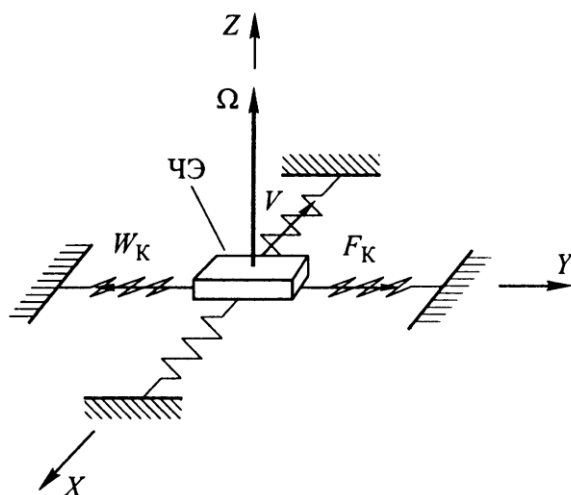


Рисунок 1.3 –Микромеханический гироскоп

Конструктивным узлом, определяющим функциональные возможности микрогироскопа, является чувствительный элемент. Чувствительный элемент микрогироскопа можно назвать инерционной массой в подвесе с приводом, обеспечивающим режим движения, на который при наличии переносной угловой скорости вследствие возникающего ускорения Кориолиса и соответствующих ему сил инерции, генерируются вторичные колебания (режим чувствительности). На этом основании микрогироскопы иногда называют приборами для измерения ускорения Кориолиса. Микромеханические гироскопы по виду движения инерционных масс разделяются на: LL-, LR-, RR- типа[3].

### 1.3 Микромеханические гироскопы LL – типа.

Так как в работе используется микромеханический гироскоп LL-типа, данный вид необходимо рассмотреть более подробно.

В основу конструктивной схемы ММГ положен выполненный из поликристаллического кремния упругий подвес ЧЭ с двумя поступательными степенями свободы в плоскости подвеса. В конструкции гироскопа используются два независимых упругих подвеса двух ЧЭ на одной подложке, возбуждаемых с помощью гребенчатого электростатического вибрационного

двигателя и объединенных дифференциальной системой емкостного съема, образованной каждым из ЧЭ его системой гребенчатых электродов емкостного датчика и системой электродов, расположенных на подложке. Виды упругих подвесов ММГ LL-типа представлены на рисунке 1.4 [4].

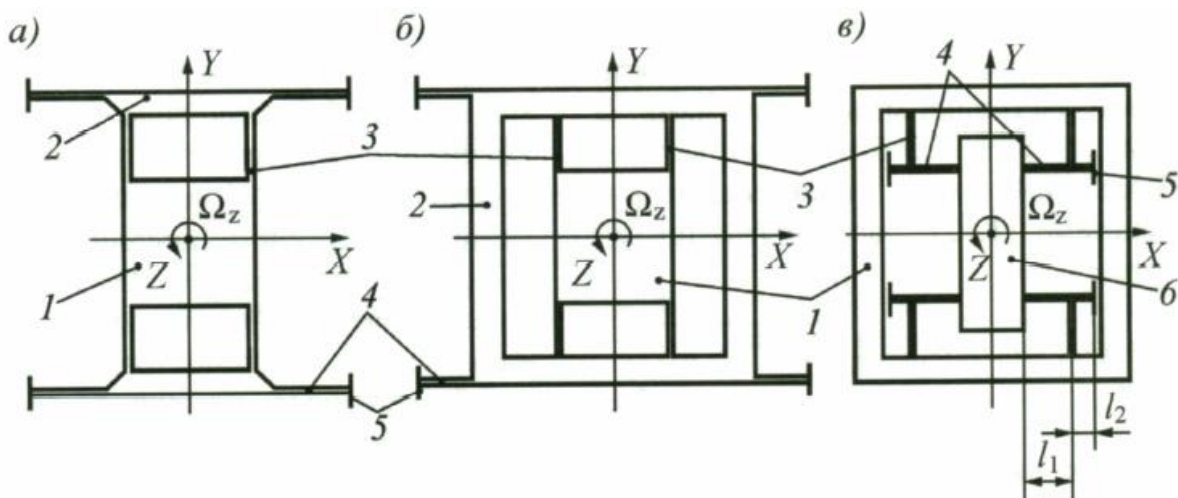


Рисунок 1.4 – Принципиальные схемы одномассовых ЧЭ МГ LL-типа:

- а – ЧЭ со спаренными упругими элементами внешнего подвеса;
  - б – ЧЭ с разделенными упругими элементами внешнего подвеса и промежуточной рамкой;
  - в – ЧЭ с сопряженными упругими элементами внутреннего подвеса с функцией механического усиления выходного сигнала;
- 1 – ИМ; 2 – жесткие элементы подвеса; 3, 4 – упругие элементы подвеса; 5 – основание; 6 – кинематический элемент.

#### 1.4 Полоса пропускания, способы увеличения.

##### Характеристики микромеханического гироскопа

Для описания характеристик гироскопов используются различные параметры, которые позволяют определить подходит ли гироскоп для решения задачи. Основные параметры микромеханических гироскопов [5]:

- Разрешение гироскопа – это минимальная угловая скорость, которая может быть определена (выделена) на уровне шумов при известной полосе пропускания гироскопа.

- Масштабный коэффициент гироскопа определяет отношение изменения выходного сигнала гироскопа к изменению измеряемого входного воздействия (угловой скорости).

- Нулевой сигнал гироскопа - это выходной сигнал при отсутствии входного воздействия. Дрейф нулевого сигнала - важная характеристика гироскопа определяющая его долговременную стабильность.

- Полоса пропускания гироскопа - диапазон частот, в котором входной сигнал измеряется системой без искажений.

Основной задачей данной работы, является расширение полосы пропускания, для этого необходимо выяснить, что такое полоса пропускания.

Одна из проблем для ММГ это узкая полоса пропускания, она характерна для гироскопов с высокой добротностью. Так как полоса пропускания обратно пропорциональна добротности, ее увеличение с одной стороны приводит к увеличению механического масштабного коэффициента, уменьшению шумов, и, следовательно, улучшению разрешающей способности, с другой стороны к сужению полосы пропускания гироскопа. На рисунке 1.5 представлена зависимость амплитудного значения напряжения от частоты колебаний, для разных значений добротности.

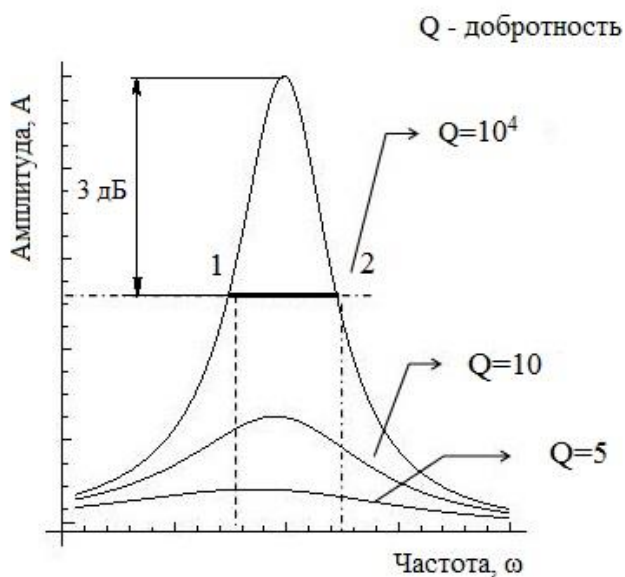


Рисунок 1.5 – Зависимость амплитудного значения напряжения от частоты колебаний, для разных значений добротности.

На данном рисунке полосой пропускания является, выделенное расстояние между точками 1 и 2, то есть полоса пропускания ММГ – это диапазон частот, в котором входной сигнал измеряется системой без искажений.

Полоса пропускания определяется, вычитанием 3 дБ от пика амплитуда колебаний.

Конструктивным способом увеличение полосы пропускания является использование много массовых систем, по оси вторичных колебаний. Массы связаны между собой упругой связью, и соответственно частота информативных колебаний будет иметь два пика, в фазе и антифазе (рисунок 1.6). Между двумя резонансами имеется широкая область с относительно постоянной амплитудой. Частота первичных колебаний настраивается таким образом, что бы она лежала между двумя пиками информативных колебаний. Именно эта плоская область в частотной характеристике в режиме чувствительности, что обеспечивает большую устойчивость и ширину полосы пропускания [6].

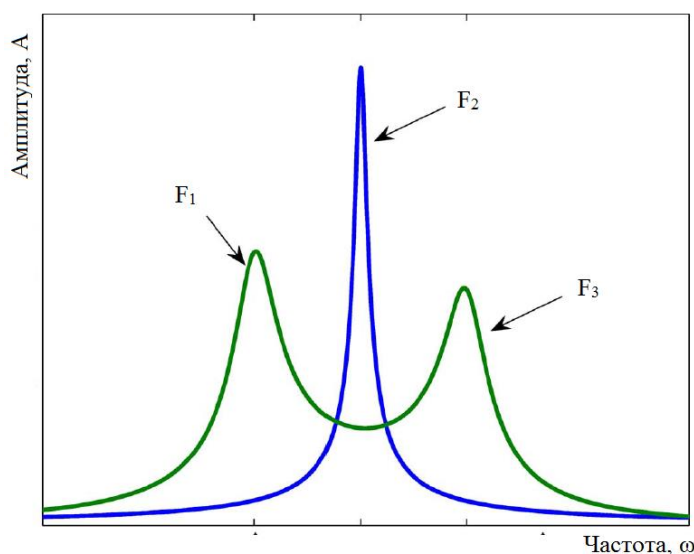


Рисунок 1.6 – Зависимость амплитудного значения напряжения от частоты, для трех форм колебаний.

Где – F<sub>1</sub> – первая форма колебаний (в фазе), F<sub>2</sub> – вторая форма колебаний (частота первичных колебаний), F<sub>3</sub> – третья форма колебаний (в антифазе).

В ходе работы, будет спроектирована конструкция микромеханического гироскопа, которая позволит увеличить широту полосы пропускания.



## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Предпроектный анализ

#### 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Совокупность данных преимуществ побуждает производителей систем для различных сфер применения (от авиа - и автомобилестроения до бытовой техники) использовать в своих разработках те или иные МЭМС-датчики.

Рассмотрим компании занимающиеся разработкой Микромеханических гироскопов [5].

Исследования рынка показали, что число фирм выпускающих гироскопы с диапазоном измерения более  $\pm 2000^\circ/\text{с}$  не велико. Это такие фирмы как: **Analog Devices** (США), **InvenSense** (США), **STMicroelectronics** (Франция),

**Гирооптика** (Санкт-Петербург) и **Лаборатория Микроприборов** (Санкт-Петербург).

Фирмой **Analog Devices** разработана базовая конструкция четырёхмассового чувствительного элемента (ЧЭ) с электроникой на одном кристалле. Наличие четырех однотипных структур позволяет избежать появления ошибок измерения в выходном сигнале гироскопа при вибрациях и ускорениях. Гироскоп представляет собой датчик прямого преобразования без обратной связи.

Фирма **InvenSense** в 2015 году выпустила трехосный гироскоп ITG-3701 с диапазоном измерения до  $4000^\circ/\text{с}$ . Диапазон измерения определяется коэффициентом усиления встроенного АЦП (ADC), который может быть изменен по интерфейсу SPI.

Двухосный гироскоп фирмы **STMicroelectronics** LY5150AL позволяет измерять угловые скорости до  $6000^\circ/\text{с}$  и имеет два аналоговых выхода. Один выход обеспечивает измерение в диапазоне  $6000^\circ/\text{с}$ , второй – за счет усилителя с

коэффициентом усиления равным 4 в диапазоне 1500°/с. Гироскоп также представляет собой датчик прямого преобразования.

В России разработкой гироскопов с широким диапазоном измерения занимаются фирмы “Лаборатория Микроприборов” (г.Зеленоград) и фирма “Гирооптика”(Санкт-Петербург).

Гироскоп ММГК-10000 фирмы “Лаборатория Микроприборов” выполнен на основе чувствительного элемента кольцевого типа, реализация асимметричной схемы требует точной настройки и достаточно сложна, однако позволяет добиться требуемых параметров, исключить влияние многих технологических погрешностей и значительно расширить диапазон измеряемых скоростей [5].

Проведем сегментирование рынка услуг микромеханических гироскопов. Карта сегментирования представлена на рисунке 5.1.

Датчик	Analog Devices ADXRS649	InvenSense ITG3701	Лаборатория Микро- приборов ММГК-10000	STMicro- electronics LY5150AL
Диапазон измерения, °/с	50000	4000	10000	6000
Нелинейность МК, %	0.1	0.3	0.3	1
Резонансная частота ИМ, Гц	17500	27000	-	-
Спектральная плотность шума, °/с/√Гц	0.25	0.02	0.1445	0.175
Полоса пропускания, Гц	2000	1,8,32	80	140
Смещение нуля от температуры	-	15%	-	0.25°/с /°C
Изменение МК от температуры	2%	4%	-	0.05°/с /°C
Температурный диапазон, °C	-40+105	-10+75	-40+80	-40+85

Рисунок 5.1 – Таблица сегментирования рынка услуг.

Исходя из проведенного анализа, следует, что на рынке микромеханических гироскопов перспективными будут разработки для компактных, и обладающих лучшими характеристиками, а главной характеристикой является ширина полосы пропускания в диапазоне 1000 Гц.

### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения (рисунок 5.1).

Оценка сравнительной эффективности научной разработки приведена в приложении А (таблица А.1).

Исходя из произведенного анализа, представленного в таблице, конкурентоспособность данного научно-исследовательского проекта немного ниже конкурентного аппарата, так как он является ещё не доработанным [15].

### **5.1.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) [15].

Составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в приложении А (таблица А.2).

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта[15].

### **5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень

собственных знаний для ее проведения (или завершения). Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации представлен в приложении А (таблице А.3).

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

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что перспективность научной разработки на данном этапе ниже среднего [2].

## **5.2 Инициация проекта**

### **5.2.1 Цели и результат проекта**

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей [2].

Заинтересованные стороны проекта представлены в приложении А (таблица А.4).

В таблице А.5, приложения А представлены цели и результаты проекта.

## **5.2.2 Организационная структура проекта**

Организационная структура проекта включает в себя рабочую группу данного проекта, роль каждого участника, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте [2]. Все это представлено в приложении А (таблица А.6) .

## **5.2.3 Ограничения и допущения**

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта [2]. Данный анализ представлен в таблице А.7, приложения А.

В данном пункте была определена цель проекта, его участники и срок выполнения проекта, а также ожидаемые результаты.

## **5.3 Планирование управления научно-техническим проектом**

### **5.3.1. Иерархическая структура работ проекта**

*Иерархическая структура работ* (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. В приложении Б (рисунок Б.1) представлена иерархическая структура проекта по разработке микромеханического гироскопа [2].

### **5.3.2. Контрольные события проекта**

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, определены их даты и результаты, которые должны быть получены по

состоянию на эти даты. Эта информация приведена в приложении (таблица А.8).

Ключевыми событиями проекта является постановка цели и задач, аналитический обзор литературы по теме проекта, разработка конструкции сенсора, математическое моделирование, проведение частотного анализа а также оценка и анализ полученных результатов, оформление проекта [2].

### 5.3.3 План проекта

План проекта заключается в составлении перечня работ, которые необходимы для достижения поставленных задач; в определении исполнителей каждой работы; в установлении продолжительности работ в рабочих днях. Каждый этап разработки требует определённых затрат труда и времени на его выполнение. Перечень и продолжительность работ, а также участники каждой работы приведены в таблице А.9, приложения А.

Трудоемкость разработки у исполнителя составила 146 человеко-дней, у руководителя – 42 человеко-дней. Затем была построена диаграмма занятости (рисунок 5.2).

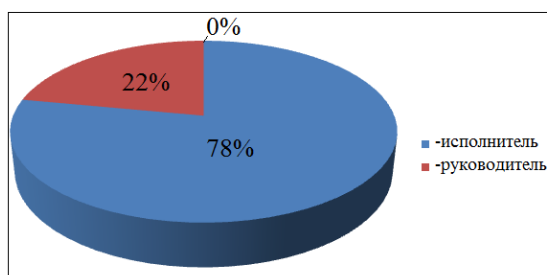


Рисунок 5.2 – Диаграмма занятости.

Далее требуется построить диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта. Диаграмма представлена в приложении А (таблица А.15).

### 5.3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования был составлен перечень всех видов осуществленных расходов, которые были произведены в процессе его выполнения.

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

В приложении А (таблица А.10) представлен перечень всех видов материалов, необходимых для проведения исследований с указанием потребного количества, цены за единицу и общей суммы [2].

#### 5.3.4.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ

Статья «Оборудование» включает в себя затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д. Расчет затрат по статье «Спецоборудование» приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Расчёт затрат на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб	Общая стоимость оборудования, тыс.руб
1	Компьютер	1	40 000	40 000
Норма амортизации, 15%				6 000
Итого				46 000

### 5.3.4.3 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда представлена в таблицах 5.2-5.3, приложения А.

### 5.3.4.4 Дополнительная заработная плата

Коэффициент дополнительной заработной платы  $k_{\text{доп}} = 0,15$ , который исходит из 15% от основной заработной платы. В таблице 5.4 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.4 - Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	81 895,8	64 108,6
Дополнительная зарплата, руб.	12 284,4	9 616,3
Зарплата, руб.	94 180,2	73 724,9
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	167 905,1	

### 5.3.4.6 Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 5.8:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.8)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,9 \cdot 167 905,1 = 151 114,6 \text{ руб.}$$

### 5.3.5. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 5.6)



Таблица 5.6 - Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель / аспирант ТПС	Учебно-вспомогательный персонал / 4 курс кафедры ТПС	Заведующий кафедрой ТПС
Подготовительный этап.	О	И	
Основной этап.	О	И	
Заключительный этап.	У О	О И	С

### 5.3.6. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями представлен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 - План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передается информация
1	Требования к проекту	Руководитель	Исполнителю	При получении технического задания
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно
3	Информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Ежедневно

4	О выполнении контрольной точки (отчет по НИР)	Исполнитель	Руководителю	За 4 дня до контрольной точки
---	---	-------------	--------------	-------------------------------

### **5.3.7. Реестр рисков проекта**

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу сведена в приложении А (таблица А.12).

\* Уровень риска оценивается как: высокий, средний или низкий в зависимости от вероятности наступления и степени влияния риска. Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень [2].

## **5.4 Определение ресурсной, финансовой бюджетной эффективности исследования**

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность.

### **5.4.1 Оценка социальной эффективности исследования**

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты. В таблице 2.0 приводится оценка социальной эффективности проекта разработки микромеханического слухового сенсора [2].

Таблица 5.8 - Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Использование двухкомпонентного ММГ.	Использование однокомпонентного ММГ.
Большие размеры ММГ.	Использование системы с одним чувствительным элементом, малые размеры и вес.
Невозможность работы при перегрузках.	Устойчив к внешним факторам и удобен в эксплуатации .

#### 5.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Вариант № 1. Микромеханический гироскоп – 254 268 руб.

Вариант № 2. ММГ STMicroelectronics – 351 789 руб.

Вариант № 3. ММГ Analog Devices – 51 980 руб.

$$I_{\Phi B1}^p = \frac{254\,268}{351\,789} = 0,72, \quad I_{\Phi B2}^p = \frac{351\,789}{351\,789} = 1, \quad I_{\Phi B3}^p = \frac{51\,980}{351\,789} = 0,147$$

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.11)$$

где  $I_m^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме приложения А (таблицы А.13), пример которой приведен ниже.

$$I_{\text{тп}} = 5 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,1 + 3 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,05 + 3 \times 0,05 + 4 \times 0,1 = 4,25$$

$$A1 = 5 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,1 = 4,3$$

$$I_m^p = \frac{46}{47} = 0,98; I_m^{a1} = \frac{47}{47} = 1; I_m^{a2} = \frac{36}{47} = 0,76$$

**Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и налога ( $I_{\text{финр}}^a$ ):**

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}, \quad (5.12)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{0,98}{0,72} = 1,36; I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{1}{1} = 1; I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{0,76}{0,147} = 5,17$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_m^a} \quad (5.13)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{\phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $I_m^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}}^p = \frac{0,72}{0,98} = 0,73; \mathcal{E}_{\text{ср}}^{a1} = \frac{1}{1} = 1; \mathcal{E}_{\text{ср}}^{a2} = \frac{0,147}{0,76} = 0,19$$

В приложении А (таблица А.14) представлена сравнительная эффективность разработки.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в технической задаче с позиции финансовой и ресурсной эффективности [2].

## 6 Социальная ответственность

### 6.1 Профессиональная социальная безопасность

В настоящее время важной частью рабочего места стали вычислительные машины. Работа с ними позволяет значительно уменьшить физический труд человека. С другой стороны, возрастает умственная нагрузка, в результате появляется проблема нервного переутомления, то есть трудовой процесс сопровождается нервно-психологическим и физическим напряжением организма.

Анализ рабочей зоны на предмет возникновения возможных вредных и опасных факторов представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении проекта

Источник фактора, наименование вида работы	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)[16].	
	Вредные	Опасные
Работа выполнялась в положении сидя в офисном помещении за рабочим столом с использованием компьютера.	1. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 2. Отклонение показателей микроклимата от нормы; 3. Недостаточная освещенность рабочего зоны.	1. Электрический ток

Вредные факторы:

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Элементы питания, экран дисплея ПЭВМ являются источниками электрических и магнитных полей. Интенсивность электромагнитных полей создается внешними источниками, такими как: элементы систем электроснабжения зданий, трансформаторы, воздушные линии электропередач.

Повышенный уровень электромагнитных излучений может стать причиной возникновения у человека:

- утомленность,
- помутнения хрусталика и потери зрения,
- головной боли,
- нарушения сердечно-сосудистой системы,
- нарушения центральной нервной системы,
- нервно-психического расстройства,
- изменения в крови (уменьшение количества лейкоцитов).

Допустимый уровень воздействия на человека регулируется в СанПиН 2.2.4.1191-03 [17] и приведен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Предельно допустимые уровни электромагнитных полей

Параметр	Диапазоны частот, МГц				
	0,03 - 3	3 – 30	30 – 50	50 - 300	300 – 300000
$E, (В/м)^2 \cdot ч$	20000	7000	800	800	-
$H, (А/м)^2 \cdot ч$	200	-	0,72	-	-
ППЭ, $(мкВт/см)^2 \cdot ч$	-	-	-	-	200

Для защиты от электромагнитных полей необходимо проконтролировать правильность установки ПЭВМ, его подключение к электропитанию, заземление. Экран дисплея ежедневно очищать от пыли. Между рабочими столами устанавливать специальные защитные экраны, с покрытием, поглощающим низкочастотное электромагнитное излучение. Также

необходимо использовать очки для работы с ПЭВМ со специальным покрытием.

Отклонение показателей микроклимата от нормы

Показатели микроклимата:

- Температура;
- Относительную влажность;
- Скорость движения воздуха.

При отклонении показателей микроклимата от нормы, возможны следующие последствия для организма человека:

- Нарушение терморегуляции, которое может привести к понижению температуры, обморожению, или наоборот, к повышению температуры, обильному потоотделению.
- Нарушение водно-солевого баланса, может привести к слабости, головной боли, потери сознания.

Оптимальные и допустимые величины показателей при работе в положении сидя с ПЭВМ, категория работ 1а, регламентируются в ГОСТ 12.1.005-88 [18] и приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Период года	Температура, °С		Относительная влажность		Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	22-24	21-25	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	22-28	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2

Для поддержания оптимальных значений микроклимата, в рабочей зоне должна быть установлена система кондиционирования и поддерживаться влажность воздуха с помощью современных увлажнителей воздуха.

Микроклимат исследуемой рабочей зоны поддерживается на допустимом уровне.

Недостаточная освещенность рабочего зоны.

Недостаточная освещенность рабочей зоны может привести к уменьшению остроты зрения человека, головным болям, а также может быть причиной переутомления.

Согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19] необходимо применять комбинированную освещенность, естественный свет преимущественно должен падать слева. «Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.» Норма коэффициента естественного освещения в исследуемом помещении равна 3 %.

В исследуемой рабочей зоне освещенность комбинированная, естественный свет падает слева. Освещенность помещения соответствует норме.

Для соблюдения санитарных норм, нужно осуществлять очистку окон два раза в год и своевременно проводить замену перегоревших ламп.

Опасные факторы:

Электрический ток

ПЭВМ является потенциальным источником опасности поражения электрическим током. Проходя через тело человека, электрический ток оказывает действие:



- термическое (нагревание и ожоги различных частей тела),
- биологическое (нарушение протекания в организме различных внутренних процессов – прекращение процесса дыхания, остановка сердца),
- электролитическое (изменение состава и свойства крови и других жидкостей).

Основным физическим фактором электрического тока, который несет серьезные последствия на организм человека, является сила тока. Сила переменного тока по воздействию на человека делится на три уровня:

- Ощутимый ток  $I=0,6$  мА,
- Отпускающий ток  $I=6$  мА,
- Нефибрилляционный ток  $I=50$  мА.

Электрозщитные средства от электрического тока:

- Заземление (зануление) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации электроустановок и вычислительной техники.
- Изоляция. Не ставить компьютер в зоне повышенной влажности, повышенного содержания пыли.
- Сигнализирующие средства защиты (запрещающие и предупреждающие знаки безопасности).

## **6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В офисном помещении возможны следующие чрезвычайные ситуации: пожар и землетрясение. Наиболее типичная ЧС – пожар. Рабочее место по категории пожарной опасности относится к классу В, как пожароопасное. Пожар носит техногенный характер. Источником пожара могут быть ПЭВМ, электрический ток. К возможным причинам пожара можно отнести:

- неисправность электрической проводки;
- возгорание ПЭВМ;
- несоблюдение правил ПБ.

При возникновении пожара необходимо позвонить в пожарную службу, эвакуировать людей, принять возможные меры по тушению пожара.

Меры по предупреждению пожара:

- недопущение использования неисправного оборудования;
- ознакомление сотрудников с правилами пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность;
- наличие системы сигнализации при возникновении пожара;
- выключение электрооборудования, освещения и электропитания;
- курение в строго отведенном месте;
- наличие планов эвакуации;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном

состоянии.

Землетрясение носит стихийный характер. Поэтому причиной такой чрезвычайной ситуации является природа. Землетрясение невозможно предотвратить, но можно снизить тяжесть последствия для людей и объектов производства.

Меры обеспечения безопасности жизнедеятельности:

- сейсмическое наблюдение и прогнозирование землетрясений;
- выбор местоположения предприятия вдали от сейсмоопасных районов;
- строительство сейсмоустойчивых зданий и сооружений;
- обучение персонала правилам поведения в ЧС.

При возникновении землетрясения на предприятии должны быть прекращены все работы и предприняты меры к отключению тока. Сотрудники должны быть доставлены в места сбора или безопасные места. Необходимо оказать помощь пострадавшим.

## **Заключение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан однокомпонентный микромеханический гироскоп с расширенной полосой пропускания.

В процессе квалификационной работы был выполнен следующий комплекс работ:

- анализ отечественной и зарубежной литературы по теме работы;
- выбор расчетной схемы микромеханического гироскопа;
- разработка функциональной схемы гироскопа;
- составление математической модели гироскопа;
- выбор материала изготовления, описание технологического процесса изготовления МЭМС сенсора и технологического процесса сборки;
- расчет собственных частот;
- расчет емкостей гребенчатых структур;
- организация, планирование и оценка научной эффективности научно-исследовательской работы;
- анализ опасных и вредных производственных факторов и разработка комплекса защитных мероприятий.

Результаты теоретических исследований и расчетов показали, что разработанный однокомпонентный микромеханический гироскоп является надежным и удовлетворяет всем требованиям технического задания.

Полученные результаты планируется в дальнейшем использовать для изготовления экспериментального макета разработки и проверки на практике характеристик полученных теоретическим путем.

## Список публикаций

1. Ковалева Ю. Ю. , Фролов Р. А. , Шагдыров Б. И. Развитие иноязычной коммуникативно-культурной компетенции студентов технического вуза в рамках проектной работы по дисциплине "Иностранный язык" // Филологические науки. Вопросы теории и практики . - 2014 - №. 7-1. - С. 88-92

2. Ковалева Ю. Ю. , Фролов Р. А. , Шагдыров Б. И. Развитие иноязычной коммуникативно-культурной компетенции студентов технического вуза в рамках проектной работы по дисциплине "Иностранный язык" // Лингвистика и межкультурная коммуникация: теоретические и методологические проблемы современного образования: сборник трудов I Российской научно-практической конференции с международным участием для студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-17 Мая 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - С. 43-49

3. Иванова В. С., Мертинс (Линейцева) К. В., Шагдыров Б. И. Развитие языковой компетентности в техническом вузе // Functions of upbringing and education in conditions of the accelerated socialization of the personality in the modern society : Peer-reviewed materials digest (collective monograph) published following the results of the CIII International Research and Practice Conference and II stage of the Championship in Psychology and Educational sciences. - London : IASHE. - 2015. - С. 49-52

4. Шагдыров И.Б., Балсанов М.Б., Петина Н.Р., Шагдыров Б.И. Исследование процесса разрушенных фуражных культур в трехступенчатом измельчителе., Сборник научных трудов, Серия: технологии и технические средства в АПК, Выпуск 11. Издательство ВСГУТУ, Улан-Удэ, 2015. С 102-105.

5. Шагдыров И.Б. Анализ влияния конструктивно-режимных параметров на процесс измельчения фуражного зерна в многоступенчатом измельчителе / И.Б.Шагдыров, В.И.Коновалов, Б.И.Шагдыров, А.И.Пунько // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2т.

/ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».- Минск,2014.  
–Вып.48.-Т.2.-С.-104-110.

6. И.Б. Шагдыров, И.Я. Федоренко, В.В. Садов, Б.М. Балданов, Н.Р. Петина, Б.И. Шагдыров. Теоретическое обоснование технологической схемы и оптимизация фракционного состава зерновой дерти, образуемой при измельчении фуражного зерна в многоступенчатом измельчителе. *Mongolian journal of agricultural sciences*.Vol.2 . Ulaanbaatar 2015. С 71-75.

## Список используемых источников

- 1 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 2 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- 3 Запевалин А.И. Обзор высоко-аспектных процессов травления кремния // Современная техника и технологии. 2014. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/06/3970>
- 4 Гироскоп/ Википедия. [2013-2013]. Дата обновления: 13 мая 2016.. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
- 5 Расчёт надёжности упругих элементов микромеханических гироскопов: учебное пособие, [Электронный ресурс] – URL: <http://window.edu.ru/resource/673/78673/files/itmo908.pdf#1>
- 6 Распопов В.Я. Микромеханические приборы. - М.: Машиностроение, 2007г. - 397с.
- 7 Chinwuba D.E. Readout Techniques for High-Q Micromachined Vibratory Rate Gyroscopes/ Chinwuba David Ezekwe // University of California at Berkeley Ph.D. Dissertation. – 2007.
- 8 Козорез Д.И. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов, [Электронный ресурс] – URL: <https://books.google.ru/>, свободный
- 9 Костюченко Т.Г. T-Flex Анализ. Расчет собственных частот и форм колебаний конструкций. Методические указания по выполнению лабораторного практикума. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 21 с.
- 10 Расчетная программа T-FLEX Анализ, [Электронный ресурс] – URL: <http://www.tfex.ru/products/raschet/analiz/>, свободный

- 11 Разработка микромеханических гироскопов, имеющих более широкий диапазон измерений [Электронный ресурс] – URL: <http://knowledge.allbest.ru/>, свободный
- 12 Микромеханический гироскоп компенсационного типа с расширенным диапазоном измерения, [Электронный ресурс] – URL: <http://www.eltech.ru/assets/files/nauka/>, свободный
- 13 Микроэлектромеханические системы, [Электронный ресурс] – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki>, свободный
- 14 Учебное пособие “Расчет надежности упругих элементов микромеханических гироскопов” – Санкт-Петербург, 1999 г. 128с.
- 15 Пешехонов, В. Г. Микромеханический гироскоп, разрабатываемый в ЦНИИ «Электроприбор» / В. Г. Пешехонов [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 2. – С.29-31.
- 16 Реактивное ионное травление, [Электронный ресурс] – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki>, свободный
- 17 Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
- 18 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 19 ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- 20 СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

## Приложение А (таблицы)

Таблица А.1 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Материалы	0,1	5	4	0,5	0,4
2. Срок службы аккумулятора	0,1	3	5	0,3	0,5
3. Совместимость с программный/ аппаратным обеспечением	0,1	4	3	0,4	0,3
4. Масса	0,1	5	4	0,5	0,4
5. Удобство в эксплуатации	0,1	5	5	0,5	0,5
6. Внешний интерфейс	0,1	5	5	0,5	0,5
7. Время переустановки	0,1	3	4	0,3	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	0,4	0,4
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
3. Финансирование научной разработки	0,05	3	4	0,15	0,2
4. Цена	0,05	3	3	0,15	0,15
<b>Итого</b>	1			4,1	4,25



Таблица А.2 - SWOT - анализ

	<b>Сильные стороны</b> <b>научно-исследовательского проекта:</b> С1. В данном микромеханическом гироскопе, достигнут, пропуск. С2. Отсутствие конкуренции по разрабатываемому сенсору С3. Полностью невидим С4. Работает при любых условиях, даже во время дождя С5. Малые размеры и масса	<b>Слабые стороны</b> <b>научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Работа в частотном диапазоне до 4,5кГц Сл3. Разработка еще далека от завершения

<b>Возможности:</b>	В1С1С2С4 -	В1Сл1Сл2 -
В1. Расширение частотного диапaзоне	расширение частотного диапaзона способствует	совмещение возможности
В2. Появление спроса на новый продукт	использование естественного	расширения частотного диапaзона с слабыми
В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	<p>микрофона, отсутствие конкуренции и работе при любых условиях;</p> <p>В2С1С2С3С4С5 - использование естественного микрофона, отсутствие конкуренции, работа при любых условиях, малые размеры и вес сопутствуют повышению спроса на продукт; В3С3С4 - работа при любых условиях.</p>	<p>сторонами отсутствия прототипа и работа в диапaзоне до 4.5 кГц</p> <p>позволяет решать возникшие проблемы;</p> <p>В2Сл1Сл2Сл3 -;</p> <p>В3Сл1Сл2Сл3с появлением спроса и повышением стоимости конкурентных разработок слабые стороны будут удалены.</p>

Продолжение таблицы А.2

<b>Угрозы:</b>	У1С1С3С4С5	при	У1Сл1Сл2Сл3
У1. Трудность реализации	использовании естественного		трудность реализации, развитая
У2. Развитая конкуренция технологий производства	микрофона, а также малых размерах и работе при любых условиях		конкуренция, может усилить влияние слабых сторон проекта и привести кувеличению
У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	возникать проблемы с реализацией продукта;		стоимости, а ,следовательно, появятся риски в отсутствие спроса.

Таблица А.4 - Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Различная аппаратура, многих сфер деятельности.	Улучшенные характеристики, Полосы пропускания
Фирмы занимающиеся разработкой и продажей ММГ	Доступные технологии, невысокая цена, высокий спрос потребителей
Исполнитель НИР, Шагдыров Б.И.	Успешная защита диплома
Руководитель НИР, Барбин Е.С.	Выпуск квалифицированного специалиста

Таблица А.5 - Цели и результаты проекта

<b>Цель проекта:</b>	Разработка микромеханического гироскопа с расширенной полосой пропуска.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Разработанный датчик

<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Доступные технологии изготовления сенсора, безопасность для здоровья человека
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Малые размеры
	Широкий частотный диапазон
	Удобство в эксплуатации

Таблица А.6 - Рабочая группа проекта

№	Ф.И.О., должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, дни
1	Шагдыров Б.И. бакалавр	Исполнитель	Выполнение запланированных работ по проекту	146
2	Барбин Е.С., Аспирант кафедры ТПС	Руководитель	Консультирование, координирование деятельности исполнителя	42
Итого:				188

Таблица А.7 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
2. Сроки проекта:	Ноябрь 2014 – Май 2016
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	Ноябрь 2015
2.2. Дата завершения проекта	Май 2016

Таблица А.8 - Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	09.2015- 12.2015	Отчет по НИР
2	Анализ литературы.	12.2015- 02.2016	Отчет по НИР
3	Разработка конструкции, математическое моделирование, проведение частотного анализа сенсора.	02.2016- 04.2016	Отчет по НИР
4	Оценка и анализ полученных результатов, оформление проекта.	04.2016- 05.2016	Предзащита, участие в конференции

Таблица А.9 - Календарный план проекта

Код	Наименование работ	Продолжительность, дни	Участники
1	Постановка задач	2	Руководитель Исполнитель
2	Патентный обзор	18	Исполнитель
3	Ознакомление с отечественной и зарубежной литературой	14	Исполнитель
4	Обзор применения микроэлектромеханических систем	10	Исполнитель

## Продолжение таблицы А.9

5	Обзор применения микроэлектромеханических систем	15	Исполнитель
6	Обзор схем микромеханических гироскопов	17	Исполнитель
7	Составление структуры диссертации	5	Руководитель Исполнитель
8	Разработка конструкции гироскопа	14	Исполнитель
9	Разработка математической модели гироскопа	7	Руководитель Исполнитель
10	Моделирование гироскопа в программе Simulink	18	Руководитель Исполнитель
11	Написание докладов и статей	10	Исполнитель Руководитель
12	Составление автореферата диссертации	14	Исполнитель
13	Подготовка демонстрационных материалов и доклада для защиты	2	Исполнитель

Таблица А.10 - Материалы необходимые для проведения исследования

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лицензионные программные продукты				
T-FLEXCAD 2D	мест	10	500	5000
T-FLEX CAD 3D	мест	10	750	7500
T-FLEX Анализ	мест	10	1050	10500

Продолжение таблицы А.10

Всего за материалы	23 000
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)	920
Итого по статье С <sub>М</sub>	23 920

Таблица А.12 - Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1	Получение неадекватной модели и как следствие ошибочных данных.	Получение неверного результата	2	4	Высокий	Проведение доп. консультаций со	Отсутствие мощных ПК

Продолжение таблицы А.12

2	Плохо квалифицированный персонал	Увеличение сроков и качества разработки	2	4	Низкий	Проведение дополнительных обучений по проекту	Низкий уровень образования выпускников вузов
3	Несоответствие поставленным требованиям	Снижает спрос на продукцию (снижается доверие потребителей к продукту)	2	3	Низкий	Набор квалифицированного персонала, контроль проведения разработки	Плохо квалифицированный персонал
4	Некорректный ошибочный перевод англояз. интерфейса и библиотеки.	Получение неверного результата	2	4	Средний	Углубленное изучение англ. языка	Отсутствие базовых знаний англ. языка



5	Отсутствие спроса на продукцию	Отсутствие возможности реализации	2	3	Средний	Участие в научных форумах и конференциях, указание информации о продукте	Отсутствие заинтересованности покупателей, связанное с низким качеством продукта и его стоимостью
---	--------------------------------	-----------------------------------	---	---	---------	--	---

Таблица А.13 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Вес.к оэф.	I <sub>тип</sub>	Аналог1 (OPUS2)	Аналог2 (Passport)
1. Материалы	0,1	5	5	3
2. Срок службы аккумулятора	0,1	4	4	4
3. Совместимость с программный/ аппаратным обеспечением	0,1	4	5	3
4. Масса	0,1	5	4	2
5. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	3
6. Внешний интерфейс	0,1	5	5	4
7. Время переустановки	0,1	3	4	5

Продолжение таблицы А.13

8. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	3
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4
10. Финансирование научной разработки	0,05	3	4	3
11. Цена	0,1	4	4	5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>36</b>

Таблица А.15 – Диаграмма Ганта

Код работы	Вид работ	Исполнители	Т. кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь		
1	Постановка задачи	Руководитель Исполнитель	2	■											
2	Патентный обзор	Исполнитель	18	■	■										
3	Ознакомление с отечественной и зарубежной литературой	Исполнитель	14		■										
4	Обзор применения микроэлектро-механических систем	Исполнитель	10		■										
5	Обзор применения микроэлектро-механических систем в медицинской электронике	Исполнитель	15		■	■									
6	Обзор схем микромеханических акселерометров	Исполнитель	17			■	■								
7	Составление структуры диссертации	Руководитель Исполнитель	5				■	■							
8	Разработка конструкции акселерометра	Исполнитель	14					■	■						
9	Разработка математической модели акселерометра	Исполнитель Руководитель	7						■	■					
10	Моделирование акселерометра в программе Simulink	Исполнитель Руководитель	18							■	■				
11	Написание докладов и статей	Руководитель Исполнитель	10									■	■		
12	Составление автореферата диссертации	Исполнитель	14										■	■	
13	Подготовка демонстрационных материалов и доклада для защиты	Исполнитель	2												■

■ - Исполнитель    ■ - Руководитель

## Приложение Б (иерархическая структура проекта)



Рисунок Б.1 – Иерархическая структура проект