

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.01 - Приборостроение
Профиль Системы ориентации, стабилизации и навигации
Кафедра точного приборостроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
МИКРОМЕХАНИЧЕСКАЯ БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА (БИНС) ДЛЯ НАВИГАЦИИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ				

УДК 629.782.05:629.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Ло Ван Хао		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Нестеренко Т.Г.	к. т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чистякова Н.О	к. э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.			

По разделу «Вопросы конструирования и технологии»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016_ г.



Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.04.01 - Приборостроение
Профиль Системы ориентации, стабилизации и навигации
Кафедра точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТПС

(Подпись) (Дата) (Бориков В.Н.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	Ло Ван Хао

Тема работы:

МИКРОМЕХАНИЧЕСКАЯ БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА (БИНС) ДЛЯ НАВИГАЦИИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Диапазон измерения угловой скорости: ± 250 град/с; 2. Диапазон измерения ускорения: $\pm 2g$; 3. Диапазон измерения углов: тангажа $\pm 90^\circ$, крена $\pm 180^\circ$, курса $\pm 360^\circ$; 4. Напряжения питания: 5 вольт; 5. Потребляемый ток: до 10 мА; 6. Масса блока чувствительных элементов : не более 1 кг; 7. Габариты (не более): (100 x 70 x 100) мм; 8. Погрешность измерения : меньше 5 %.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор существующих методов автономной навигации 2. Структура системы автономной навигации, выбор датчиков 3. Методы калибровки МЭМС инерциальных датчиков 4. Разработка виртуального прибора с использованием

	LabVIEW для снятия данных 5. Разработка стенда для испытаний МЭМС гироскопа 6. Алгоритм объединения и фильтрации показаний сенсоров ИИБ для определения ориентации объекта в трёхмерном пространстве.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Чертежи общего вида и корпуса БЧЭ СО - 2 листа формата А3. 2. Схемы электрические принципиальные - 2 лист
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Вопросы конструирования и технологии	Гормаков А.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Н.О
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: 3. Методы калибровки МЭМС инерциальных датчиков	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03. 2016 г.
---	----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Нестеренко Т.Г.	к. т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Ло Ван Хао		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки - Приборостроение
Уровень образования - магистр
Кафедра точного приборостроения
Период выполнения - весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:		06.06.2016 г.
Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.05.2016 г.	Раздел «Бесплатформенные инерциальные навигационные системы для навигации внутри помещения»	30
20.05.2016 г.	Чертежи, электрические схемы	10
21.04.2016г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
28.04.2016 г.	Раздел «Социальная ответственность»	10
05.05.2016 г.	Раздел «Вопросы конструирования и технологии»	10
	Раздел «Английский язык»	10
06.2016 г.	Оформление ВКР и представление работы рецензенту	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Нестеренко Т.Г.	К. Т.Н		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 126 с., 71 рис., 37 табл., 39 источников, 29 прил.

Ключевые слова: бесплатформенная навигационная система, гироскоп, акселерометр, магнитометр, угловая скорость, ускорение, микроэлектромеханические системы, калибровка, шестипозиционный метод, смещение нуля, масштабный коэффициент, неортогональность, белый шум, шум квантования, спектральная плотность мощности, дисперсия Аллана.

Объектом исследования является блок чувствительных элементов бесплатформенной навигационной системы для навигации внутри помещения.

Цель работы – Знакомство с разнообразными методами автономной навигации; исследование конструкции и принципа работы бесплатформенной навигационной системы на основе микромеханических гироскопа, акселерометра и магнитометра; создание электрической схемы для определения, вычисления параметров ориентации объекта; и создание установки для испытания микромеханического гироскопа.

В процессе исследования проводились: обзор методов автономной навигации, описание конструкции выбранной бесплатформенной навигационной системы и её блока чувствительных элементов, создание электрической схемы вычисления параметров ориентации объекта, составление математической модели выходного сигнала чувствительных элементов, анализ шумовых составляющих датчиков.

В результате исследования разработаны конструкция бесплатформенной навигационной системы, алгоритм для соединения выходных сигналов чувствительных элементов. Также проведена калибровка для всех чувствительных элементов системы. Результат исследования подтверждает, что созданная бесплатформенная навигационная система эффективна для определения параметров ориентации.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: выбор рациональной конструкции блок чувствительных элементов, анализ технологических показателей разработки, создание установки для испытания гироскопа.

Область применения: В промышленности для определения положения машины, в компании для определения положения сотрудников, для служб спасения, скорой помощи, полиции, так и обычных людей и транспортировки.

Экономическая эффективность, значимость работы: рассчитанный экономический эффект с учетом затрат на проведение работ составляет около 70 тыс. рублей.

В будущем планируется создание алгоритма для решения задачи навигации, выполнение испытания на практике, исследование его погрешности измерения.

Определения

Радиоволна - Электромагнитное излучение с частотами, соответственно, от нескольких Гц до $6 \cdot 10^{12}$ Гц.

Датчик - понятие в системах управления - чувствительный элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий измеряемую величину в удобный для использования сигнал.

Микроэлектромеханические системы - представляют собой устройства микросистемой техники, объединяющие в себе микромеханические и микроэлектронные компоненты, которые изготавливаются из кремния.

Гироскоп - устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета.

Акселерометр - устройство, измеряющий проекцию кажущегося ускорения.

Магнитометр - устройство, который используют геологи для измерения и (иногда) определения направления магнитного поля Земли в определенной точке пространства.

Ориентация - это изменение углового положения объекта в пространстве.

Инерциальная навигация - метод определения параметров движения и координат объекта, не нуждающийся во внешних ориентирах или сигналах.

Перечень сокращений

БИНС	- Бесплатформенные навигационные системы;
НС	- Навигационные системы;
ИНС	- Инерциальные навигационные системы;
СО	- Система ориентации;
МЭМС	- Чувствительный элемент ;
АЦП	- Аналого-цифровой преобразователь;
ЭДС	- Электродвижущая сила;
СПМ	- Спектральная плотность мощности;
ДА	- Дисперсия Аллана;
ВП	- Виртуальный прибор;
ШИМ	- Широтно-импульсная модуляция;
ИИБ	- Измерительный инерциальный блок;
ГСК	- Термометр;
ФНЧ	- Фильтр низких частот;
ФВЧ	- Фильтр верхних частот
БЧЭ	- Блок чувствительных элементов.

Оглавление

Введение	15
Глава 1. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы для навигации внутри помещения	16
1. Аналитический обзор существующих методов автономной навигации[1]	16
1.1. Навигация по Wi-Fi	16
1.2. Геомагнитное позиционирование	16
1.4. Ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи (GSM)...	18
1.5. Обзор бесплатформенных навигационных систем	19
1.5.1. Системы низкой точности	19
1.5.2. Системы средней точности	19
1.5.3. Системы высокой точности	20
2. Структура системы автономной навигации, выбор датчиков	22
2.1. Трёхосный акселерометр (датчик ускорения)	23
2.2. Трёхосный гироскоп (датчик угловой скорости)	24
2.3. Магнитометр.....	26
3. Методы калибровки МЭМС инерциальных датчиков	30
3.1. Модель сигналов инерциальных датчиков	30
3.2. Статическая погрешность	31
3.2.1 Смещение нуля	31
3.2.2 Масштабный коэффициент.....	31
3.2.3 Неортогональность осей	32
3.3. Стохастическая (нестабильная) погрешность	32
3.3.1 Шум квантования	32
3.3.2 Белый шум (случайное блуждание угла или линейной скорости)	33
3.3.3 Нестабильность смещения нуля	34
3.3.4. Случайное блуждание угловой скорости/ускорения.....	35
3.3.5 Линейное изменение угловой скорости/ ускорения.....	35

3.3.6 Синусоидальный шум	36
3.4 Анализ шумовых компонентов дисперсией Аллана	36
3.5 Экспериментальный анализ шумовых компонентов датчика MPU6050	40
3.6 Калибровка МЭМС инерциальных датчиков	48
4. Разработка виртуального прибора с использованием LabVIEW для снятия данных	54
5. Разработка стенда для испытания МЭМС гироскопа	58
6. Алгоритм объединения и фильтрации показаний сенсоров ИИБ для определения ориентации объекта в трёхмерном пространстве.....	63
6.1. Алгоритм объединения показаний сенсоров ИИБ	63
6.1.1 Ориентация с трёхосным гироскопом.....	64
6.1.2 Ориентация с трёхосным акселерометром и магнитометром.....	66
6.2. Полосовой фильтр	70
6.3 Результаты экспериментов	71
Глава 2. Вопросы конструирования и технологии	74
1. Конструирование макетного образца СО	74
1.1 Описание элементной базы СО	74
1.2 Описание системы передачи данных и элемента питания	77
Рисунок 1.3- Система передачи данных на основе беспроводных передатчика и приёмника.....	78
1.3 Установка программы LabVIEW на персональном компьютере	78
1.4 Описание работы системы.....	81
1.5 Конструирование корпуса прибора, исходя из применения в нормальных климатических условиях	81
1.5.1 Оценка технологичности корпуса как детали	83
2. Вопросы технологии	85
2.1 Сборка прибора. Краткое описание маршрута сборки	85
2.2 Разработка установки для калибровки системы ориентации	87
2.2.1 Обоснование выбора базовой конструкции для установки	87

2.2.2 Система управления двигателем установки	88
2.2.3 Изготовление и настройка установки	89
Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	91
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	91
1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	91
1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	92
1.3. FAST-анализ	93
1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	96
1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	98
2. Инициация проекта	98
2.1. Цели и результат проекта	98
2.2. Организационная структура проекта	99
2.3. Ограничения и допущения проекта.....	99
3 . Планирование управления научно-техническим проектом.....	100
3.1. Иерархическая структура работ проекта	100
3.2. Контрольные события проекта.....	100
3.3. План проекта	101
3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	102
3.5. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	106
4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	108
Глава 4: Социальная ответственность.....	111
1. Производственная безопасность	111
1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований	112
1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	114
2. Экологическая безопасность	116

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	116
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	118
Заключение	119
Список публикации.....	121
Список литературы	123
Приложение.....	127

Введение

В автоматической промышленной, космической области или военной технике навигационные системы (НС) активно развиваются и применяются для решения задачи ориентации и навигации подвижных объектов. На сегодняшний день навигационные системы улучшены и начали использоваться в индивидуальной навигации человека. Потенциальными пользователями устройств индивидуальной навигации являются, как сотрудники компании, служб спасения, скорой помощи, полиции, так и обычные люди. НС позволяют пользователям определять свое местонахождение на земле, в пространстве и пройденный путь, который нужно совершить. Примером навигационной системы является система глобального позиционирования или спутниковая система навигации. Однако спутниковые системы не могут решать всю задачу навигации, поскольку они не обеспечивают информацию о навигации в помещениях внутри здания и условиях плотной застройки города. Чтобы решить задачу индивидуальной навигации человека, необходимо применить новые методы, которые либо не используют, либо используют информацию позиционирования от спутников как вспомогательный сигнал. Методов существует много: Навигация по Wi-Fi; геомагнитное позиционирование; ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи; использование Bluetooth-маячков Beacon; навигация, основанная на синергетическом эффекте, метод определения позиции и ориентации с лазерным сканером...

В настоящей работе приводится обзор современных методов и средств индивидуальной навигации и их сравнительный анализ. Из обзора выберем лучший вариант для исследования и разработки.

Глава 1. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы для навигации внутри помещения

1. Аналитический обзор существующих методов автономной навигации[1]

1.1. Навигация по Wi-Fi

На сегодняшний день термин Wi-Fi стал известным любому жителю. Во многих больших городах Wi-Fi покрыто большинство мест. Оно не только позволяет пользователям мобильного устройства получить доступ к интернету, но и по сигналам Wi-Fi можно определить место нахождения человека. Предполагается, что координаты точек доступа к Wi-Fi пользователей известны с некоторой точностью и хранятся в сформированной базе данных. При работе устройство пользователя сканирует доступные Wi-Fi-точки доступа, затем информацию о них отправляет на сервер, где эти данные по базе данных сопоставляются с координатами этих точек доступа, по которым и вычисляются координаты пользователя. Метод использует беспроводные сети Wi-Fi - это самый наименее затратный вариант. Однако у этого метода имеется ограничение: координаты Wi-Fi точек точно не известны, плюсы могут меняться при перенесении Wi-Fi точек в другое место или замещении её на другую, тогда координаты уже оказываются неверными. Для определения местоположения устройства вынуждены отправлять запросы через интернет на сервер. В запросах содержатся MAC адреса точек доступа и мощности принимаемых сигналов. На сервере будет расчет координат пользователя. Но в запросе могут прийти ранее неизвестные MAC адреса и так рассчитанные координаты могут не являться координатами наблюдающегося устройства.

1.2. Геомагнитное позиционирование

Геомагнитное позиционирование является методом определения навигации, созданным командой учёных из финского университета Оулу. Сущность метода заключается в ориентировании по магнитному полю Земли (рис.1.2). Учёные используют явление геомагнитных аномалий или

неоднородности геомагнитного поля для геомагнитного позиционирования. Чтобы определить координаты необходимо фиксировать геомагнитные аномалии на каждой точке и нанесении их на карту территории, на которой предполагается ориентироваться. При навигации устройство, в котором составлена карта и встроен магнитометр, определяет изменение магнитного поля на разных точках и рассчитывает координаты нахождения человека. Метод имеет большой недостаток: высокая сложность реализации, небольшая точность. Для наблюдения неоднородности магнитного поля устройство снабжено магнитометром. А в помещениях находится много других металлических устройств, которые изменяют магнитное поле. Из-за этого появляется неточность измерения магнитометра, что вызывает ошибку в определении навигации.

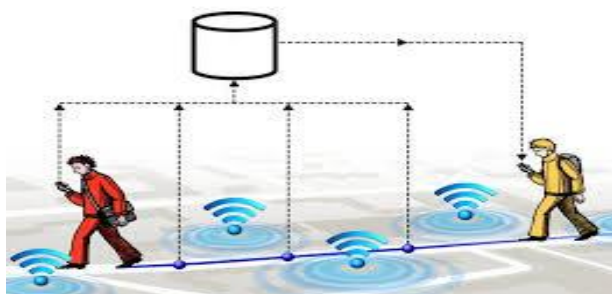


Рисунок 1.1- Навигация по Wi-Fi



Рисунок 1.2 - Навигация по геомагнитному позиционированию

1.3. Системы спутниковой навигации и инерциальные навигационные системы

Этот метод применяется для решения проблемы, когда недоступен сигнал систем спутниковой навигации. Например, проезд по тоннелю, при въезде в тоннель сигнал от спутника теряется, тогда необходимо использовать инерциальную навигационную систему (ИНС) на базе акселерометра, гироскопа, магнитометра. ИНС использует в качестве начальных условий последние актуальные данные с GPS/Глонасс до потери связи со спутником и поддерживает их актуальность на основе получаемых с датчиков данных о текущей скорости/ускорении/направлении движения, до возобновления связи со спутниками. Стоит принимать во внимание, что в ИНС ошибки постоянно накапливаются, и со временем данные, полученные с ИНС, становятся все более и более отличными от действительности.

1.4. Ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи (GSM)

В зоне видимости сотового телефона постоянно находятся несколько базовых станций операторов сотовой связи (GSM). Координаты расположения этих базовых станций определены. По GSM навигатор получает информацию о положении видимых телефонов и определяет свое примерное местоположение. Это метод обладает ограничением. Точность значительно ниже: от десятков метров до нескольких километров в малонаселенных районах, где базовые станции расположены далеко друг от друга.

Все приведённые выше методы обладают своими преимуществами и недостатками. С целью исследования работы акселерометра, гироскопа и магнитометра в этой работе будет разработана микромеханическая бесплатформенная навигационная система (БИНС) и создан алгоритм для решения задачи ориентации и навигации наземного транспортного объекта. БИНС на базе гироскопа, акселерометра и магнитометра существуют разнообразные типы. В

связи с точностью измерения БИНС различают системы низкой точности (угол ухода до 50 °/час), системы средней точности (угол ухода до 20 °/час) и системы высокой точности (угол ухода до 0.2 °/час/cos(широта)). В разделе 1.5 будем рассматривать обзор БИНС компании Гиrolаб и делать выбор разработанной конструкции для этой работы .

1.5. Обзор бесплатформенных навигационных систем

Компания «Гиrolаб» (г. Пермь) является специализированным предприятием по разработке и производству бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС). БИНС «Гиrolаб» построены на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС) и волоконно-оптических гироскопов (ВОГ), применяемые для решения широкого круга задач ориентации, навигации и стабилизации [2].

1.5.1. Системы низкой точности

Бесплатформенные системы ориентации и навигации построены на основе микромеханических акселерометров и гироскопов. С целью улучшения характеристик, изделие имеет возможность комплексования с одометром и приемником спутниковых навигационных сигналов GPS/GLONASS. Ряд изделий систем низкой точности различаются по варианту корпуса: брызгозащищенный корпус или OEM, изготавливающийся в бескорпусном варианте. На примере приведены названия некоторых систем: GL-SVG-02/1 , GL-SVG-02/2 , GL-SVG-02/3-1 , GL-SVG-02/3-2.

1.5.2. Системы средней точности

Бесплатформенные системы ориентации и навигации средней точности, построены с использованием микромеханических акселерометров и волоконно-оптических гироскопов с разомкнутым контуром. Для улучшения характеристик, изделие оснащено одометром и приемником спутниковых

навигационных сигналов GPS/GLONASS. На примере приведены названия некоторых систем: GL-SVG-03/1, GL-SVG-03/2.

1.5.3. Системы высокой точности

Бесплатформенные системы ориентации и навигации высокой точности построены на основе высокоточных акселерометров и волоконно-оптических гироскопов с замкнутым контуром. Изделие так же оснащено одомером и приемником спутниковых навигационных сигналов GPS/GLONASS для улучшения характеристик. На примере приведены названия некоторых систем: «БИНС 500», «БИНС 501», «БИНС 1000». Для сравнения всех технических характеристик трёх типа системы обратим внимание на таблицы 1.1, 1.2 и 1.3.

Таблица 1.1- Основные параметры ориентации и навигации системы низкой точности

Фото		
Параметры ориентации / навигации		
Курс (σ), °	<i>Не определяет</i>	<i>Не определяет</i>
Угол рыскания, уход (σ), ° / час	50	50
Крен, Тангаж (σ), °	0.4 (наличие одометра или СНС) 1.0 (отсутствие одометра и СНС)	0.4 (наличие одометра или СНС) 1.0 (отсутствие одометра и СНС)
Точность счисления пройденного пути (σ) (требуется одомер и приемник СНС)	3 % (от пройденного пути в течении 10 минут после потери данных от СНС)	3 % (от пройденного пути в течении 10 минут после потери данных от СНС)
Диапазон измерения: крен, тангаж, °	$\pm 90 / \pm 180$	$\pm 90 / \pm 180$
Диапазон измерения: угол рыскания, °	0...360	0...360

Таблица 1.2- Основные параметры ориентации и навигации системы средней точности

Параметры ориентации / навигации			
Курс (σ), °		Не определяет	Не определяет
Угол рыскания, уход (σ), ° / час		10	10
Крен, Тангаж (σ), °		0.2 (наличие одометра или СНС) 0.9 (отсутствие одометра и СНС)	0.2 (наличие одометра или СНС) 0.9 (отсутствие одометра и СНС)
Точность счисления пройденного пути (σ) (требуется одометр и приемник СНС)		2 % (от пройденного пути в течении 10 минут после потери данных от СНС)	2 % (от пройденного пути в течении 10 минут после потери данных от СНС)
Диапазон измерения: крен, тангаж, °		$\pm 90 / \pm 180$	$\pm 90 / \pm 180$
Диапазон измерения: угол рыскания, °		0...360	0...360

№ п/п	ТИП	Основные отличия	Цена от 1 шт. \$, с НДС	Цена от 10 шт. \$, с НДС	Цена от 50 шт. \$, с НДС	Цена от 100 шт. \$, с НДС
2. БИНС на базе ДУС по технологии ВОГ с разомкнутым контуром						
1	SVG-03/1	Минимальные массо-габаритные параметры	12 000,00	11 200,00	10 500,00	9 900,00
2	SVG-03/2	Увеличенные на 50% массо-габаритные параметры	9 200,00	8 400,00	7 700,00	7 100,00

Таблица 1.3- Основные параметры ориентации и навигации системы высокой точности

Фото			
	БИНС 500	БИНС 501	БИНС 1000
Параметры ориентации / навигации			
Курс (σ), °		0.2 / $\cos(\text{широты})$	0.12 / $\cos(\text{широты})$
Крен, Тангаж (σ), °		0.06° (наличие одометра или СНС) 0.1° (отсутствие одометра и СНС)	0.04° (наличие одометра или СНС) 0.06° (отсутствие одометра и СНС)
Relative coordinate accuracy (RMS) (требуется одометр)		0.2 % (от пройденного пути)	0.10 % (от пройденного пути)
Диапазон измерения: крен, тангаж, °		$\pm 90 / \pm 180$	$\pm 90 / \pm 180$
Диапазон измерения: угол рыскания, °		0...360	0...360

Глава 2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе исследуются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) , построенные на основе микромеханических акселерометра, гироскопа и магнитометра. БИНС используются для определения параметры ориентации и навигации объекта в пространстве. Для выполнения анализа потребителей БИНС был рассмотрен целевой рынок и проведено их сегментирование.

Сегментировать рынок услуг по разработке БИНС можно по следующим критериям: месторасположение, конкурентоспособность продукты (таблица 1).

Таблица 1- Карта сегментирования рынка услуг по разработке уровнемеров

Месторасположение	Конкурентоспособность продукты		
			точность
			стоимость
Месторасположение	Крупные (производство, предприятия...)	A, D	B
	Средние (магазин, университет...)	A,D	B
	Мелкие (жители, ...)	C	B, C

A. Компания «Геокосмос»

B. Компания " РосЛаб ";

C. ЗАО «КБ НАВИС» ;

D. ООО "Глобал НТВ";

В приведенной карте сегментирования показано, что Компания Компания " РосЛаб " занимает сегмент рынка, привлекательный для предприятия в будущем.

1.2. Анализ конкурентных технических решений

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) (БИНС 500; GL-SVG-03/1; GL-SVG-02/1):

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _Б	Б _{G1}	Б _{G2}	Б _Б	Б _{G1}	Б _{G2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
3. Надежность	0,18	5	5	4	0,9	0,9	0,72
4. Простота эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	4	5	0,28	0,28	0,35
3. Цена	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	5	5	0,7	0,7	0,7
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
6. Финансирование научной разработки	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	1	60	53	48	4,65	4,21	3,75

1.3. FAST-анализ

- *Выбор объекта FAST-анализа*

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает инерциальный измерительный модуль БИНС.

- *Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом*

Главная функция инерциального измерительного модуля БИНС состоит в определении параметров ориентации и навигации объекта в пространстве. В инерциальном измерительном модуле находятся акселерометр, гироскоп, магнитометр и модуль радиопередачи. Акселерометр позволяет определить ускорение объекта, а гироскоп угловую скорость. Магнитометра используется для определения отклонение направления движения объекта от направления севера. Сигнал от акселерометра, гироскопа и магнитометра передан к модули приема с помощью модуля радиопередачи.

Для облегчения процесса выделения и классификации функций инерциального измерительного модуля БИНС была построена таблица 3.

Таблица. 3- Функции инерциального измерительного модуля БИНС

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Акселерометр	1	Измерение ускорения	X		
Гироскоп	1	Измерение угловой скорости	X		
Магнитометр	1	Определение отклонение направления движения объекта от направления севера	X		
Модуль радиопередачи	1	Передача данных, беспроводная связь		X	
Плата с микроконтроллером	1	Обработка данных		X	
Корпус	1	Соединение			X

- *Определение значимости выполняемых функций объектом (табл. 4).*

Таблица. 4- Матрица смежности функции

	Акселерометр	Гироскоп	Магнитометр	Модуль радиопередачи	Плата с микроконтроллером	Корпус
Акселерометр	=	=	=	>	>	>
Гироскоп	=	=	=	>	>	>
Магнитометр	=	=	=	>	>	>
Модуль радиопередачи	<	<	<	=	<	>
Плата с микроконтроллером	<	<	<	>	=	>
Корпус	<	<	<	<	<	=

Преобразование матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций (табл. 5).

Таблица.5- Преобразование матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций

	Акселерометр	Гироскоп	Магнитометр	Модуль радиопередачи	Плата с микроконтроллером	Корпус	Итого
Акселерометр	1	1	1	1.5	1.5	1.5	7.5
Гироскоп	1	1	1	1.5	1.5	1.5	7.5
Магнитометр	1	1	1	1.5	1.5	1.5	7.5
Модуль радиопередачи	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1.5	4.5
Плата с микроконтроллером	0.5	0.5	0.5	1.5	1	1.5	5.5
Корпус	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	3.5
Σ							36

Так, для акселерометра относительная значимость равна $7.5/36 = 0,208$; для гироскопа – $7.5/36 = 0,208$; для магнитометра – $0,208$; для модуля радиопередачи – $0,125$; для платы с микроконтроллером – $0,153$ и для корпуса – $0,098$.

- *Анализ стоимости функций, выполняемых объектом*

Таблица 6- Анализ стоимости функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Кол. деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Акселерометр	1	Измерение ускорения	-	1	200	-	200
Гироскоп	1	Измерение угловой скорости	-	1	250	-	250
Магнитометр	1	Определение отклонение направления движения объекта от направления севера	-	1	170	-	170
Модуль радиопередачи	1	Передача данных, беспроводная связь	-	4	350	-	350
Плата с микроконтроллером	1	Обработка данных	-	2	300	-	300
Корпус	1	Соединение		7	100	400	500

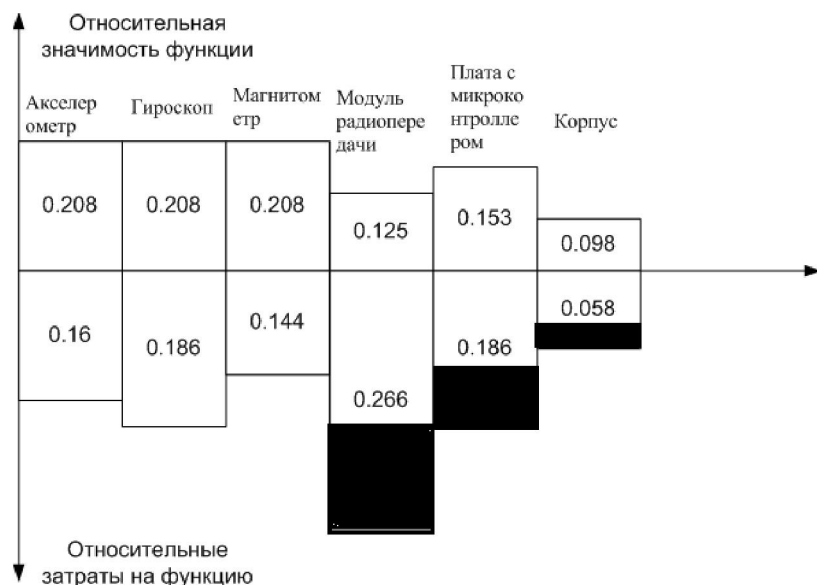
- Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ



- Оптимизация функций выполняемых объектом

При рассматривании продукции различных компаний конструкция БИНС была оптимально выбрана с целью исследования микроэлектромеханических акселерометра, гироскопа и магнитометра. В результате FAST-анализа видно, что

можно уменьшить затрат разработки и повышение качество БИНС путем улучшения конструкции и уменьшения трудоемкости модуля радиопередачи, также платы с микроконтроллером и корпуса.



где  -сокращение затрат

1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 7 - Оценка готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	4
2	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	2
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	5

7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
12	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	41	42

И так видно, что оценка готовности научного проекта к коммерциализации принадлежит диапазону от 20 до 44 – то перспективность средняя. Для улучшения оценки готовности научного проекта к коммерциализации необходимо выбрать лучшие пути продвижения научной разработки на рынок и улучшить его качество работы .

1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Как сказал выше, для улучшения оценки готовности научного проекта к коммерциализации необходимо выбрать лучшие пути продвижения научной разработки на рынок. И для этого, в этом разделе будем выбрать метод коммерциализации.

Выбранным методом коммерциализации является торговля патентными лицензиями. т.е. передача третьим лицам права использования объектов

интеллектуальной собственности на лицензионной основе. Поскольку проект создан не компаниями, а студентами, поэтому уверенность в продукции покупателей на рынке не высокая. При этом нужна помощь третьего лица , которое имеет престиж на рынке.

2. Инициация проекта

2.1. Цели и результат проекта

В таблице 8 представляется информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 8- Цели и результат проекта

Цели проекта	Исследование и разработка БИНС
Ожидаемые результаты проекта	Разработанная БИНС на основе МЭМС датчиков
Критерии приемки результата проекта	
Требования к результату проекта	Гироскоп с диапазоном измерения до 250 град/с
	Акселерометр с диапазоном измерения $\pm 2g$
	Дистанция передачи до 100 метров
	Погрешность не выше 5%

2.2. Организационная структура проекта

Таблица 9- Организационная структура проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Нестеренко Т.Г., к.т.н, доцент кафедрой ТПС	Руководитель магистерской диссертации	Отвечает за реализацию проекта	240
2	Ло Ван Хао, магистр кафедры ТПС	Исполнитель проекта	Выполняет проект	960

2.3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 10 - Ограничения и допущения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	
Источник финансирования	
Сроки проекта	6 месяцев
Дата утверждения плана управления проектом	01.01.2016
Дата завершения проекта	01.06.2016
Прочие ограничения и допущения*	

3 . Планирование управления научно-техническим проектом

3.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта БИНС.



Рисунок 3.1 - Иерархическая структура работ по проекту БИНС

3.2. Контрольные события проекта

Таблица 11- Контрольные события проекта

Название работы	Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение технического задания	Рук.	-	0	8	0	2
Подбор и изучение материалов по теме		Студент	0	8	0	20
Выбор направления исследований	Рук.	Студент	8	8	1	1
Календарное планирование работ по теме	Рук.	Студент	8	8	4	4
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Рук.	Студент	8	8	1	19
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Рук.	Студент	8	8	1	10
Расчет принципиальной схемы устройства	Рук.	Студент	8	8	1	18
Выбор и расчет конструкции	Рук.	Студент	8	8	1	10
Оценка технологии конструкции и эффективности производства	Рук.	Студент	8	8	4	4
Технологическая операционная карта	Рук.	Студент	8	8	1	24

3.3. План проекта

На основе табл. 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 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 НИОКР по теме

Вид работ	Исполнитель	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
			Январ.		Февр			март			апрель			май		
			10	20	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	
Составление и утверждение технического задания	Рук.	2														
Подбор и изучение материалов по теме	Студент	20														
Выбор направления исследований	Рук. и Студент	1														
Календарное планирование работ по теме	Рук. и Студент	4														
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Рук. и Студент	1/19														
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Рук. и Студент	1/10														
Расчет принципиальной схемы устройства	Рук. и Студент	1/18														
Выбор и расчет конструкции	Рук. и Студент	1/10														
Оценка технологии и конструкции и эффективности производства	Рук. и Студент	4														
Технологическая операционная карта	Рук. и Студент	1/24														



- Руководитель



- Студент

3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
 - затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
 - основная заработная плата исполнителей темы;
 - дополнительная заработная плата исполнителей темы;
 - отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
 - затраты научные и производственные командировки;
 - контрагентные расходы;
 - накладные расходы.
- *Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты*

Таблицу 13 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Акселерометр	Шт	1	200	200
Гироскоп	Шт	1	250	250
Магнитометр	Шт	1	170	170
Модуль радиопередачи	Шт	1	350	350
Плата с микроконтроллером	Шт	1	300	300
Корпус	Шт	1	500	500
Всего за материалы				1770
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				46.8
Итого				1816.8

- *Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ*

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

Таблица 14 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Компьютер	1	40	40
2	Тестер	1	1	1
3	Клеевой пистолет	1	0.2	0,2
4	паяльник	1	0.5	0.5
Всего за специальное оборудование				40170
Монтажу в размере 15% от его цены				6025.5
Итого:				46195.5

- *Основная заработная плата исполнителей темы*

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

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату: $C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

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

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 15- Баланс рабочего времени

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

Таблица 16 - Заработная плата

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб · дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель			23264.86	0.3	0.3	1.3	48390.91	2060,75	16	32972
Студент			6342.03			1.3	8244.639	239.94	108	25902.72
Итого $Z_{осн}$										58874.72

3.5. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

Таблица 17 - Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Исп.
Основная зарплата	58874.72
Дополнительная зарплата	8831.208
Итого по статье $C_{зп}$	67705.92

- *Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)*

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

$$= 0.271 \cdot (67705.92) = 18348.306$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

- *Расчет затрат на научные и производственные командировки*

В процессе изготовления установки не необходимо командировки, поэтому затрат на научные и производственные командировки равен нулю.

- *Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями*

В нашем проекте не больше другие участвуют, поэтому контрагентные расходы не прочитать.

- *Накладные расходы*

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

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

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 80-100%.

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}} = 0.8 \cdot (67705.92) = 54164.74$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл.18.

Таблица 18 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	1816.8
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	46195.5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	58874.72
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8831.208
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18348.306
6. Затраты на научные и производственные командировки	0
7. Контрагентские расходы	0
8. Накладные расходы	54164.74

4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

В работе задача выполняется по заданному требованию и не был рассмотрен другой вариант разработки объекта исследования, поэтому не можем сравнить и сделать вывод о эффективности варианта решения с позиции

финансовой и ресурсной эффективности. Для ознакомления с методом определения ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования были проведены расчеты всех коэффициентов разработки.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{54164.74}{54164.74} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 21).

Таблица 21: Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,15	4
5. Надежность	0,25	5
6. Материалоемкость	0,05	4
ИТОГО	1	4,8

$$I_{p-исп1} = 5*0,25 + 5*0,15 + 5*0,15 + 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,05 = 4,8;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{исп.1}^{финр}} = \frac{4.8}{1} = 4.8$$

Список публикации

1. Управление вентильного двигателя/ сборник научных трудов Форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение» / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд -во Томского политехнического университета, 2013. – 339 с-[С. 93-95].

2. Реактивные микродвигатели для нано- и пикоспутников/ сборник научных трудов II Все-российского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение» / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского по-литехнического университета, 2014. – 376 с-[С. 94-97].

3. Обработка выходного сигнала микроэлектромеханического гироскопа/ Космическое приборостроение : сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 413 с-[С. 113-116]

4. Design of MEMS Vibratory Gyroscopes/ Космическое приборостроение : сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 413 с-[С. 335-338]

5. Калибровка МЭМС датчиков инерциальных навигационных систем/ сборник научных трудов IX Всероссийская научная конференция молодых ученых «НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ», 01 – 05 декабря 2015 года, г. Новосибирск. / Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). — Новосибирск: Изд- во НГТУ, 2015. - Часть 1, [С. 31-34].

6. Виртуальный прибор для обработки информации микроэлектромеханических датчиков/ VIII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» - 2016
<http://www.scienceforum.ru/2016/pdf/27293.pdf>

7. Определение параметров ориентации на основе МЭМС акселерометра и магнетометра/ сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – Том 1- [С.139-143].-
<http://portal.tpu.ru/files/conferences/tomskspace/proceedings/2016/vol1.pdf>