

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электронный компас

УДК 528.526.1-523.8:681.586

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A51	Склюев Андрей Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов А. А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ	Креницына З. В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Панин В. Ф.	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ В.С. Иванова
 (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
1А51	Склюев Андрей Михайлович

Тема работы:

Электронный компас	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№9850/с от 07.11.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом разработки является электронный компас.</p> <p>Областью применения прибора является:</p> <p>1. Системы ориентирования на местности.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>– Аналитический обзор литературы с целью изучения магнитного поля Земли, методов определения азимута и калибровки электронного компаса.</p> <p>– Построение структурной схемы устройства.</p> <p>– Построение принципиальной схемы устройства.</p> <p>– Разработка программы для микроконтроллера.</p> <p>– Сборка и тестирование макета электронного компаса.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>– Принципиальная схема устройства.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Креницына З. В.
Социальная ответственность	Панин В. Ф.

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов А. А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А51	Скляев Андрей Михайлович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.05.2019	<i>Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</i>	15
16.05.2019	<i>Социальная ответственность</i>	10
23.05.2019	<i>Основная часть</i>	75

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов А. А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
Р2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
Р3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
Р4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
Р5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	

P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Реферат

Выпускная квалификационная работа 106 с., 35 рис., 20 табл., 50 источников, 7 прил.

Ключевые слова: электронный компас, определение азимута, микроконтроллер STM32.

Объектом исследования является электронный компас.

Цель работы – разработать электронный компас, способный определять азимут при отклонениях от горизонтальной плоскости.

Задачи:

- 1) Изучить методы определения направления на магнитный полюс Земли.
- 2) Разработать алгоритм калибровки электронного компаса.
- 3) Разработать алгоритм компенсации наклона электронного компаса.
- 4) Создать структурную и принципиальную схему устройства.
- 5) Разработать программное обеспечение для связи электронного компаса с компьютером.
- 6) Создать макет электронного компаса и оценить правильность теоретических заключений.

В процессе исследования проводились: обзор литературы, проектирование структурной и принципиальной схемы, организация связи между устройством и компьютером, создание макета устройства, исследование работы макета электронного компаса, расчет себестоимости и эффективности проекта.

В результате исследования получен прототип электронного компаса.

Степень внедрения: низкая.

Область применения: Системы ориентирования на местности.

Экономическая эффективность/значимость работы: проект обладает средней экономической эффективностью.

В будущем планируется повысить эргономичность устройства и уменьшить его размеры.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1 Теоретическая часть	13
1.1 Магнитное поле Земли.....	13
1.2 Калибровка электронного компаса.....	15
1.3 Нахождение азимута	20
Глава 2 Выбор структурной схемы устройства.....	28
Глава 3 Выбор и обоснование принципиальной схемы.....	30
3.1 Выбор датчика.....	30
3.2 Выбор микроконтроллера.....	33
3.3 Сдвиговые регистры.....	35
3.4 Подключение модуля датчиков к микроконтроллеру	37
3.5 Настройка модуля датчиков	38
3.6 Преобразователь интерфейсов.....	39
3.7 Интерфейс связи микроконтроллера и компьютера	41
3.8 Кнопка начала калибровки.....	45
Глава 4 Экспериментальная часть.....	46
Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	54
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
5.1.2 SWOT-анализ.....	56
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	61
5.2.1 Структура работ в рамках проекта.....	61
5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	62

5.3 Бюджет научно-технического исследования	65
5.3.1 Расчет материальных затрат	65
5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	67
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей.....	69
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	69
5.3.6 Накладные расходы.....	70
5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	70
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
Глава 6 Социальная ответственность.....	75
Введение.....	77
6.1 Производственная безопасность.....	78
6.2 Экологическая безопасность.....	81
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	83
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	83
6.4.2 Рабочие мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	85
Заключение.....	86
Список используемых источников.....	87
Приложение А Принципиальная схема устройства.....	92
Приложение Б Перечень элементов.....	93
Приложение В Карта регистров модуля MPU-9250.....	94
Приложение Г Алгоритм программы компьютера.....	95
Приложение Д Календарный план проведения НИОКР.....	96

Приложение Е Код программы компьютера.....	98
Приложение Ж Код программы микроконтроллера.....	100

Введение

Целью выпускной квалификационной работы является создание электронного компаса. Компас — это навигационный прибор, который предназначен для определения сторон света на местности и измерения азимутов на различные объекты, прокладывания маршрута по карте и определения направления для последующего движения.

Как и в прошлые периоды истории, так и в современном мире, одним из важных вопросов остаётся вопрос навигации. Раньше основным видом устройств, указывающих направление на север, был механический компас с магнитной стрелкой. Но наука не стоит на месте, уже созданы электронные датчики определения напряжённости магнитного поля, которые в основном используют магниторезистивный эффект. Также существуют устройства определения северного магнитного полюса на основе GPS, но они могут применяться лишь тогда, когда устройство перемещается на расстояния от нескольких десятков метров.

В механических компасах с магнитной стрелкой и электронных компасах существует проблема с правильным определением азимута при отклонениях устройства от горизонтальной плоскости. В данной работе будет предложен специально разработанный метод компенсации наклона электронного компаса для правильного определения азимута. Для измерения магнитного поля будет использован датчик магнитного поля – магнитометр. При отсутствии внешних магнитных помех и при отсутствии наклона электронного компаса относительно горизонтальной плоскости измерений данного датчика будет достаточно для правильного определения азимута. Но когда присутствует влияние этих дестабилизирующих факторов, то необходимо применять специальные методы для их нивелирования. В данной Выпускной квалификационной работе будут предложены методы компенсации данных факторов для правильной работы электронного компаса.

Ядром электронного компаса станет микроконтроллер – микросхема, сочетающая в себе процессор, встроенную память и периферию. Возможности и цена микроконтроллеров позволяют им заменить практически все цифровые микросхемы, предназначенные для управления электроникой [1].

Для отображения информации о направлении на магнитный полюс будет использован светодиоды, расположенные по кругу, в зависимости от азимута будет загораться один из светодиодов. Использование светодиодов будет являться несомненным достоинством электронного компаса, так как в таком случае использовать данное устройство будет можно в любое время суток.

Электронные компасы получили основное применение в сфере туризма и ориентирования на местности.

Глава 1 Теоретическая часть

1.1 Магнитное поле Земли

Земля – это гигантский магнит, около которого возникает магнитное поле. Оно окружает нашу планету с самого момента ее появления и значительно влияет на живые организмы, находящиеся на ней, а также на природные явления. Положение магнитных и географических полюсов Земли не совпадает друг с другом. Но неподалеку от Северного географического полюса Земли расположен Южный магнитный полюс (рисунок 1) [2].

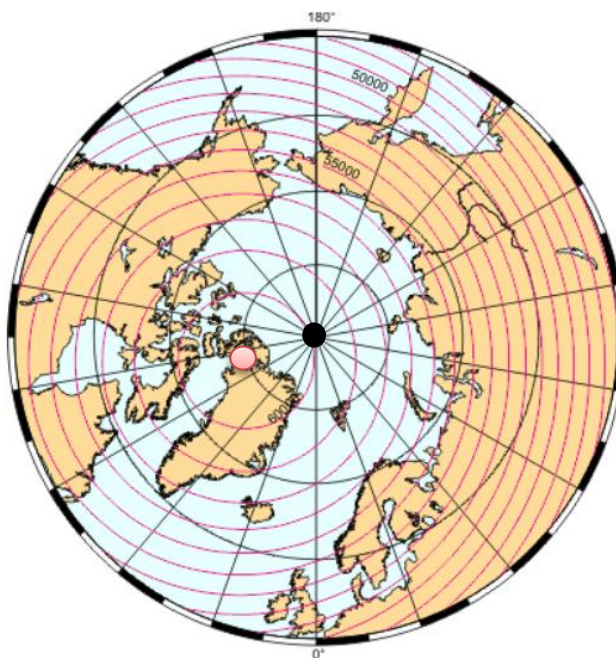


Рисунок 1 – Расположение Южного магнитного полюса Земли, где

● – местоположение Южного магнитного полюса,

● – местоположение Северного географического полюса [2]

Силовые линии, соединяющие два магнитных полюса, называются магнитными меридианами. Ось магнитного поля наклонена под углом в 12 градусов к оси вращения (рисунок 2) [3].

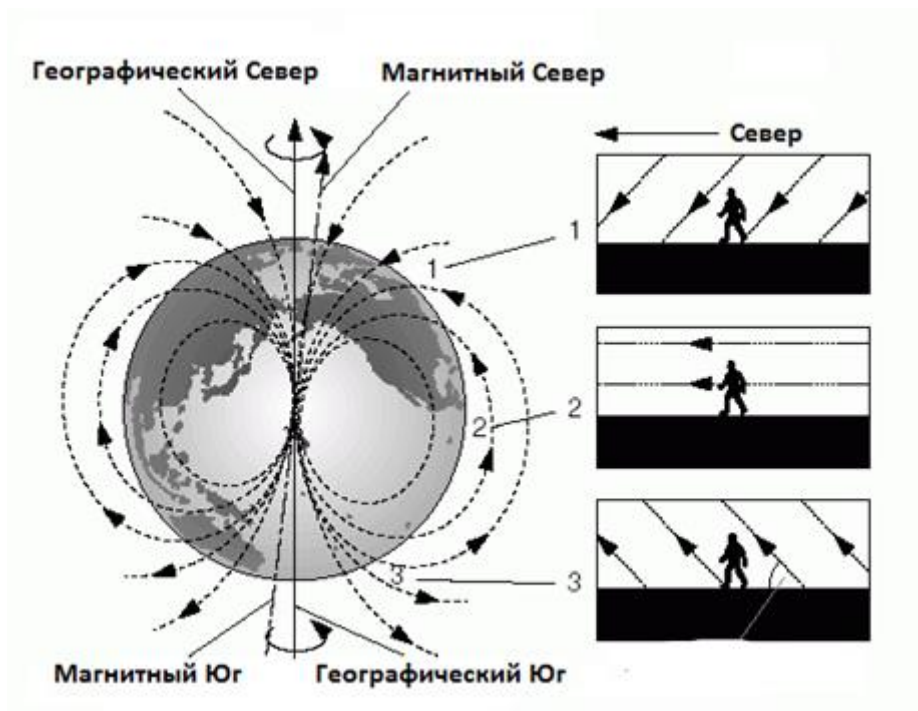


Рисунок 2 – Магнитное поле Земли [3]

Еще задолго до нашей эры люди нашли применение магнитным свойствам. Самым первым изобретением был компас – простейший навигационный прибор. Магнитное поле Земли значительно варьируется во времени и пространстве. На широте 50° магнитная индукция в среднем составляет $5 \cdot 10^{-5}$ Тл, а на экваторе (широта 0°) — $3,1 \cdot 10^{-5}$ Тл [4].

Магнитное поле является векторным, поэтому его интенсивность характеризуется не только напряженностью F , но и положением в пространстве. Для измерения земного магнитного поля в любой точке, необходимо измерить направление и напряжённость поля. Параметры (рисунок 3), описывающие направление магнитного поля – это склонение D и наклонение I , измеряемые в градусах.

Для разложения вектора F на составляющие обычно принимают прямоугольную систему координат, в которой ось X ориентируют по направлению географического меридиана, Y – по направлению параллели, а ось Z в таком случае будет направлена сверху вниз к центру Земли. Проекция вектора напряженности на ось X носит название северной составляющей,

проекция на ось Y – восточной составляющей и проекция на ось Z – вертикальной составляющей, и обозначаются как H_X , H_Y , H_Z соответственно. Проекцию F на горизонтальную плоскость называют горизонтальной составляющей H . Вертикальная плоскость, в которой лежит вектор F , называется плоскостью магнитного меридиана, а угол между географическим и магнитным меридианами – магнитным склонением, которое обозначается через D . Наконец, угол между горизонтальной плоскостью и направлением вектора F носит название магнитного наклонения [5].

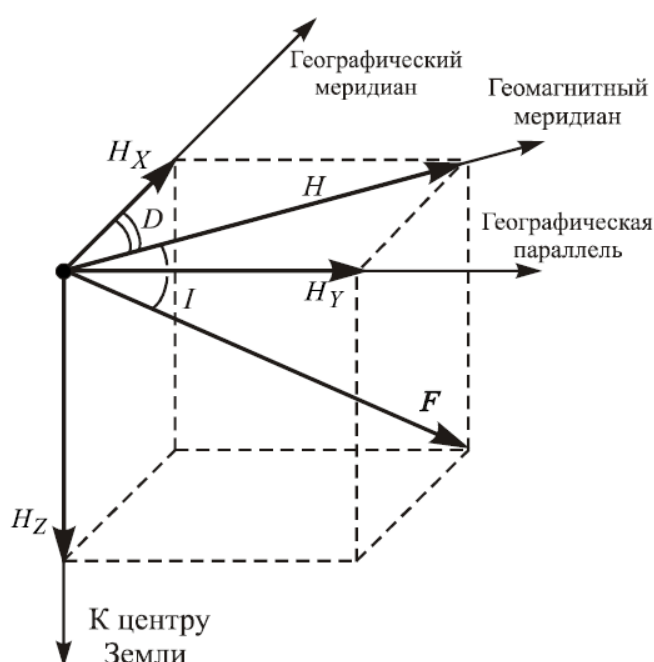


Рисунок 3 – Векторы магнитного поля Земли [5]

Магнитное склонение D не одинаково в различных точках земного шара. Ниже представлена карта изогонов магнитного поля Земли на 2005 г (рисунок 4). Изогоны – это линии, связывающие точки с одинаковым магнитным склонением.

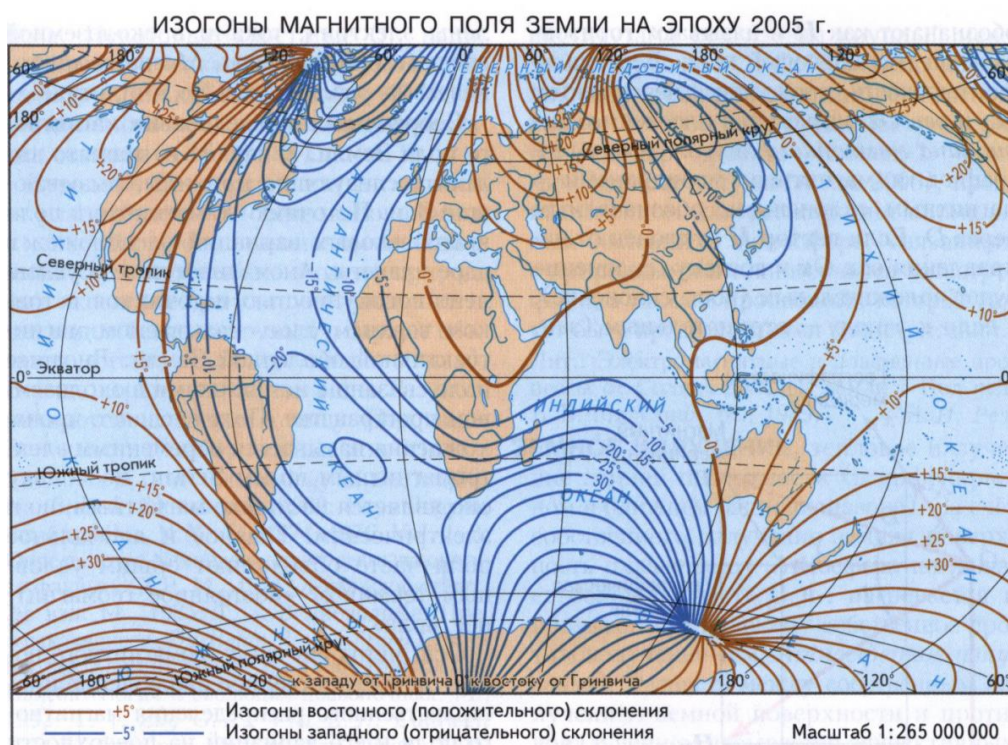


Рисунок 4 – Изогоны магнитного поля Земли по состоянию на 2005 г [6]

На специальном электронном ресурсе [6] можно узнать значение магнитного склонения в любой точке Земли с нынешней даты до 1900 года, для г. Томск в 2019 году значение магнитного склонения равно $8^{\circ} 20,70'$.

1.2 Калибровка электронного компаса

Для получения истинного значения азимута необходимо реализовать компенсацию влияния внешних факторов. Данные факторы делятся на 2 категории [7]:

1. Искажение Hard Iron – аддитивное искажение, которое влияет на постоянную составляющую магнитного поля. Источником данных искажений могут являться постоянные магниты, проводники постоянного тока. Создаваемое ими магнитное поле, которое измеряется датчиком, будет постоянным при постоянстве положения магнита или проводника относительно датчика.

Для визуализации искажений Hard Iron было проведено измерение горизонтальной составляющей магнитного поля (измерения по осям X и Y) при повороте магнитометра на 360° вокруг вертикальной оси. Данные загружены в программу MathCad и построен график (рисунок 5).

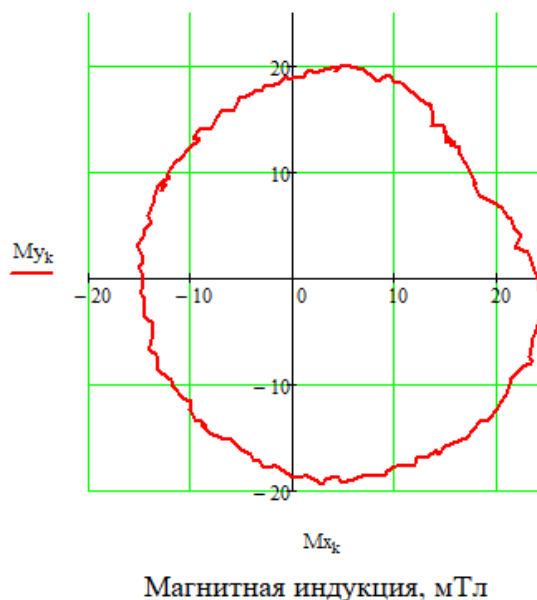


Рисунок 5 – Диаграмма напряжённости магнитного поля Земли в горизонтальной плоскости [7]

Видно, что центр окружности смещён относительно начала координат. Причиной данного явления являются искажения Hard Iron.

Если происходит измерения магнитной индукции по трём осям (для решения задачи определения азимута при отклонении от горизонтальной плоскости существует необходимость измерения по осям X, Y, Z), то график значений магнитной индукции при поворотах датчика на все возможные углы по этим трём осям будет выглядеть согласно рисунку 6 [8].

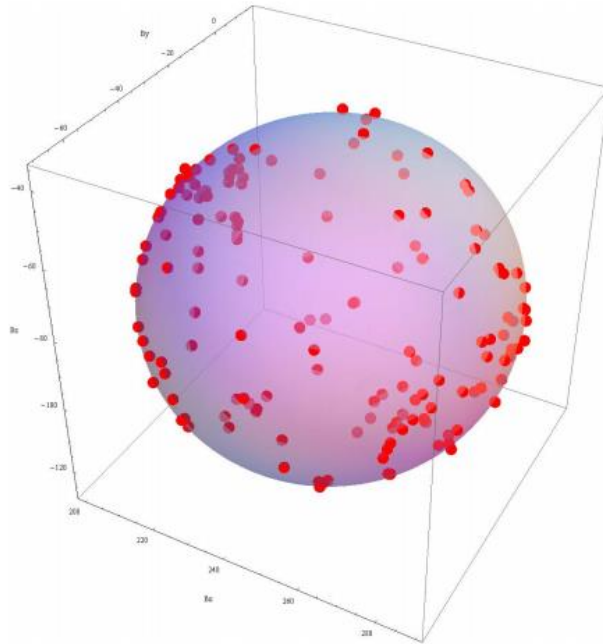


Рисунок 6 – Диаграмма значений напряжённости магнитного поля Земли в трёхмерном пространстве [8]

На рисунке 6 точки – это результаты измерений магнитной индукции. По данным точкам можно визуально построить сферу. Видно, что в данном случае центр сферы сдвинут относительно начала координат.

В данной работе предлагается следующая реализация калибровки искажений Hard Iron:

- 1) с помощью нажатия кнопки начать процесс калибровки;
- 2) представить перед собой сферу и спиралевидно описать воображаемую сферу в пространстве (рисунок 7).

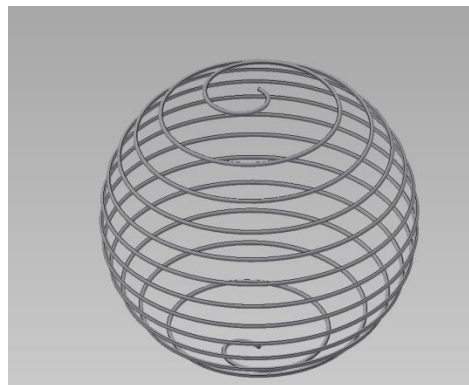


Рисунок 7 – Спиралевидное описание сферы [8]

Причём ось Z магнитометра должна быть всегда направлена к центру сферы.

После завершения процесса калибровки из массива данных по осям X, Y, Z. Находятся максимальные $B_{x\ max}$, $B_{y\ max}$, $B_{z\ max}$ и минимальные $B_{x\ min}$, $B_{y\ min}$, $B_{z\ min}$ значения магнитной индукции.

Далее вычисляются калибровочные значения сдвига по каждой из трёх осей:

$$B_{x0} = \frac{B_{x\ max} + B_{x\ min}}{2}, \quad (1)$$

$$B_{y0} = \frac{B_{y\ max} + B_{y\ min}}{2}, \quad (2)$$

$$B_{z0} = \frac{B_{z\ max} + B_{z\ min}}{2}. \quad (3)$$

На рисунке 8 показана диаграмма значений магнитной индукции по осям X, Y, Z после данной калибровки.

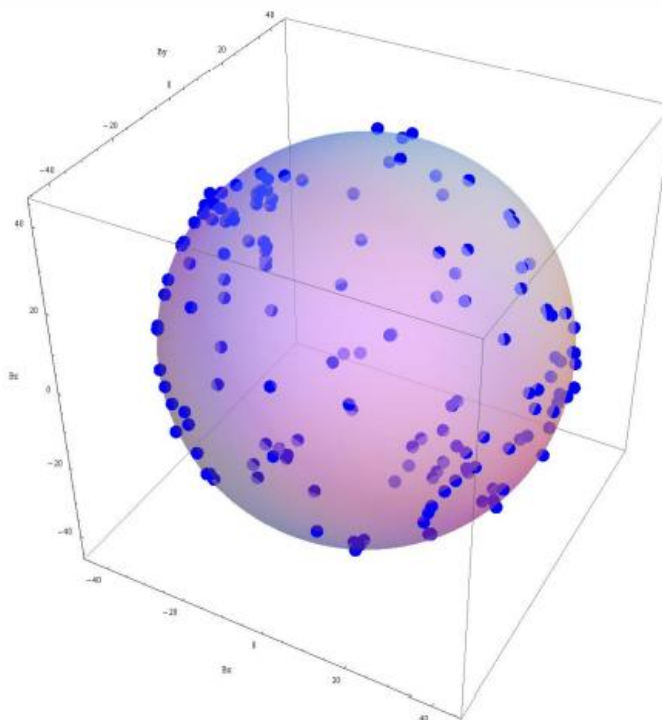


Рисунок 8 – Диаграмма значений магнитной индукции по осям X, Y, Z после калибровки [8]

Далее представлен полный алгоритм калибровки (рисунок 9).



Рисунок 9 – Алгоритм калибровки

Рекомендуется производить калибровку перед каждым использованием электронного компаса.

2. Искажение Soft Iron. В отличие от искажений Hard Iron, где результатом искажений является суммарное магнитное поле Земли и магнитное поле постороннего предмета, искажение Soft Iron вносится предметами, которые искажают окружающее магнитное поле, но не обязательно генерируют свое [9,10]. Например, данный вид искажений характерен для никеля и железа и зависит от ориентации искажающего материала относительно датчика. Таким образом, скомпенсировать это

искажение устранением вносимой константы не представляется возможным, для этого необходимо реализовать ряд более сложных процедур, которые не будут описаны в данной работе.

1.3 Нахождение азимута

Для решения проблемы нахождения азимута при отклонении электронного компаса от горизонтальной плоскости необходимо использование связки: магнитометр-акселерометр-гироскоп [11,12].

Акселерометр – прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением) [13].

Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета [13].

Любое вращение в трёхмерном пространстве может быть представлено как композиция поворотов вокруг трёх ортогональных осей, например, вокруг осей декартовых координат (рисунок 10) [14].

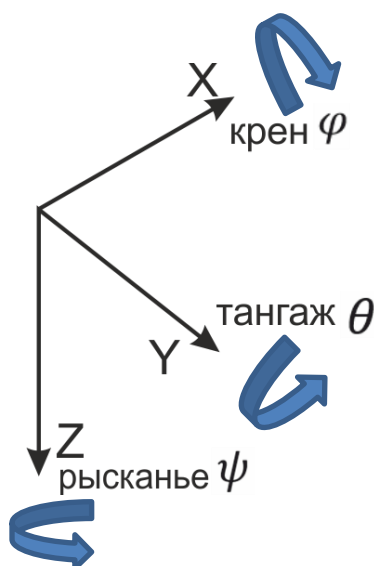


Рисунок 10 – Углы поворота вокруг осей X, Y, Z [14]

Рассмотрим случай, когда акселерометр и магнетометр находятся в горизонтальном статическом положении при условии, что ось X направлена на север (рисунок 11).

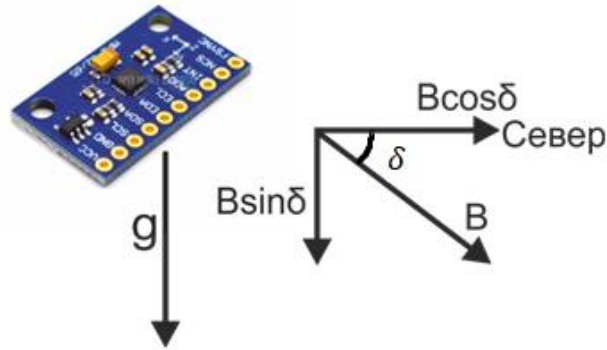


Рисунок 11 – Направления векторов ускорения свободного падения g и магнитной индукции B в горизонтальном положении датчика и при направлении оси X на север [14]

Показания акселерометра G_r и магнетометра B_r в данном случае будут равны:

$$G_r = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$B_r = \begin{pmatrix} \cos\delta \\ 0 \\ \sin\delta \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Данные с акселерометра G_p и магнетометра B_p измеряются после трёх вращений R_x , R_y и R_z :

$$G_p = R_x(\varphi)R_y(\theta)R_z(\psi) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$B_p = R_x(\varphi)R_y(\theta)R_z(\psi) \begin{pmatrix} \cos\delta \\ 0 \\ \sin\delta \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Матрицами вращения вокруг оси декартовой системы координат на угол в трёхмерном пространстве с неподвижной системой координат являются [15]:

- Вращение вокруг оси X:

$$R_x(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}. \quad (8)$$

- Вращение вокруг оси Y:

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}. \quad (9)$$

- Вращение вокруг оси Z :

$$R_z(\psi) = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Положительным углам, при этом, соответствует вращение вектора против часовой стрелки в правой системе координат.

Если существует возможность найти углы φ и θ , то тогда:

$$R_z(\psi) \begin{pmatrix} B \cos \delta \\ 0 \\ B \sin \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \cos \delta \\ 0 \\ B \sin \delta \end{pmatrix} = R_y(-\theta) R_x(-\phi) (B_p - V) \quad (11)$$

При перемножении матриц в левой части уравнения получим [16]:

$$\begin{pmatrix} (B_{px} - V_x) \cos \theta + (B_{py} - V_y) \sin \theta \sin \phi + (B_{pz} - V_z) \sin \theta \cos \phi \\ (B_{py} - V_y) \cos \phi - (B_{pz} - V_z) \sin \phi \\ -(B_{px} - V_x) \sin \theta + (B_{py} - V_y) \cos \theta \sin \phi + (B_{pz} - V_z) \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{fx} \\ B_{fy} \\ B_{fz} \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где B_{px}, B_{py}, B_{pz} – данные магнитометра,

V_x, V_y, V_z – матрица смещения, полученная после калибровки магнитометра.

$$\tan(\psi) = \left(\frac{-B_{fy}}{B_{fx}} \right) = \left(\frac{(B_{pz} - V_z) \sin \phi - (B_{py} - V_y) \cos \phi}{(B_{px} - V_x) \cos \theta + (B_{py} - V_y) \sin \theta \sin \phi + (B_{pz} - V_z) \sin \theta \cos \phi} \right) \quad (13)$$

Угол ψ (рыскание) является углом поворота вокруг оси Z – это тот угол, который необходим (азимут).

Расчёт углов наклона относительно осей X, Y и Z может производиться как акселерометром, так и гироскопом.

При использовании акселерометра углы крен φ и тангаж θ рассчитываются по следующим формулам:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{G_{py}}{G_{pz}}\right), \quad (14)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{-G_x}{G_{py} \sin \varphi + G_{pz} \cos \varphi}\right), \quad (15)$$

где G_{px}, G_{py}, G_{pz} – данные акселерометра по осям X, Y и Z.

Проведём обоснование данных формул.

Алгоритм компенсации наклона электронного компаса основан на вычислении углов φ и θ путём перемножения обратных матриц $R_x(-\varphi), R_y(-\theta)$.

Сначала произведём умножение значения G_p уравнения (6) на обратные матрицы вращения относительно углов φ и θ :

$$R_y(-\theta)R_x(-\varphi)G_p = R_y(-\theta)R_x(-\varphi) \begin{pmatrix} G_{px} \\ G_{py} \\ G_{pz} \end{pmatrix} = R_z(\psi) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}, \quad (16)$$

где $\begin{pmatrix} G_{px} \\ G_{py} \\ G_{pz} \end{pmatrix}$ – три компоненты ускорения свободного падения, измеренные акселерометром по осям X, Y, Z.

При занесении значений матрицы трансформаций в формулу (16) получено:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \sin \phi & \sin \theta \cos \phi \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{px} \\ G_{py} \\ G_{pz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix} \quad (17)$$

Решая данное выражение получаем:

$$G_{py} \cos \phi - G_{pz} \sin \phi = 0 \quad , \quad (18)$$

$$\tan(\phi) = \left(\frac{G_{py}}{G_{pz}} \right) \quad , \quad (19)$$

$$G_{px} \cos \theta + G_{py} \sin \theta \sin \phi + G_{pz} \sin \theta \cos \phi = 0 \quad , \quad (20)$$

$$\tan(\theta) = \left(\frac{-G_{px}}{G_{py} \sin \phi + G_{pz} \cos \phi} \right) \quad . \quad (21)$$

При отсутствии движения устройства с ускорением точное значение азимута однозначно можно определить с помощью магнетометра и акселерометра, но акселерометр имеет в своих показаниях зашумлённость и не способен правильно определять углы наклона при движении устройства с ускорением. Для минимизации этих факторов в данном проекте будет использован гироскоп.

Гироскоп измеряет угловую скорость, которую при известных начальных условиях можно интегрировать с течением времени, для того, чтобы получать ориентацию датчика [17,18]. Точные гироскопы, например, кольцевой лазер, слишком дороги и громоздки для большинства приложений. С другой стороны, менее точные MEMS-датчики (Micro Electrical Mechanical System — микромеханические электронные системы) используются в большинстве приложений [19]. Интеграция ошибок измерения приведёт к накоплению ошибки в вычислении ориентации. Таким образом гироскопы, сами по себе, не могут обеспечить абсолютное измерение ориентации.

В данном проекте будет использован Фильтр Калмана [20], который позволит совместить данные с акселерометра и гироскопа. Данный фильтр

стал признанной основой для построения большинства алгоритмов определения ориентации [21,22] и коммерческих систем ориентации и инерциальных модулей.

При использовании гироскопа его данные угловой скорости g_x, g_y, g_z по осям X, Y, Z соответственно равны:

$$\begin{aligned} g_x &= \frac{d\varphi}{dt}, \\ g_y &= \frac{d\theta}{dt}, \\ g_z &= \frac{d\psi}{dt}. \end{aligned} \quad (22)$$

Для нахождения углов φ, θ, ψ необходимо провести интегрирование g_x, g_y, g_z .

Фильтра Калмана заключается в том, что для расчёта углов наклона φ_n и θ_n используются сумма углов, рассчитанных акселерометром и гироскопом:

$$\begin{aligned} \varphi_n &= k \times \varphi_{\text{аксел.}} + (1 - k) \times (\varphi_{\text{гироскоп.}} + \varphi_{n-1}), \\ \theta_n &= k \times \theta_{\text{аксел.}} + (1 - k) \times (\theta_{\text{гироскоп.}} + \theta_{n-1}), \end{aligned} \quad (23)$$

где k – коэффициент, принимающий значения от 0 до 1,

$\varphi_{\text{аксел.}}, \theta_{\text{аксел.}}$ – углы, рассчитанные акселерометром в текущий момент времени,

$\varphi_{\text{гироскоп.}}, \theta_{\text{гироскоп.}}$ – углы, рассчитанные гироскопом,

$\varphi_{n-1}, \theta_{n-1}$ – углы, рассчитанные за предыдущее измерение.

На практике коэффициент k применяется равным 0,9 ... 0,95.

Следует отметить, что для успешной компенсации наклона датчика с помощью акселерометра необходимо совпадение осей X, Y, Z магнитометра и акселерометра. В датчике MPU-9250, который используется в данной работе, не наблюдается полного совпадения данных осей. Реальные оси, по которым производятся измерения представлены на рисунке 12.

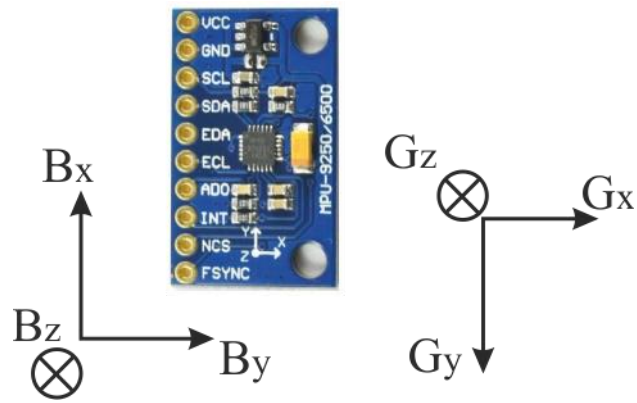


Рисунок 12 – Направления осей измерений модуля MPU-9250

Видно, что оси Z магнетометра и акселерометра совпадают, а оси X и Y различаются по направления. Совпадение осей будет достигаться с помощью программных средств: оси магнетометра будут оставлены без изменений, измерение акселерометра по оси X , совпадающей с осью магнетометра B_x , будет равняться $G_{px} = -G_y$, а измерение акселерометра по оси Y , совпадающей с осью магнетометра B_y , будет равняться $G_{py} = G_x$. Оси гироскопа и акселерометра совпадают.

Глава 2 Выбор структурной схемы устройства

В ходе работы была проведена разработка структурной схемы электронного компаса, которая представлена на рисунке 13. Блоками данной структурной схемы являются:

- ПН – преобразователь напряжения, данное устройство преобразует напряжение питания +4,5 В в напряжение +3,3 В. Напряжение +3,3 В является питающим для других блоков структурной схемы,
- Д – датчик, данное устройство предназначено для измерения физических величин: индукции магнитного поля, ускорения и угловой скорости. Датчик Д при присоединяется к микроконтроллеру МК,
- БИ – блок индикации, предназначен для отображения направления на магнитный полюс. Блок индикации будет состоять из светодиодов и токозадающих резисторов,
- СР – сдвиговые регистры, предназначены для уменьшения задействованных выводов микроконтроллера,
- БК – блок коммутации, предназначен для подачи сигналов на микроконтроллер МК, по которым будет происходить начало калибровки датчика Д,
- ПИ – преобразователь интерфейсов, в данном случае с помощью данного блока будет производить преобразование сигналов интерфейса USART в сигналы интерфейса USB, которые будут подаваться на USB-порт компьютера,
- МК – микроконтроллер, данное устройство является связующим звеном и производит обработку сигналов от датчика Д и блока коммутации БК и передаёт информацию в блоки СР и ПИ.

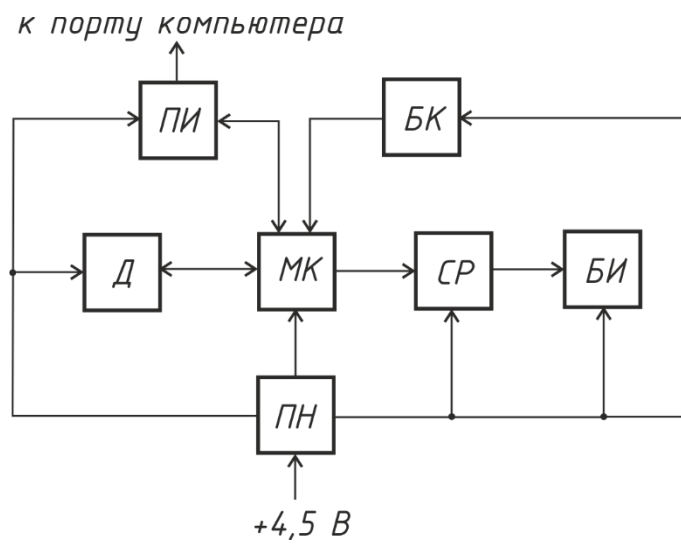


Рисунок 13 – Структурная схема электронного компаса

Глава 3 Выбор и обоснование принципиальной схемы устройства

3.1 Выбор датчика

В данной работе возможно использование специальных модулей, содержащих в себе 3 датчика: магнитометр, акселерометр и гироскоп. Основное применение данных датчиков: устройства стабилизации положения квадрокоптеров.

Далее рассмотрим примеры данных модулей:

1) MPU-9250.

Модуль GY-9250 на микросхеме MPU-9250 это 9-ти осевое устройство 3-х осевой гироскоп, 3-х осевой акселерометр и 3-х осевой магнитометр (рисунок 14).

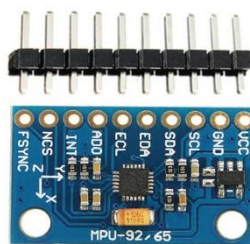


Рисунок 14 – Модуль датчиков MPU-9250 [23]

В основе данного датчика лежит самый миниатюрный в мире (корпус QFN 3×3×1 мм) девятиосевой сенсор движения второго поколения компании InvenSense [23].

Микросхема предназначена для применения в смартфонах, трекерах активности и прочих портативных потребительских изделиях. Добиться столь малых размеров микросхемы при высокой функциональности удалось с помощью патентованной технологии InvenSense CMOS MEMS, позволяющей

изготавливать на одном кристалле МЭМС-устройства и КМОП-электронику [23].

В корпусе микросхемы MPU-9250 объединены два кристалла: на одном размещён чип MPU-6500 включающий в себя трёхосевой гироскоп и трёхосевой акселерометр [24], а на втором – трёхосевой магнитометр Asahi Kasei Microdevices (AK8963) [25]. Данные с сенсоров оцифровываются 16-битными АЦП, обрабатываются с применением алгоритмов Motion Fusion сигнальным процессором DMP (Digital Motion Processor) и передаются внешнему микроконтроллеру по шине I2C/SPI [23].

2) GY-80.

Данный модуль аналогичен MPU-9250, но помимо датчиков магнитометра, акселерометра и гироскопа включает в себя барометр (датчик атмосферного давления) (рисунок 15).

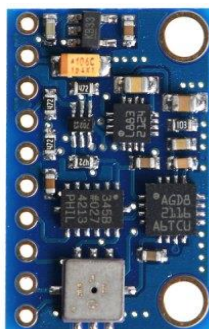


Рисунок 15 – Модуль датчиков GY-80 [4]

GY-80 состоит из 4-х датчиков [26]:

- гироскоп L3G4200D,
- акселерометр ADXL345,
- цифровой компас HMC5883L,
- барометр BMP085.

В данном проекте цифрового компаса нет необходимости использовать барометр. Данный модуль существенно проигрывает модулю MPU-9250 из-за более высокой цены, обусловленной наличием барометра в его составе.

3) BNO055.

BNO055 является датчиком первого поколения в семействе инерциальных систем производства «Bosch» с функцией фильтрации и комплексирования данных (рисунок 16) [27].

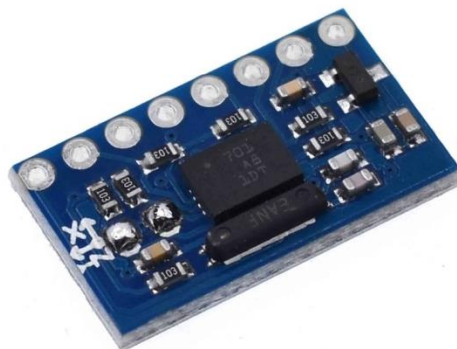


Рисунок 16 – Модуль датчиков BNO055 [27]

Датчик построен по SiP (System in Package) технологии позволяющей разместить в одном корпусе:

- трёхосевой магнитометр;
- трёхосевой акселерометр;
- трёхосевой гироскоп.

32-х разрядный ARM Cortex-M0 микроконтроллер, выполняющий алгоритмические функции.

Данный микроконтроллер снижает вычислительную нагрузку для микроконтроллера более высокого уровня и повышает её надёжность [26].

Далее приведена сравнительная таблица параметров 3-ёх модулей, представленных выше (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение трёх модулей датчиков

Параметр	MPU-9250	GY-80	BNO055
----------	----------	-------	--------

3-ёх осевой магнитометр	+	+	+
3-ёх осевой акселерометр	+	+	+
3-ёх осевой гироскоп	+	+	+
Интерфейс SPI	+	+	+
Интерфейс I2C	+	+	+
Наличие сопроцессора	–	–	+
Цена, руб	318	1111	670

Видно, что цена на модуль MPU-9250 в разы меньше, чем на другие модули, также стоит отметить, что данный модуль достаточно распространён в продаже в России, поэтому выбор модуля MPU-9250 для данного проекта очевиден.

3.2 Выбор микроконтроллера

В современных проектах электронных устройств чаще всего используются микроконтроллеры STM32 на основе ядра ARM Cortex и платы Arduino на основе микроконтроллеров AVR компании Atmel. Для сравнения двух этих платформ рассмотрим сравнительные характеристики плат в корпусе DIP STM32F103C8T6 [28] (рисунок 17) и Arduino Nano [29] (рисунок 18), представленные в таблице 2.

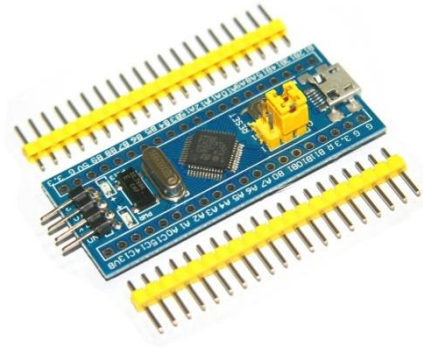


Рисунок 17 – Плата STM32F103C8T6 [28]

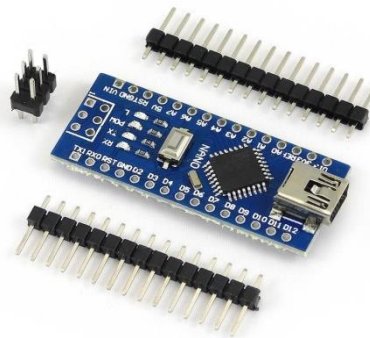


Рисунок 18 – Плата Arduino Nano [29]

Таблица 2 – Сравнение микроконтроллеров

Характеристики	STM32F103C8T6	Arduino Nano
Корпус	DIP40	DIP30
Частота работы, МГц	72	16
RAM, кБ	20	2
EEPROM, кБ	-	1
Количество GPIO	26	20
Напряжение питания, В	3,3	5
Шина SPI	2	1
UART/USART	3 USART	1 UART
Прошивка через USB	-	+
Цена, руб.	310	310

Видно, что практически по всем показателям плата STM32F103C8T6 обыгрывает Arduino Nano. Важной характеристикой является частота работы микроконтроллера, у STM32F103C8T6 этот показатель больше, чем у Arduino Nano в 4,5 раза. В результате сравнения в качестве микроконтроллера была выбрана плата STM32F103C8T6.

3.3 Сдвиговые регистры

Так как количество светодиодов, которые будут использоваться для индикации, равно 32, а число портов ввода/вывода микроконтроллера STM32F103C8T6 равно 26, то необходимо использование дополнительных устройств, обеспечивающих управление светодиодами через меньшее число выводов микроконтроллера. В данном проекте для решения этой задачи будут использоваться сдвиговые регистры 74НС595 — восьмиразрядный сдвиговый регистры с последовательным вводом, последовательным/параллельным выводом информации и тремя состояниями на выходах регистра [30] (рисунок 19).

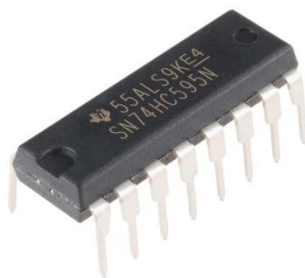


Рисунок 19 – Сдвиговый регистр 74НС595 [30]

Рассмотрим назначение выводов данной микросхемы (рисунок 20).

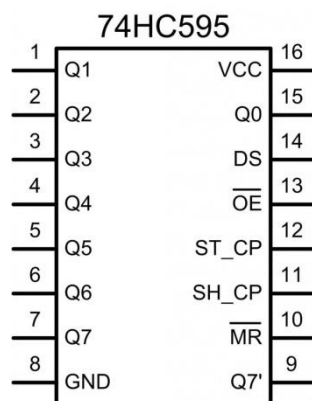


Рисунок 20 – Выводы микросхемы 74HC595 [30], где

Q0...7 – выводы сдвигового регистра, к ним будут подключаться светодиоды,
 DS – вывод входа данных микросхемы, через данный вывод будут поступать последовательные данные,

ST_CP – вывод синхронизации данных, с помощью данного вывода осуществляется передача данных из внутреннего регистра микросхемы во внешний регистр,

SH_CP – вывод тактируемых импульсов,

MR – вывод сброса значений регистра, сброс происходит при низком уровне сигнала на данном выводе,

OE – вывод перевода состояния выходов Q0...7 в высокоимпедансное состояние,

Q7' – вывод для последовательного соединения регистров,

VCC – напряжение питания,

GND – «земля»

Данные сдвиговые регистры будут подключены выводу микроконтроллера [31], для этого необходимо подключить:

- выводу данных микроконтроллера или вывод Q7' предыдущего сдвигового регистра к выводу DS сдвигового регистра,
- вывод микроконтроллера для тактирования сдвигового регистра к выводу SH_CP сдвигового регистра,

- один из выходов микроконтроллера к выводу синхронизации ST_CP.

Таким образом, для управления 32-мя светодиодами будут задействованы только 3 вывода микроконтроллера.

3.4 Подключение модуля датчиков к микроконтроллеру

Подключение модуля датчиков MPU-9250 к микроконтроллеру производится с помощью интерфейса SPI.

SPI (Serial Peripheral Interface, SPI bus — последовательный периферийный интерфейс, шина SPI) — последовательный синхронный стандарт передачи данных в режиме полного дуплекса, предназначенный для обеспечения простого и недорогого высокоскоростного сопряжения микроконтроллеров и периферии.

Выводы шины SPI модуля MPU9250 представлены на рисунке 21. На данном рисунке введены обозначения:

- SDI – вывод данных, подключается к выводу MOSI микроконтроллера,
- SCLK – вывод системного тактирования, подключается к выводу SCK микроконтроллера,
- INT – вывод генерации прерывания по наступлению готовности модуля к передаче, подключается к входу микроконтроллера, настроенному на внешние прерывания, по данному сигналу начинается считывание данных,
- nCS – вывод выбора микросхемы,
- SDO – вывод, отвечающий за адрес модуля, при установке данного вывода в низкий уровень адрес устройства равен 0x68.

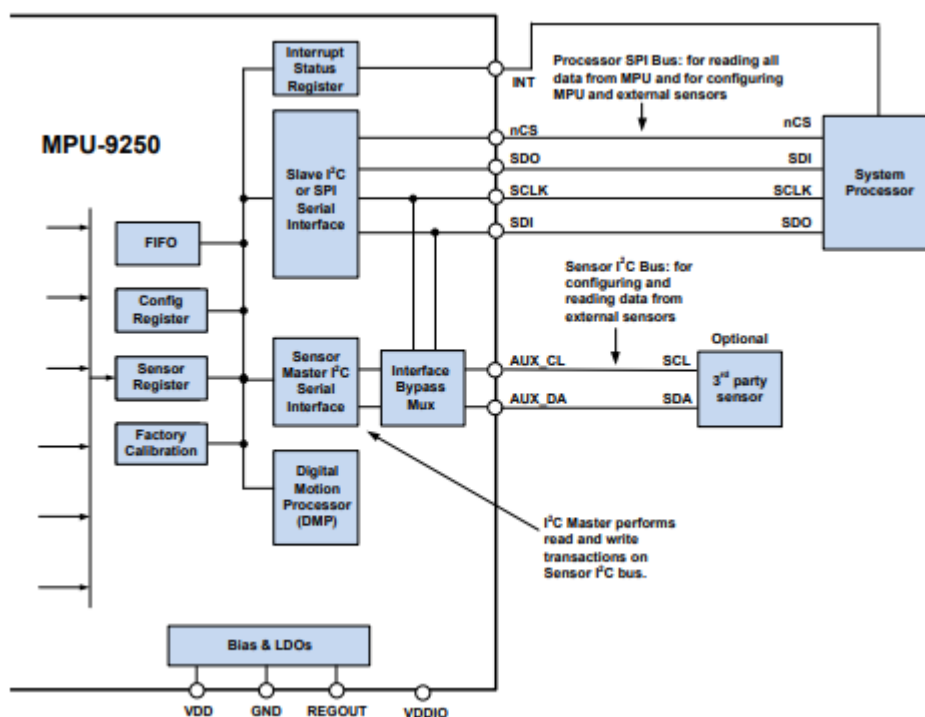


Рисунок 21 – Выводы шины SPI модуля MPU9250 [23]

Подключение данного модуля к микроконтроллеру представлено на принципиальной схеме в Приложении А.

3.5 Настройка модуля MPU-9250

Выбранный для реализации системы датчик MPU-9250 имеет большое количество регистров, разобравшись с работой которых можно настроить все важные параметры датчика, такие как: частота дискретизации, диапазоны измерения, тактовая частота интерфейсов I2C/SPI [32]. Карта регистров данного модуля находится в Приложении В.

Поле ACCEL_FS_SEL в регистре 28 выбирает диапазон акселерометра в соответствии со следующей таблицей 3.

Таблица 3 – Диапазоны измерения акселерометра

[4:3]	ACCEL_FS_SEL[1:0]	Accel Full Scale Select: ±2g (00), ±4g (01), ±8g (10), ±16g (11)
--------------	--------------------------	---

Выбираем диапазон $\pm 8g$ который достаточен для измерений в данной работе.

В регистре 29 происходит настройка встроенного цифрового фильтра нижних частот. Для этого в поле A_DLPF_CFG необходимо выставить значение, соответствующее необходимой полосе пропускания (Bandwidth) фильтра нижних частот (таблица 4).

Таблица 4 – Характеристики встроенного цифрового ФНЧ

ACCEL_FCHOICE	A_DLPF_CFG	Output			
		Bandwidth (Hz)	Delay (ms)	Noise Density ($\mu g/rtHz$)	Rate (kHz)
0	X	1.13 K	0.75	250	4
1	0	460	1.94	250	1
1	1	184	5.80	250	1
1	2	92	7.80	250	1
1	3	41	11.80	250	1
1	4	20	19.80	250	1
1	5	10	35.70	250	1
1	6	5	66.96	250	1
1	7	460	1.94	250	1

Выберем среднюю полосу пропускания, равную 41 Гц.

3.6 Интерфейс связи микроконтроллера и компьютера

В качестве интерфейса отправки данных от микроконтроллера (МК) выберем интерфейс UART.

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – универсальный асинхронный приёмопередатчик, интерфейс для связи цифровых устройств, предназначенный для передачи данных в последовательной форме. Очень

распространён и весьма востребован, имеет аппаратную реализацию во многих микроконтроллерах.

Как правило, последовательный порт микроконтроллера работает в дуплексном режиме, имея отдельную линию для приема и передачи данных (рисунок 22).



Рисунок 22 – Линии связи UART [33]

Отправка слова данных по линии Tx начинается в тот момент, когда программа загружает отсылаемый байт в буфер передатчика (рисунок 23). Если сдвиговый регистр передатчика пуст, то в этот момент модуль последовательного порта дублирует передаваемый байт из буферного регистра в сдвиговый, и начинает формировать кадр передаваемой посылки.

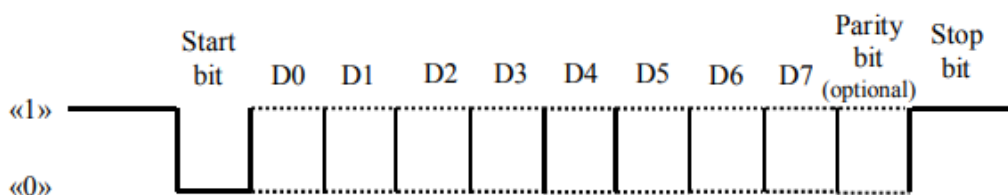


Рисунок 23 – Уровни сигналов передачи интерфейса UART [33]

До начала передачи линия находится в состоянии «1». В момент начала передачи модуль переводит линию Tx в «0» и начинает формировать стартовый бит. После стартового бита передаются биты данных, начиная с младшего. Далее может присутствовать бит паритета. В конце посылки передается стоповый бит, уровень которого всегда соответствует логической

«1». Последовательный порт использует те же уровни напряжений, что линии ввода/вывода общего назначения. Как правило, это 0...+5 В или 0...+3,3 В [33].

Для того, чтобы обмен данными осуществлялся корректно, в приемнике и передатчике должны быть настроены одинаковые:

- длина слова данных;
- режим паритета;
- скорость обмена;
- количество стоп-бит.

В данной работе будут использованы следующие значения данных величин: длина слова данных 8 бит; режим паритета No Priority; скорость обмена 110 Бод; количество стоп-бит 1.

Алгоритм передачи данных между компьютером и электронным компасом представлен в Приложении Г.

3.7 Преобразователь интерфейсов

Схема автоматизации производственных и технологических процессов в настоящее время часто выглядит следующим образом. Все автоматизированные операции выполняются с помощью сети исполнительных устройств на базе микроконтроллеров. Информация о состоянии системы, при этом, передается в центральный компьютер, с помощью которого оператор может контролировать весь производственный процесс (рисунок 24) [34]:

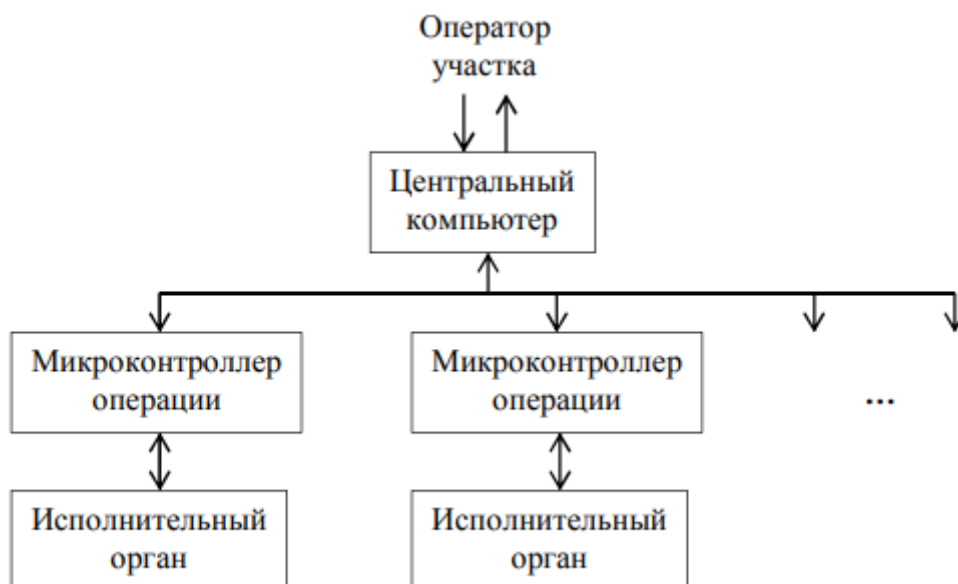


Рисунок 24 – Схема автоматизации производственных процессов [34]

Важными звеньями этой системы являются интерфейсные каналы, по которым передается управляющая и статусная информация. Их надежность определяет надежность всей системы. Последовательный интерфейс позволяет осуществлять коммуникацию как между микроконтроллерами, так и между микроконтроллером и компьютером. Рассмотрим возможные способы сопряжения аппаратных каналов микроконтроллера и компьютера (рисунок 25) [34].

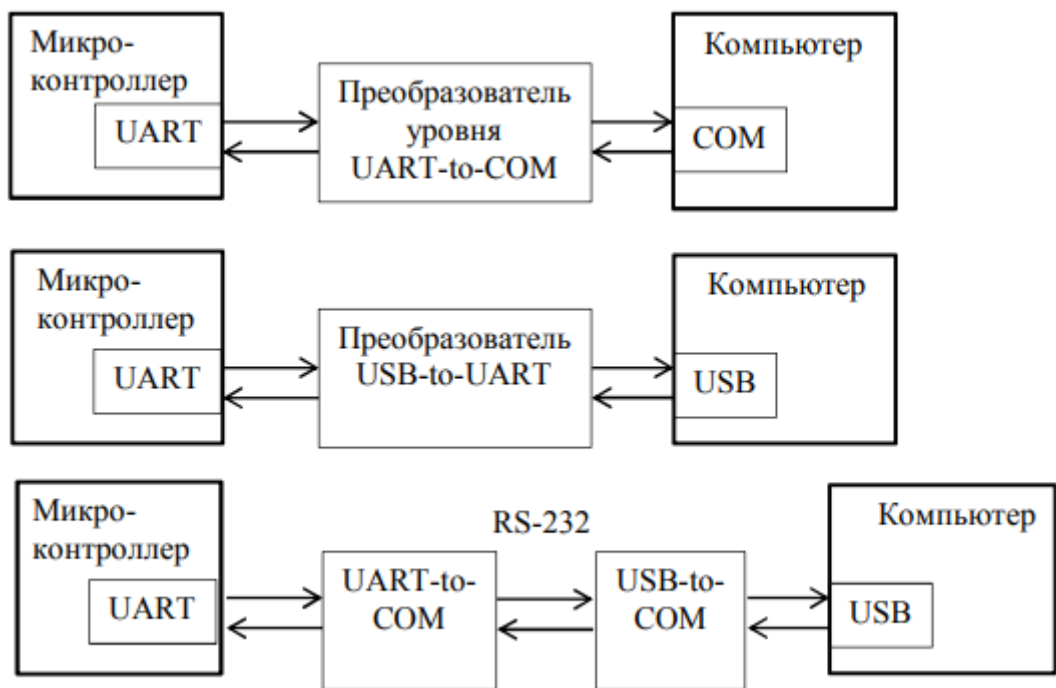


Рисунок 25 – Способы сопряжения аппаратных каналов микроконтроллера и компьютера [34]

Самым дешёвым способом сопряжения является преобразователь UART-to-COM. Но в современных компьютерах, и, в частности, ноутбуках, отсутствует COM-порт, поэтому самым оптимальным способом сопряжения будет являться USB-to-UART преобразователь.

В качестве USB-to-UART преобразователя выберем микросхему FT232RL [35]. Схема подключения данной микросхемы представлена на рисунке 26.

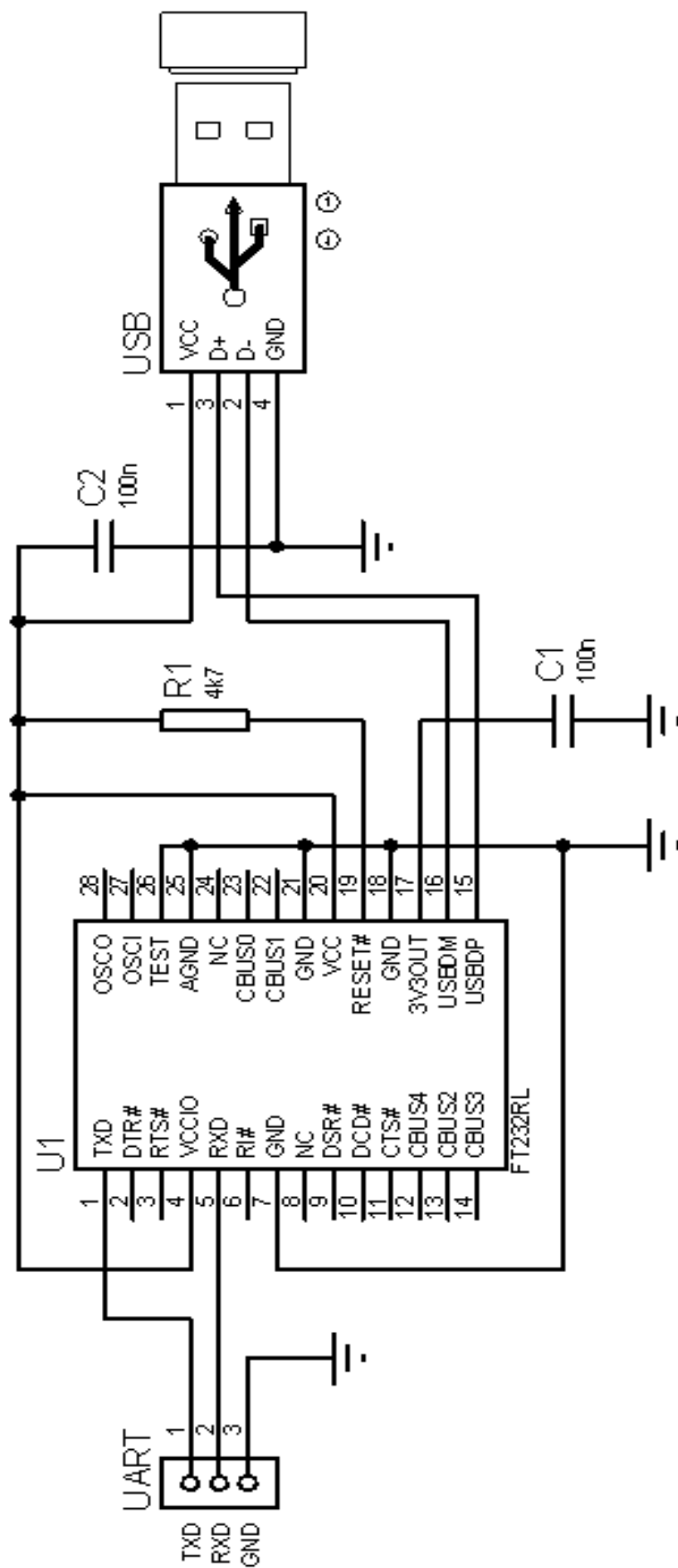


Рисунок 26 – Схема подключения микросхемы FT232RL

3.8 Кнопка начала калибровки

Для организации начала калибровки будем использовать механическую кнопку, при нажатии которой на вход микроконтроллера, настроенному на внешнее прерывание, будет подаваться фронт нарастания напряжения питания и начнётся процесс калибровки магнитометра. Подключение кнопки SA1 будет производиться по схеме (рисунок 27).

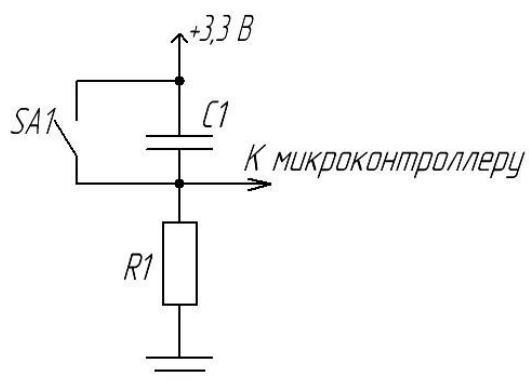


Рисунок 27 – Подключение кнопки SA1

Необходимо обеспечить постоянную времени цепи $\tau = 10$ мкс.

Выбираем постоянный резистор [36] C2-23-0,125-1 кОм \pm 5%.

Выбираем керамический конденсатор [37] K10-17-10 нФ \pm 5%.

Глава 4 Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов изготовлен макет электронного компаса (рисунок 28, 29), выполнены в соответствии с принципиальной схемой электронного компаса, представленной в Приложении А.

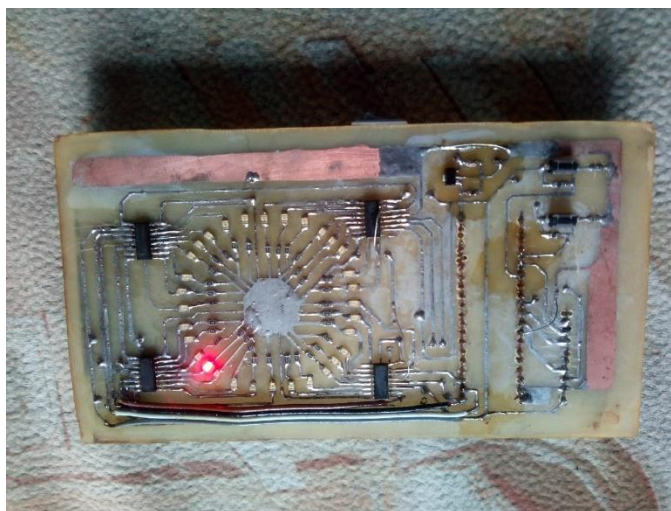


Рисунок 28 – Макет электронного компаса, передняя панель

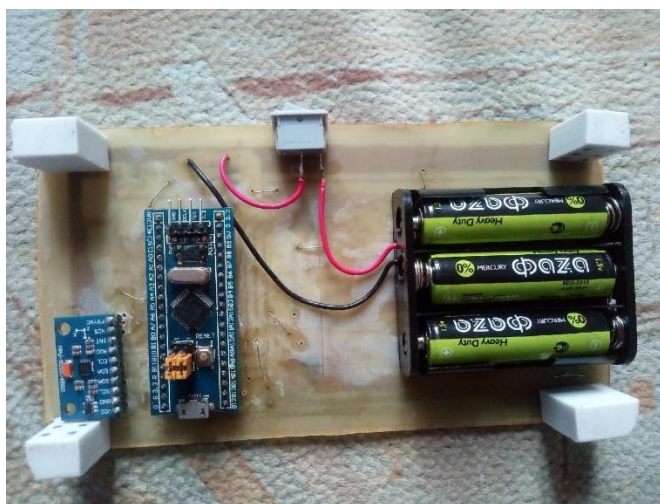


Рисунок 29 – Макет электронного компаса, задняя панель

На передней панели макета расположены: окружность из светодиодов, сдвиговые регистры и кнопки, на задней панели расположены: модуль датчиков, микроконтроллер, аккумулятор и кнопка включения устройства.

С помощью данного макета проведено:

- исследование правильности калибровки;
- исследование правильности определения азимута при наклоне относительно горизонтальной плоскости.

Для исследования правильности калибровки было проведено измерения азимута и магнитной индукции по осям X, Y, Z при вращении электронного компаса на 360° в горизонтальной плоскости при наличии искажений Hard Iron (рисунок 30).

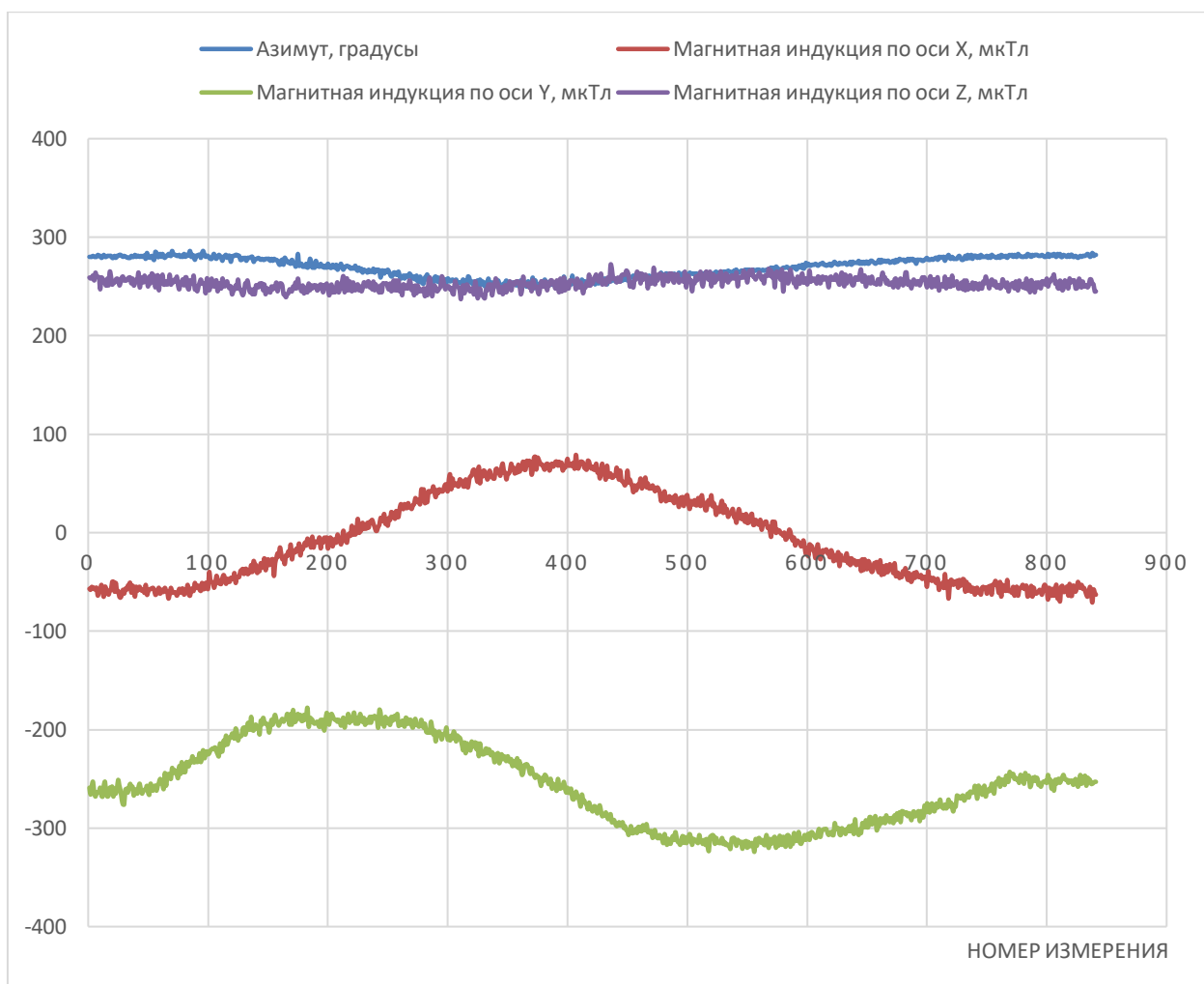


Рисунок 30 – Измерения перед калибровкой

Видно, что измерения по осям X, Y представляют собой синусоиды с постоянной составляющей, а значение азимута практически не изменяется. В случае правильного определения азимута данный угол должен изменяться от

0 до 360 градусов. Далее представлен график измерений после калибровки (рисунок 31).

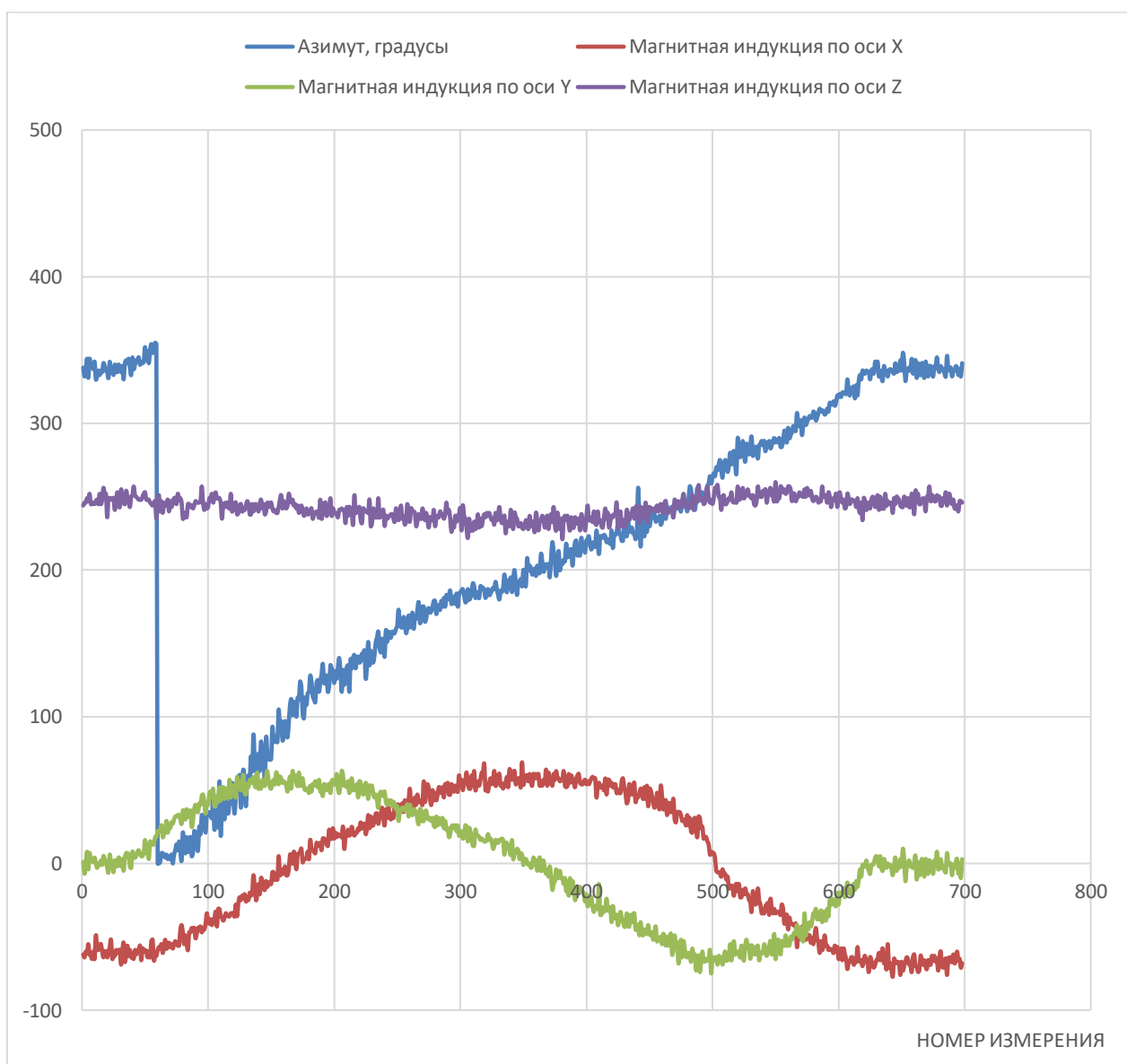


Рисунок 31 – Измерения после калибровки

После калибровки магнитная индукция по осям X и Y имеет только синусоидальную составляющую, а азимут изменяется от 0 до 360 градусов.

Для наглядности было проведено построения зависимостей $B_y = f(B_x)$, где B_x и B_y – значения индукции магнитного поля по осям X и Y соответственно (рисунок 32).

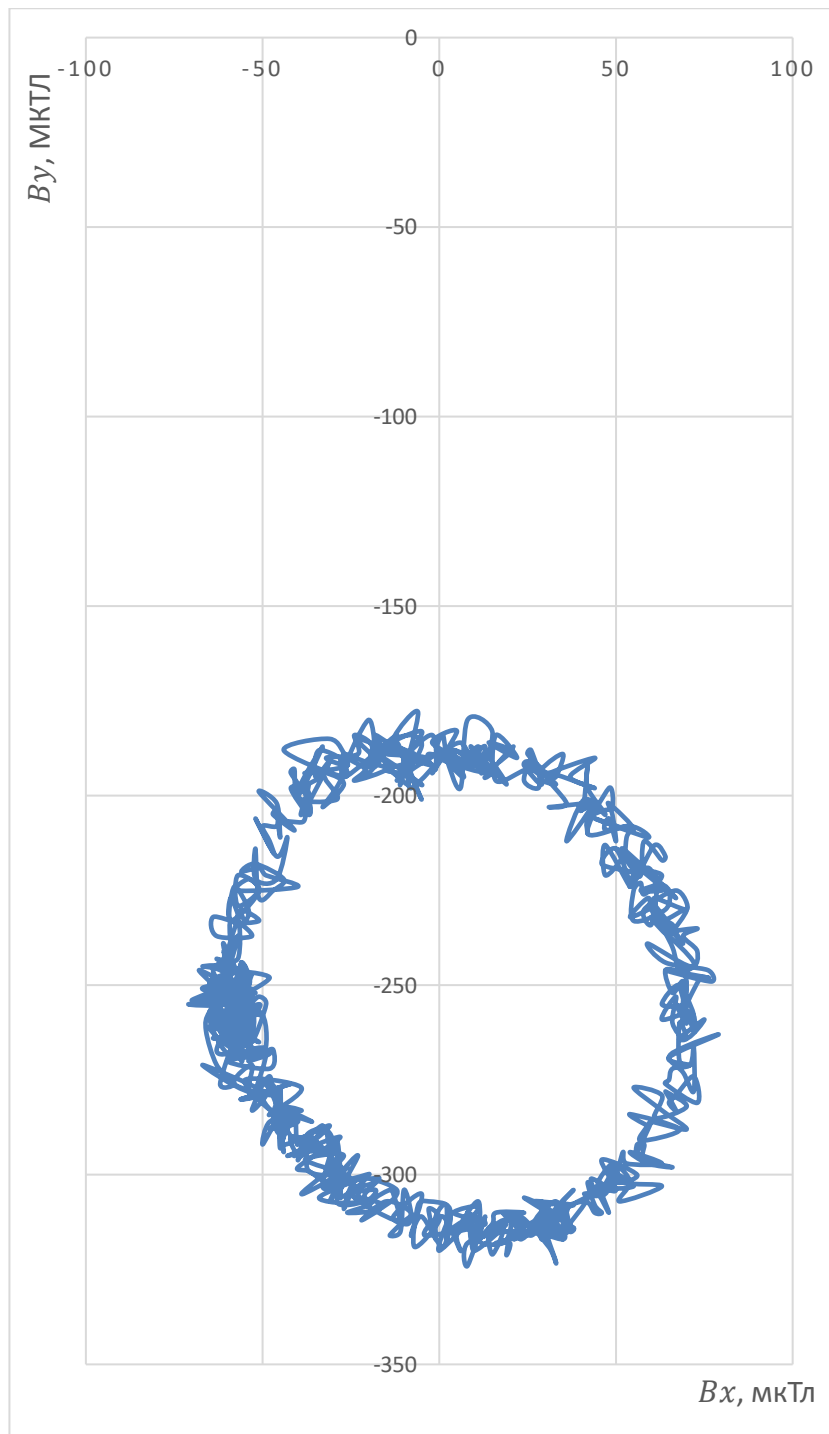


Рисунок 32 – График зависимости $B_y = f(B_x)$

Видно, что график близок по своей форме к окружности, сдвинутой относительно начала координат. Ниже представлен график зависимости $B_y = f(B_x)$ после калибровки (рисунок 33).

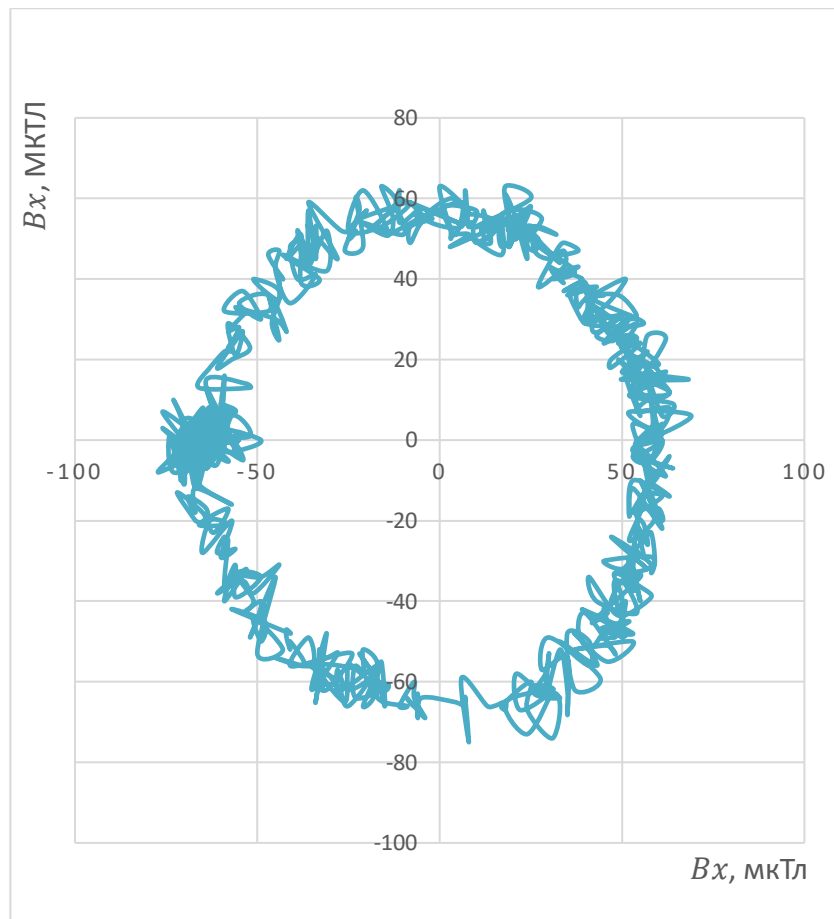


Рисунок 33 – График зависимости $B_y = f(B_x)$

После калибровки данный график представляет собой окружность с центром в начале координат, именно такое расположение данного графика позволяет правильно определять азимут.

Так как у данного макета электронного компаса отсутствует блок энергонезависимой памяти, то калибровочные значения пропадают при отключении устройства и калибровку желательно проводить при каждом включении устройства.

В теоретической части данной работы было проведено описание углов поворота относительно декартовых осей координат. Углом поворота вокруг оси Z является угол рысканья – этот угол и является азимутом, углом поворота относительно оси Y является угол тангажа, углом поворота относительно оси X является угол крена (см. рисунок 10). В ходе экспериментов проведено рассмотрение изменения значений азимута (угол рысканье) при отклонениях

устройства от горизонтальной плоскости без фактического изменения азимута. Для этого проведено 2 опыта:

- измерение значений азимута при изменении угла крен от -45° до $+45^\circ$ без фактического изменения азимута и угла тангажа (рисунок 34),
- измерение значений азимута при изменении угла тангажа от -45° до $+45^\circ$ без фактического изменения азимута и угла крена (рисунок 35).

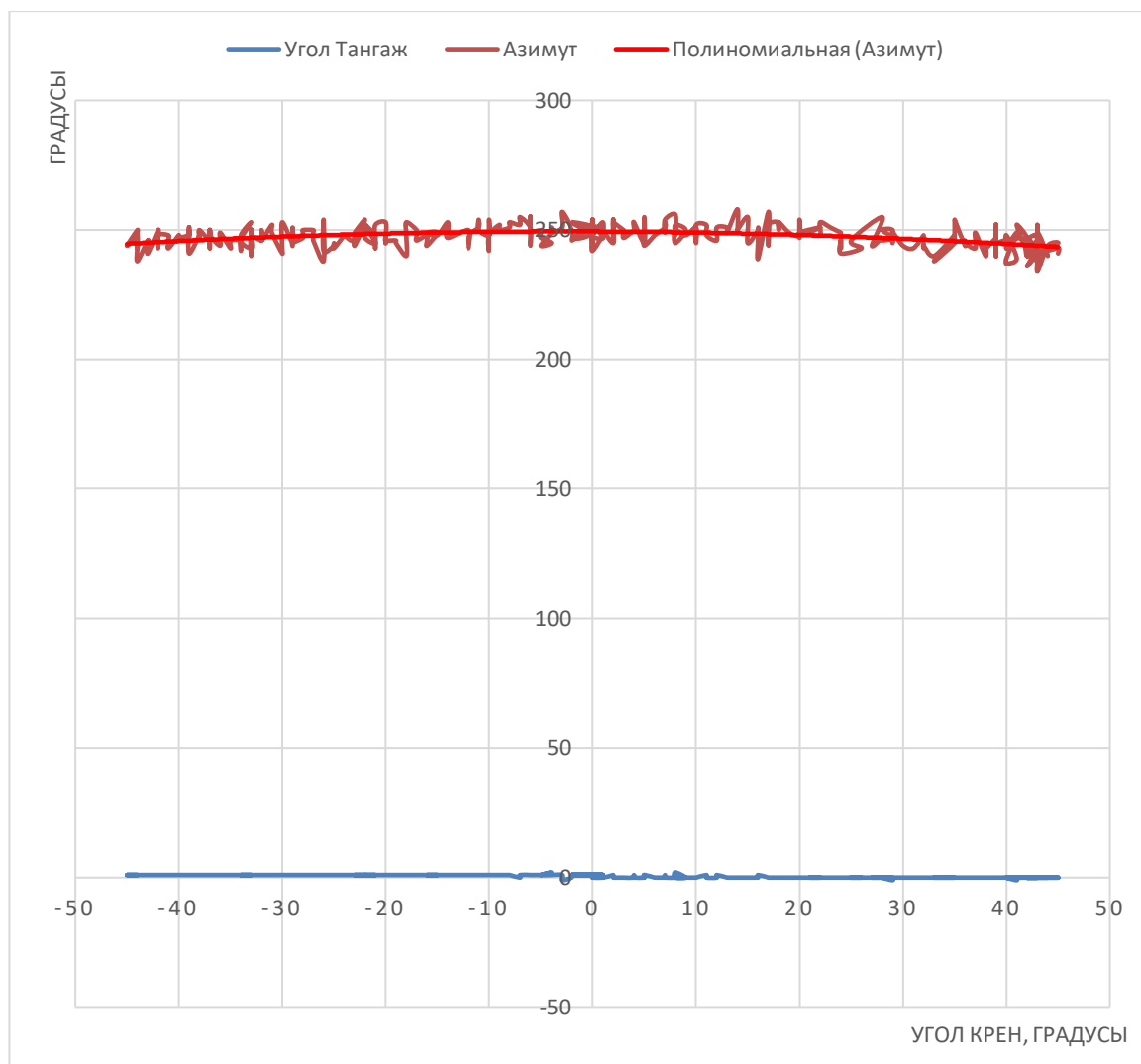


Рисунок 34 – Значение азимута и угла тангажа при изменении угла крена

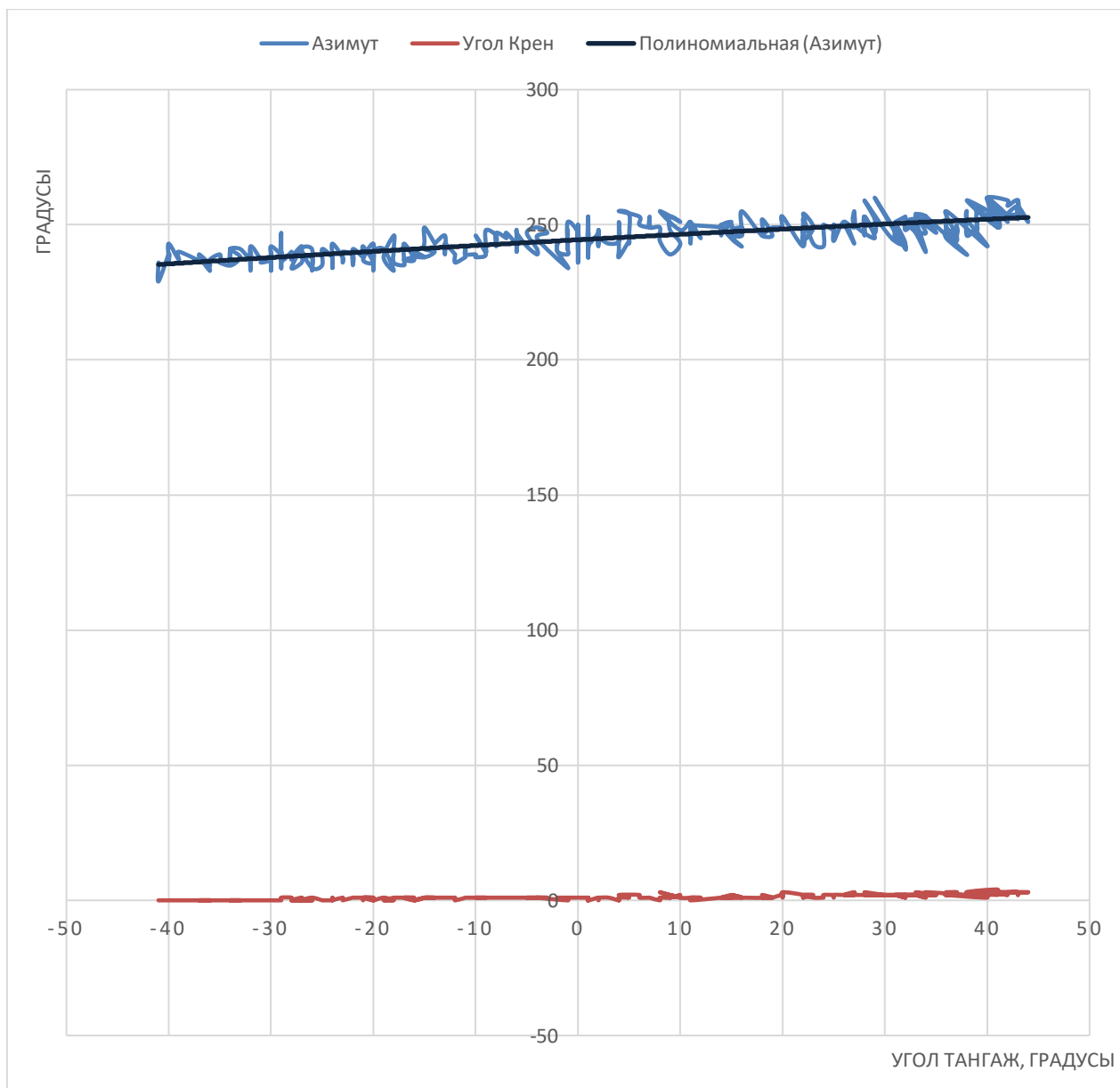


Рисунок 35 – Значение азимута и угла крена при изменении угла тангажа

Видно, что при наклонах электронного компаса разброс значений азимута составляет около 15 градусов, что является приемлемым значением и соответствует одному шагу в круге светодиодов, расположенном на макете устройства. Следует отметить, что пользование компасом предусматривает нахождение азимута при малых отклонениях от горизонтальной плоскости (около 10-15 градусов), поэтому при таких углах наклона разброс в измерении будет гораздо меньше разброса при углах наклона 45 градусов.

Вывод по главе: в ходе экспериментов, выполненных с помощью макета электронного компаса, были получены результаты, доказывающие правильность алгоритма калибровки искажений Hard Iron и правильное определения азимута при отклонениях от горизонтальной плоскости. Недостатком данного макета является отсутствие энергонезависимой памяти для сохранения калибровочных данных при выключении устройства.

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А51	Склюеву Андрею Михайловичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и нанoeлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на материалы, комплектующие изделия, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с нормами</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Стандартная система налогообложения</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведена оценка коммерческого потенциала проекта: 1. Потенциальные потребители результатов исследования 2. SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определена ресурсная, финансовая, бюджетная эффективность исследования посредством расчёта интегрального финансового показателя, интегральных показателей ресурсоэффективности и эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сегментирование рынка*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НИИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А51	Склюев Андрей Михайлович		

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данном пункте будет произведено сегментирование целевого рынка компасов и для каждого сегмента будет найден наиболее подходящий вариант изделия.

Выделяют 3 вида компасов на основе электронных компонентов:

- радиокомпасы;
- электронные компасы на основе магнитометра;
- электронные компасы на основе GPS.

Данные компасы могут быть использованы во многих сферах деятельности, выделим 4 основные сферы применения данных компасов (рисунок 36):

1. Авиация.

В сфере авиации компасы необходимы для навигации летательного средства в воздушном пространстве, широкое применение в данной сфере нашли радиокомпасы. Радиокомпас совершал навигацию летательного объекта с помощью приёма сигналов от наземных радиостанций. В настоящее время большей популярностью в авиации пользуется GPS-компас.

2. Туризм.

В сфере туризма компасы необходимы для ориентирования на местности. С помощью данного устройства туристы могут проводить нахождение необходимого направления пути, находить или возвращаться в необходимую им точку на карте и т. д.

3. Спортивное ориентирование.

Спортивное ориентирование – это вид спорта, в котором участники с помощью специальной карты местности находят точки, где установлены контрольные пункты. Спецификой карт для спортивного ориентирования

является то, что они ориентированы не на географический, а на магнитный полюс. Это способствует применению электронных компасов на основе магнитометров в данной сфере.

4. Наземный транспорт.

В сфере наземного транспорта компасы также необходимы для ориентации объекта в пространстве. Так как транспортные объекты, в основном, содержат в себе детали из таких металлов как железо, никель и их сплавов, то применение электронных компасов с магнитометром в данном случае затруднено. В данной сфере широкое применение нашли GPS-компасы.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка электронных компасов на основе электронных компонентов

		Вид используемого компаса		
		Радиокомпас	Электронный компас на основе магнитометра	Электронный компас на основе GPS
Сфера деятельности	Авиация			
	Туризм			
	Спортивное ориентирование			
	Наземный транспорт			

5.1.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – один из способов комплексного анализа научно-исследовательского проекта.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов:

- Первый этап. В нём описываются сильные и слабые стороны проекта, и возможности и угрозы при его реализации (таблица 6).

- Второй этап. Он состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (таблица 7).

- Третий этап. В нём происходит составление итоговой матрицы SWOT-анализа (таблица 8).

1) Первый этап.

Таблица 6 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Новизна проекта.</p> <p>С2. Низкая цена.</p> <p>С3. Возможность расширения и дополнения проекта.</p> <p>С4. Наличие достаточного числа потребителей.</p> <p>С5. Слабая конкуренция.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Надёжность.</p> <p>Сл2. Пользовательский интерфейс.</p> <p>Сл3. Эргономичность.</p> <p>Сл4. Отсутствие возможности массового выпуска устройства.</p> <p>Сл5. Отсутствие финансовой поддержки проекта.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение показателей надёжности.</p> <p>В2. Создание улучшенного пользовательского интерфейса.</p> <p>В3. Проработка эргономики устройства.</p> <p>В4. Рекламирование проекта.</p> <p>В5. Поиск инвесторов для проекта.</p>		

Продолжение таблицы 6.

Угрозы: У1. Увеличение конкуренции. У2. Уменьшение спроса на данный товар. У3. Ограничения на экспорт электронных комплектующих. У4. Введение требований гос. сертификации продукта. У5. Подорожание комплектующих данного проекта.		
--	--	--

2) Второй этап.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

	C1	C2	C3	C4	C5
B1	-	-	+	-	-
B2	-	-	+	-	-
B3	-	-	+	-	-
B4	+	+	-	-	-
B5	+	+	+	+	+
У1	-	-	-	-	+
У2	-	-	-	+	-
У3	-	-	+	-	-
У4	+	-	+	-	-
У5	-	+	+	-	-

Продолжение таблицы 7.

	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
В1	+	-	-	-	-
В2	-	+	+	-	+
В3	-	-	+	-	+
В4	-	-	-	-	-
В5	-	-	-	+	+
У1	-	-	-	-	-
У2	-	+	+	-	-
У3	-	-	-	+	-
У4	+	-	-	-	-
У5	-	-	-	-	+

3) Третий этап.

Таблица 8 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Новизна проекта. С2. Низкая цена. С3. Возможность расширения и дополнения проекта. С4. Наличие достаточного числа потребителей. С5. Слабая конкуренция.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Надёжность. Сл2. Пользовательский интерфейс. Сл3. Эргономичность Сл4. Отсутствие возможности массового выпуска устройства. Сл5. Отсутствие финансовой поддержки проекта.</p>
--	---	--

Продолжение таблицы 8.

<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение показателей надёжности.</p> <p>В2. Создание улучшенного пользовательского интерфейса.</p> <p>В3. Проработка эргономики устройства.</p> <p>В4. Рекламирование проекта.</p> <p>В5. Поиск инвесторов для проекта.</p>	<p>В1В2В3С3</p> <p>При расширении проекта провести работу над пользовательским интерфейсом и надёжностью.</p> <p>В4С1С2</p> <p>Рекламирровать данный проект.</p> <p>В5С1С2С3С4С5</p> <p>Провести поиск инвесторов для данного проекта</p>	<p>В1Сл1Сл5</p> <p>Для дальнейшего финансирования проекта необходимо увеличить показатели надёжности.</p> <p>В2Сл2Сл3Сл5</p> <p>Проработать пользовательский интерфейс.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Увеличение конкуренции.</p> <p>У2. Уменьшение спроса на данный товар.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт электронных комплектующих.</p> <p>У4. Введение требований гос. сертификации продукта.</p> <p>У5. Подорожание комплектующих данного проекта.</p>	<p>У1С5</p> <p>Увеличивать конкурентоспособность продукта на рынке.</p> <p>У2С4</p> <p>Увеличить число покупателей данного продукта различными маркетинговыми методами.</p> <p>У3С3</p> <p>Производить поиск компонентов для устройства в России и в странах, из которых нет предпосылок для запрета экспорта.</p> <p>У4С1С3</p> <p>Успешно пройти сертификацию продукта.</p> <p>У5С2С3</p> <p>Повышать эффективность устройства и искать более дешёвые компоненты.</p>	<p>У2Сл2Сл3</p> <p>Провести работу над пользовательским интерфейсом и эргономичностью.</p> <p>У3Сл4</p> <p>Найти надёжных поставщиков электронных компонентов.</p> <p>У4Сл1</p> <p>Соблюдать критерии надёжности.</p> <p>У5Сл5.</p> <p>Поиск инвесторов.</p>

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

В данном разделе проводится составление работ в рамках исследования, распределение исполнителей по видам работ (таблица 9).

Таблица 9 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение проблемы навигации при помощи компасов	Инженер
	3	Выбор направления исследования	Инженер
Теоретические исследования	4	Выбор комплектующих проекта	Инженер
	5	Создание алгоритма вычисления азимута	Инженер
	6	Изучение документации на комплектующие проекта	Инженер

Продолжение таблицы 9.

Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Руководитель
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Инженер, Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка структурной и принципиальной схемы	Инженер
	10	Подключение элементов схемы электронного компаса к микроконтроллеру	Инженер
	11	Оценка правильности определения азимута.	Инженер
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	12	Конструирование и изготовление макета электронного компаса	Инженер
	13	Лабораторные испытания макета	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудовых затрат производится для вычисления стоимости разработки проекта.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (24)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн,

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

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\mathcal{C}_i}, \quad (25)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.,

\mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Так как данный научный проект сравнительно небольшой по объёму, то в качестве ленточного графика выберем ленточный график работ в форме диаграммы Ганта.

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

Формула перевода из рабочих дней в календарные:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (26)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях,

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях,

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (27)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году,

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

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

В 2019 году количество календарных дней $T_{\text{кал}} = 365$ дней, количество выходных дней равно $T_{\text{вых}} = 52$, количество праздничных дней равно $T_{\text{пр}} = 14$, тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22.$$

Работа над проектом начинается с начала весеннего семестра и заканчивается в конце преддипломной практики. В соответствии с календарным планом, данный период равен 19 недель, или 133 календарных дня. Далее представлена таблица временных показателей (таблица 10).

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

	Исполнители		Трудоёмкость работ, человек-дни			Длительность работ	
	Инженер	Руководитель	t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	Рабочие дни $T_{\text{р}}$	Календарные дни $T_{\text{к}}$
Составление и утверждение технического задания	+	+	1	3	2	2	2

Продолжение таблицы 10.

Изучение проблемы навигации при помощи компасов	+	-	4	6	5	5	6
Выбор направления исследования	+	-	2	5	3	3	4
Выбор комплектующих проекта	+	-	6	8	7	7	9
Создание алгоритма вычисления азимута	+	-	10	15	12	12	14
Изучение документации комплектующих проекта	+	-	8	13	10	10	12
Оценка эффективности полученных результатов	+	+	4	6	5	5	6
Определение целесообразности проведения ОКР	+	+	2	5	3	3	4
Разработка структурной и принципиальной схемы	+	-	16	25	20	20	24
Создание макета электронного компаса	+	-	20	25	22	22	27
Экспериментальные измерения и подготовка отчёта по НИОКР	+	-	19	24	21	21	25
Итого					110	110	133

Календарный план-график проведения НИОКР представлен в Приложении Д.

5.3 Бюджет научно-технического исследования

5.3.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} , \quad (28)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования,

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида,

C_i – цена единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов,

k_T – коэффициент транспортно-заготовительных расходов.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Датчик MPU-9250	шт.	1	318	382
Плата STM32F103C8T6	шт.	1	310	372
Сдвиговые регистры 74НС595	шт.	4	10	48
Светодиоды	шт.	32	4	154
Резисторы	шт.	32	1	38
Линейный стабилизатор напряжения	шт.	1	7	8
Кнопки	шт.	2	3	7
Фольгированный текстолит	шт.	1	150	180
Итого				1189

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

В данную статью включают все затраты, на специальное оборудование, необходимое для проведения работ по научно-техническому исследованию.

Затраты на специальное оборудование для научно-технического исследования представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество единиц	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Программатор ST-Link	1	210	210
Паяльная станция	1	1000	1000
Итого			1210

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Результаты оценки основной заработной платы исполнителей темы представлены в таблице.

Формула для определения основной заработной платы (ЗП):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (29)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника,

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (30)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.,

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года,

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени.

Баланс рабочего времени руководителя и инженера представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	56	28
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (31)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3,

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (примем данный коэффициент равным 0,2),

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

Результаты оценки основной заработной платы исполнителей темы представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	Доцент, к.т.н.	33664	0,3	0,2	1,3	65644	2720	10	27200
Инженер	1	26300	0,3	0,2	1,3	51285	1939	110	213290
Итого $Z_{осн}$									240490

5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} , \quad (32)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,15.

Тогда, дополнительная заработная плата для руководителя равна:

$$Z_{доп} = 0,15 \times 27200 = 4080 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = 0,15 \times 213290 = 31993 \text{ руб.}$$

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется следующей формулой:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) , \quad (33)$$

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

Для образовательных и научных заведений коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равен 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Основная ЗП, руб.	Дополнительная ЗП, руб.	Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды $k_{внеб}$	Величина отчисления $Z_{внеб}$, руб.
Руководитель	27200	4080	0,271	8476
Инженер	213290	31993	0,271	66471
Итого				74947

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \quad (34)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равняющийся 0,16.

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В данном пункте сформирован бюджет научно-технического проекта. Расчёт бюджета представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	1189	Пункт 3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1210	Пункт 3.2

Продолжение таблицы 16.

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	240490	Пункт 3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	36073	Пункт 3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	74947	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	56625	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	410534	Сумма ст. 1- 6

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

- Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования.

Данный показатель рассчитывается в ходе оценки бюджета затрат трёх исполнений научного проекта. Для этого выбирается наибольший интегральный показатель реализации технической задачи как базу расчета (знаменатель) и относительно этого показателя сравниваются финансовые бюджеты по другим исполнениям проекта.

- Интегральный финансовый показатель разработки вычисляется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (35)$$

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).

Значение величины интегрального финансового показателя определяет увеличение бюджета проекта, если данный показатель больше 1, или уменьшение бюджета проекта, если данный показатель меньше 1, но больше 0.

• Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования

Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (36)$$

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, n – число параметров сравнения.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Новизна проекта	0,25	5	5	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3
3. Функциональность	0,25	5	4	3
4. Пользовательский интерфейс	0,1	4	4	4

Продолжение таблицы 17.

5. Надежность	0,15	4	4	4
6. Материалоемкость	0,1	4	3	4
ИТОГО	1	27	24	20

В качестве исп. 1 принят вариант устройства, описанный в данной дипломной работе, в качестве исп. 2 примем устройство, аналогичное устройству в исп. 1, но выполненное на плате микроконтроллера Arduino UNO, данная плата менее быстродействующая и функциональная, чем STM32F103C8T6, но более распространена на российском рынке. В качестве исп. 3 примем устройство, аналогичное исп. 1, но без возможности определения азимута при отклонениях от горизонтальной плоскости. Для исп. 3 примем интегральный финансовый показатель разработки $I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = 0,85$, для остальных исполнений данный показатель будет равен $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = 1$.

Интегральный показатель ресурсоэффективности для трёх вариантов исполнения:

$$I_{\text{р-исп1}} = 4,65$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 4,15$$

$$I_{\text{р-исп3}} = 3,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки для трёх вариантов исполнения:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,65}{1} = 4,65$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,15}{1} = 4,15$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,25}{0,85} = 3,82$$

Сравнительная эффективность исполнения определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} \quad (37)$$

Тогда для трёх вариантов исполнения сравнительная эффективность равна:

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} = \frac{4,65}{4,15} = 1,12$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп2}}} = \frac{4,15}{4,15} = 1$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{I_{\text{исп3}}}{I_{\text{исп2}}} = \frac{3,82}{4,15} = 0,92$$

Сравнительная эффективность разработок представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработок

№	Показатель	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	0,85
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,15	3,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,15	3,82
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,12	1	0,92

Выводы по главе:

В рамках раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были проведены исследование и анализ научного проекта на конкурентоспособность, временные и финансовые затраты и различные виды эффективности. В результате определены уровень конкурентоспособности на рынке, время выполнения проекта, стоимость материалов и оборудования, зарплата работников и т. д., то есть, рассчитана полная стоимость научного исследования в рамках ВКР, также определён самый эффективный вариант исполнения научной разработки (исп.1), который был выбран в качестве основного.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1А51	Склюеву Андрею Михайловичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	Электронный компас на базе микроконтроллера STM32
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – микроклимат; – повышенный уровень статического электричества; – освещение; – повышенная концентрация вредных веществ в воздухе. <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток.
2. Экологическая безопасность.	Анализ воздействия отходов изделия на литосферу, гидросферу и атмосферу.
3. Безопасность в ЧС.	<p>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – возможные ЧС на объекте: пожар; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий
4. Правовые и организационные основы обеспечения безопасности.	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – компоновка рабочей зоны;

	– режимы труда и отдыха.
--	--------------------------

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А51	Склюев Андрей Михайлович		

Введение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан, собран и исследован электронный компас на базе микроконтроллера STM32. Электропитание устройства обеспечивается с помощью батареек типа АА, напряжение питания равно 3,3 В.

При работе над созданием устройства было использовано оборудование, создающие вредные и опасные факторы для организма человека. Для сборки прибора использовалась паяльная станция, персональный компьютер (ПК). ПК и паяльная станция питаются от промышленной сети, следовательно, есть возможность поражения человека электрическим током. При работе с ПК человек подвергается влиянию ряда вредных факторов, которые нужно изучить и уменьшить для комфортной и продуктивной работы.

В данном разделе ВКР будут рассмотрены возможные вредные и опасные факторы для организма человека, возможные чрезвычайные ситуации (ЧС) при работе, вопросы экологической безопасности и описаны способы уменьшения таких факторов, а также действия для ликвидации случайно возможной ЧС.

6.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации электронного компаса. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [38]. Выявленные факторы перечислены в таблице 19.

Таблица 19 – Опасные и вредные факторы при разработке электронного компаса

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1. Проектирование и сборка электронного компаса.	1. Недопустимые параметры микроклимата; 2. Повышенный уровень статического электричества; 3. Недостаток освещенности.	1. Электрический ток.	1. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 3. Нормы искусственного освещения устанавливаются

Продолжение таблицы 19.

	4. Повышенная загазованность воздуха.		СП 52.13330.2011; 4. ГОСТ 12.2.007.0-75 устанавливает требования безопасности к электротехническим изделиям 5. ГОСТ 12.1.005-88 устанавливает общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
--	---------------------------------------	--	---

Проектирование электронного устройства, его сборка и настройка, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [39], относится к 1б категории – это легкая физическая работа, которая не требует поднятия и переноса тяжестей, производится сидя или связана с ходьбой.

Существуют нормы, регламентирующие оптимальные и предельно допустимые метеорологические условия в рабочей зоне. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место.

Микроклимат производственного помещения оказывает большое влияние на организм человека, на его здоровье и самочувствие, работоспособность и производительность труда. К показателям, характеризующим микроклимат, относятся:

- температура воздуха [$^{\circ}\text{C}$];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [м/с].

Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548-96 приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Тёплый	22-24	40-60	0,1

Для создания оптимальных условий для работы рекомендуется в зимний период времени оборудовать помещения системой отопления, а для поддержания в норме относительной влажности воздуха использовать систему вентиляции.

На сегодняшний день программирование микроконтроллеров осуществляется с помощью специальных программ на ПК. При работе с ПК следует избегать большого контраста между яркостью экрана и окружающего пространства. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе с ПК, во время которых рекомендуется делать упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

Работа при плохом освещении лаборатории утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может быть причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения, ориентации, нарушение обмена веществ, координации, ухудшение сопротивляемости организма, а также создается неблагоприятное психологическое воздействие. Данный фактор нормируется СП 52.13330.2016 [40]. Для минимизации воздействия данного фактора необходимо улучшить искусственное освещение помещения. Например, поменять лампы на более мощные или увеличить количество источников света.

При сборке и наладке электронного компаса используется паяльное оборудование. В процессе пайки при выплавке припоев и флюсов выделяются аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы металлов (марганца, хрома, никеля, железа, меди, титана, алюминия), а также токсичные газы (окись углерода, фтористые, хлористые, бромистые соединения, окислы азота). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 эти вещества относятся к II и III классам опасностей [41]. Профилактические мероприятия, предупреждающие поступление вредных соединений в рабочую зону, заключаются в применении в помещении вытяжных вентиляционных систем как всего помещения в целом, так и непосредственно над местом пайки. В качестве средства индивидуальной защиты рекомендуется использовать респиратор.

6.2 Экологическая безопасность

Работающий электронный компас не наносит вред атмосфере, так как не производит выбросов вредных веществ в воздух, факторы загрязнения атмосферы регламентируются по ГОСТ 17.2.1.01-76 [42]. При монтаже с использованием паяльной станции в воздух выделяются продукты пайки, такие как свинец и олово. Свинец является чрезвычайно опасным веществом (класс 1), в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [41], ПДК в воздухе рабочей зоны может составлять не более 0,01 мг/м³. Олово является веществом умеренно опасным (класс 3). ПДК в воздухе рабочей зоны олова - 10 мг/м³. Очистка воздуха проводится с помощью вытяжки с фильтрацией, тем самым устраняя вредные выбросы в атмосферу.

Согласно ГОСТ 17.1.3.13-86 [43] разработанный прибор не наносит вред гидросфере. При разработке, исследовании, хранении, эксплуатации прибора в помещении лаборатории формируются стоки, которые сбрасываются в систему очистку сточных вод.

В случае неисправности устройства, оно подлежит утилизации. Перед тем как утилизировать технику, нужно произвести списание, для

подтверждения неисправности оборудования, произвести разборку у специалистов, определить, что пойдет на переработку и на аффинаж.

Батарейки типа АА, используемые для питания данного устройства, необходимо также утилизировать. Переработка таких материалов, как пластик, металл, осуществляется на специальном оборудовании, и превращает в сырье для изготовления новой техники.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При разработке и эксплуатации электронного компаса возможно возникновение такой чрезвычайной ситуации техногенного характера, как пожар, вследствие короткого замыкания. Пожары представляют чрезмерную опасность, они могут причинить огромный материальный ущерб, а также вред здоровью человека. Факторами, вызывающие короткое замыкание, могут быть: износ компонентов и материалов, из которых состоит прибор, некорректное обслуживание и эксплуатация, пренебрежение правилами безопасности, халатность. Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности рабочих и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла (научная разработка, проектирование, строительство и эксплуатация) [44].

Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно - технические мероприятия. Для предупреждения возникновения чрезвычайной ситуации необходимо проводить инструктаж по работе с электрооборудованием с обслуживающим персоналом, производить установку прибора только в допустимом для его работы месте, проводить техническое обслуживание прибора не реже чем раз в месяц, иметь быстрый доступ к системам пожаротушения. В случае внезапного возгорания нужно действовать по инструкции, которую должны знать все сотрудники. При возгорании необходимо обесточить лабораторию или отключить прибор,

вынув шнур из розетки, не подвергая свою жизнь опасности. Если возгорание только началось, небольшой очаг возгорания можно попытаться потушить первичными средствами пожаротушения, а именно, огнетушителем для тушения электроприборов. Не допускается тушение пожара водой.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Среди работ, выполняемых на производстве, значительная часть сопряжена с наличием вредных или опасных производственных факторов. О вредных и опасных условиях труда на предприятии, компенсациях и льготах за такую работу должно сообщаться каждому поступающему на работу. Также об этом указывается в трудовом договоре. При этом работодатель обязан ознакомить лиц, устраивающихся на работу, с такими условиями труда, обучить безопасным методам и приемам выполнения работ, обеспечить стажировку на рабочем месте, сдачу экзаменов и проведение периодического обучения по охране труда, а также проверку знаний требований охраны труда в период работы.

Согласно ст. 221 ТК РФ [45], на работах с вредными или опасными условиями труда работодатель должен обеспечить работника специальной одеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты, а также смывающими и (или) обезвреживающими средствами, медицинскими препаратами для оказания первой помощи и т.д. Работодатель за счет своих средств обязан в соответствии с установленными нормами обеспечивать своевременную выдачу специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, а также их хранение, стирку, сушку, ремонт и замену (ч. 3 ст. 221 ТК РФ) [45].

Работникам, выполняющим работу во вредных и (или) опасных условиях труда необходимо проходить медосмотр, что предусмотрено ст. 213 ТК РФ, как при трудоустройстве, так и периодически в процессе работы [46]. Порядок медосмотра зафиксирован приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12.04.2011 № 302н [47]. Согласно требованиям данного документа, медосмотр проводится раз в год либо раз в 2 года в зависимости от профессии и вредных факторов (от этого зависит и перечень врачей-специалистов).

Работники, труд которых связан с источниками повышенной опасности (влиянием вредных веществ и неблагоприятных производственных факторов), а также работающие в условиях повышенной опасности, проходят обязательное психиатрическое освидетельствование не реже раза в пять лет (ч. 6 ст. 213 ТК РФ) [48].

Помимо медосмотра работник обязан проходить проверку знаний в области охраны труда и обучение оказанию первой помощи пострадавшим не реже чем раз в 3 года согласно Постановлению Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций» [49].

6.4.2 Рабочие мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место для выполнения работ в положении сидя организуется в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78[50].

При проектировании письменного стола следует учитывать следующее:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы работник мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения инженера;

- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей, личных вещей).

- параметры рабочего места выбираются в соответствии с антропометрическими характеристиками.

При использовании этих данных в расчетах следует исходить из максимальных антропометрических характеристик. Так как разработка устройства ведётся с помощью персонального компьютера, то необходимо руководствоваться СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в котором изложены общие требования к организации рабочих мест пользователей ЭВМ [].

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы проведена разработка электронного компаса, который включил в себя возможность определения азимута при отклонениях от горизонтальной плоскости, возможность калибровки и возможность учёта магнитного склонения. Также был изготовлен макет электронного компаса. Вывод направления на север производится с помощью круга из 32-ух светодиодов, тем самым, на один светодиод приходится $11,25^\circ$.

В дальнейшем планируется увеличение числа светодиодов для большей точности в указании направления на север, уменьшение размеров устройства.

Список используемых источников

1. Непомнящий О. В. Микропроцессорные системы. Учебное пособие. – Сиб. фед. ун-т, 2009 – 175 с.
2. Дьяченко А. И. Магнитные полюса Земли. – М: МЦНМО, 2003 – 48 с.: ил.
3. Тарасов. Л. В. Магнитные полюса Земли — путешествие во времени // Наука и жизнь. – 2017. – № 5. – с. 108-113.
4. Разваляева В.А., Сабенина С.В. Магнитное поле Земли [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. XLI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(41). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1\(41\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(41).pdf) (дата обращения: 02.04.2019)
5. Колесова В. И. Аналитические методы магнитной картографии / В. И. Колесова; Отв. ред. В. И. Почтарев. – М. : Наука, 1985. – 222 с. : ил.
6. Natural resources Canada. Magnetic declination calculator. [Электронный ресурс] URL: http://geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-ren.php?date=2019-02-06&latitude=56&latitude_direction=1&longitude=89&longitude_direction=1 дата обращения (10.04.2019).
7. Konvalin Christopher. Compensating for Tilt, Hard-Iron, and SoftIron Effects / ChristopherKonvalin // MEMSense LLC. — 2009. —P. 2–10.
8. Cho S.Y. A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices /S.Y. Cho, C.G. Park // ETRI Journal. — 2005, June. — Vol. 27, N 3.
9. Определение горизонтальных составляющих магнитного поля Земли при помощи магнетометров в составе электронного компаса / Н.В. Раевский, Ю.В. Морозов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2010. — Т. 12, № 3. — С. 25-35. — Бібліогр.: 11 назв. — рос.

10. Bratland Tamara. Linear Position Sensing Using Magnetoresistive Sensors / Tamara Bratland, Hong Wan. — Honeywell Solid State Electronics Center. — 2002. — P. 4–5.
11. Caruso M.J. Applications of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems / Michael J.Caruso. — Honeywell Solid State Electronics Center. — 2004. — P. 1–8.
12. Caruso M.J. Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems / Michael J. Caruso. — Honeywell Solid State Electronics Center. — 2005. — P. 3–4.
13. Кашкаров А. П. Микромеханические системы и элементы. – М.: ДМК Пресс, 2018 – 112 с.
14. Александров П.С. Лекции по аналитической геометрии. – М.: Наука., 1968. – 912 с.
15. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Физматлит, 1961.–82 с.
16. Implementing a Tilt-Compensated eCompass using Accelerometer and Magnetometer Sensors. Freescale Semiconductor Application Note// [Электронный ресурс] URL: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN4248.pdf> (дата обращения: 20.04.2019).
17. M B Ignagni. Optimal strapdown attitude integration algorithms. In Guidance, Control, and Dynamics, volume 13, pages 363–369, 1990.
18. N. Yazdi, F. Ayazi, and K. Najafi. Micromachined inertial sensors. 86(8):1640–1659, August 1998.
19. David H. Titterton and John L. Weston. Strapdown inertial navigation technology. The Institution of Electrical Engineers, 2004.
20. E. Foxlin. Inertial head-tracker sensor fusion by a complementary separate-bias kalman filter. In Proc. Virtual Reality Annual International Symposium the IEEE 1996, pages 185–194,267, March 30–April 3, 1996.
21. H. J. Luinge, P. H. Veltink, and C. T. M. Baten. Estimation of orientation with gyroscopes and accelerometers. In Proc. First Joint [Engineering in Medicine

and Biology 21st Annual Conf. and the 1999 Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Soc.] BMES/EMBS Conference, volume 2, page 844, October 13–16, 1999.

22. J. L. Marins, Xiaoping Yun, E. R. Bachmann, R. B. McGhee, and M. J. Zyda. An extended kalman filter for quaternion-based orientation estimation using marg sensors. In Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, volume 4, pages 2003–2011, October 29–November 3, 2001.

23. TDK InvenSense. Datasheet MPU-9250. [Электронный ресурс] URL: <https://www.invensense.com/download-pdf/mpu-9250-datasheet> (дата обращения 11.04.2019).

24. TDK InvenSense. Datasheet MPU-6500. [Электронный ресурс] URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6500-Datasheet2.pdf> (дата обращения 11.04.2019).

25. Asahi KASEI Datasheet AK8963. [Электронный ресурс] URL: <https://www.akm.com/akm/en/file/datasheet/AK8963C.pdf> (дата обращения 11.04.2019).

26. Datasheet GY-80. [Электронный ресурс] URL: https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=GY80 (дата обращения 11.04.2019).

27. Bosch Sencortec. BNO055. [Электронный ресурс] URL: https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bno055 (дата обращения 11.04.2019).

28. ST Microelectronics. Datasheet STM32F103Cx. [Электронный ресурс] URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/CD00161566.pdf> (дата обращения 11.04.2019).

29. Описание платы Arduino Nano. [Электронный ресурс] URL: <http://arduino-nano.ru/#desc> (дата обращения 13.04.2019).

30. Сдвиговые регистры M74HC595 [Электронный ресурс] URL: <http://lib.chipdip.ru/235/DOC000235947.pdf> (дата обращения 19.04.2019).

31. Губарев Ф. А. Цифровые устройства. Практикум: учебное пособие / Ф.А. Губарев, О.И. Андрющенко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 108 с.

32. TDK InvenSense. Register Map and Description MPU-9250. [Электронный ресурс] URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-9250-Register-Map.pdf> (дата обращения 19.04.2019).

33. Микропроцессорные системы управления: учебное пособие / В.Б. Садов, В.О. Чернецкий. – Челябинск: Издательский центр ЮУГУ, 2013. – 59 с.

34. Благов А. Е. Микропроцессорные устройства систем управления. Учебное пособие. – Казань.: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2013. – 150 с. ил.

35. FT232RL-REEL, Преобразователь USB-UART. Сайт www.chipdip.ru. [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/ft232rl> (дата обращения 15.03.2019).

36. Резисторы. Справочник. Под ред. И. И. Четверткова, В. М. Терехова. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.

37. Конденсаторы. Справочник. Под ред. И. И. Четверткова, М. Н. Дьяконова. – М.: Радио и связь, 1993. – 392 с.: ил.

38. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

39. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

40. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

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

42. ГОСТ 17.2.1.01 -76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.

43. ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения».

44. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 3 июля 2016 года).

45. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.

46. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.

47. Приказ Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 N 302н (ред. от 05.12.2014) "Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда".

48. Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г.

49. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда.

50. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы.

Приложение А

(обязательное)

Принципиальная схема устройства

Приложение Б

(обязательное)

Перечень элементов

Таблица Б.1 – Перечень элементов

Приложение В

(справочное)

Карта регистров модуля MPU-9250

Таблица В.1 – Карта регистров модуля MPU-9250

Addr (Hex)	Addr (Dec.)	Register Name	Serial IF	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
00	0	SELF_TEST_X_GYRO	R/W	xg_st_data [7:0]							
01	1	SELF_TEST_Y_GYRO	R/W	yg_st_data [7:0]							
02	2	SELF_TEST_Z_GYRO	R/W	zg_st_data [7:0]							
0D	13	SELF_TEST_X_ACCEL	R/W	XA_ST_DATA [7:0]							
0E	14	SELF_TEST_Y_ACCEL	R/W	YA_ST_DATA [7:0]							
0F	15	SELF_TEST_Z_ACCEL	R/W	ZA_ST_DATA [7:0]							
13	19	XG_OFFSET_H	R/W	X_OFFSET_USR [15:8]							
14	20	XG_OFFSET_L	R/W	X_OFFSET_USR [7:0]							
15	21	YG_OFFSET_H	R/W	Y_OFFSET_USR [15:8]							
16	22	YG_OFFSET_L	R/W	Y_OFFSET_USR [7:0]							
17	23	ZG_OFFSET_H	R/W	Z_OFFSET_USR [15:8]							
18	24	ZG_OFFSET_L	R/W	Z_OFFSET_USR [7:0]							
19	25	SMP_LRT_DIV	R/W	SMP_LRT_DIV[7:0]							
1A	26	CONFIG	R/W	.	FIFO_MODE	EXT_SYNC_SET[2:0]			DLPF_CFG[2:0]		
1B	27	GYRO_CONFIG	R/W	XGYRO_Ct_en	YGYRO_Ct_en	ZGYRO_Ct_en	GYRO_FS_SEL [1:0]		.	FCHOICE_B[1:0]	
1C	28	ACCEL_CONFIG	R/W	ax_st_en	ay_st_en	az_st_en	ACCEL_FS_SEL[1:0]		.		
1D	29	ACCEL_CONFIG 2	R/W	.				ACCEL_FCHOICE_B		A_DLPF_CFG	
1E	30	LP_ACCEL_ODR	R/W	.				Lposc_dkssel [3:0]			
1F	31	WOM_THR	R/W	WOM_Threshold [7:0]							
23	35	FIFO_EN	R/W	TEMP_FIFO_EN	GYRO_XO_UT	GYRO_YO_UT	GYRO_ZO_UT	ACCEL	SLV2	SLV1	SLV0
24	36	I2C_MST_CTRL	R/W	MULT_MST_EN	WAIT_FOR_ES	SLV_3_FIFO_EN	I2C_MST_P_NSR	I2C_MST_CLK[3:0]			
25	37	I2C_SLV0_ADDR	R/W	I2C_SLV0_RNW	I2C_ID_0 [6:0]						
26	38	I2C_SLV0_REG	R/W	I2C_SLV0_REG[7:0]							
27	39	I2C_SLV0_CTRL	R/W	I2C_SLV0_EN	I2C_SLV0_BYTE_SW	I2C_SLV0_REG_DIS	I2C_SLV0_GRP	I2C_SLV0 LENG[3:0]			
28	40	I2C_SLV1_ADDR	R/W	I2C_SLV1_RNW	I2C_ID_1 [6:0]						
29	41	I2C_SLV1_REG	R/W	I2C_SLV1_REG[7:0]							
2A	42	I2C_SLV1_CTRL	R/W	I2C_SLV1_EN	I2C_SLV1_BYTE_SW	I2C_SLV1_REG_DIS	I2C_SLV1_GRP	I2C_SLV1 LENG[3:0]			
2B	43	I2C_SLV2_ADDR	R/W	I2C_SLV2_RNW	I2C_ID_2 [6:0]						
2C	44	I2C_SLV2_REG	R/W	I2C_SLV2_REG[7:0]							
2D	45	I2C_SLV2_CTRL	R/W	I2C_SLV2_EN	I2C_SLV2_BYTE_SW	I2C_SLV2_REG_DIS	I2C_SLV2_GRP	I2C_SLV2 LENG[3:0]			
2E	46	I2C_SLV3_ADDR	R/W	I2C_SLV3_RNW	I2C_ID_3 [6:0]						
2F	47	I2C_SLV3_REG	R/W	I2C_SLV3_REG[7:0]							
30	48	I2C_SLV3_CTRL	R/W	I2C_SLV3_EN	I2C_SLV3_BYTE_SW	I2C_SLV3_REG_DIS	I2C_SLV3_GRP	I2C_SLV3 LENG [3:0]			
31	49	I2C_SLV4_ADDR	R/W	I2C_SLV4_RNW	I2C_ID_4 [6:0]						
32	50	I2C_SLV4_REG	R/W	I2C_SLV4_REG[7:0]							
33	51	I2C_SLV4_DO	R/W	I2C_SLV4_DO[7:0]							
34	52	I2C_SLV4_CTRL	R/W	I2C_SLV4_EN	SLV4_DON_E_INT_EN	I2C_SLV4_REG_DIS	I2C_MST_DLY[4:0]				

Приложение Г
(справочное)

Алгоритм программы для компьютера

Приложение Д
(обязательное)

Календарный рейтинг-план проведения НИОКР

Таблица Д.1 – Календарный рейтинг-план проведения НИОКР

Наименование работ	Исполнители		Кал. дни T_{ki}															
				янв.			февр.			март			апр.			май.		
	Инже- нер	Руководи- тель			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Составление и утверждение технического задания	+	+	6	■														
Изучение проблемы навигации при помощи компасов	+	-	12	■	■													
Выбор направления исследования	+	-	4		■													
Выбор комплектующих проекта	+	-	9		■	■												
Создание алгоритма вычисления азимута	+	-	14			■	■											
Изучение документации комплектующих проекта	+	-	12				■	■										
Оценка эффективности полученных результатов	+	+	6						■	■								
Определение целесообразности проведения ОКР	+	+	4						■	■								
Разработка структурной и принципиальной схемы	+	-	30								■	■	■					
Создание макета электронного компаса	+	-	36										■	■	■	■		
Экспериментальные измерения и подготовка отчёта по НИОКР	+	-	20													■		

■ Инженер, ■ Руководитель.

Приложение Е

(справочное)

Код программы для компьютера

```
#include "pch.h"
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <Windows.h>
#include <conio.h>          //подключение заголовочных файлов
void main(void)
{
    HANDLE ComHandle;// переменная для хранения дескриптора
    DCB PortSettings;// переменная для хранения DCB структуры

    ComHandle = CreateFile(L"COM3", // открываем порт COM1
        GENERIC_READ | GENERIC_WRITE, // для чтения и записи
        FILE_SHARE_WRITE | FILE_SHARE_READ, NULL, OPEN_EXISTING, 0, NULL);
    if (ComHandle == INVALID_HANDLE_VALUE)
    {
        printf("COM3 opening error!\n");//если ошибка - выведем сообщение
        _getch();
        return;
    }
    if (!GetCommState(ComHandle, &PortSettings))// читаем настройки
    {
        printf("Error settings reading\n");// в случае ошибки выведем
сообщение
        _getch();
        return;
    }
    printf("Current settings of COM3:\n");// выведем в консоль
    printf("Baud rate is %d\n", PortSettings.BaudRate);
    printf("Input parity control: %d\n", PortSettings.fParity);
    printf("Output parity: %d\n", PortSettings.Parity);
    printf("Size of byte: %d\n", PortSettings.ByteSize);
    printf("Number of Stop-bits: %d\n", PortSettings.StopBits);
    if (!GetCommState(ComHandle, &PortSettings))// читаем текущие настройки
    {
        printf("Error settings reading\n");// в случае ошибки выведем
сообщение
    }
    // меняем настройки на свои:
    PortSettings.BaudRate= CBR_110; // скорость 9600
    PortSettings.fParity = 0; // не проверяем паритет
    PortSettings.Parity = 0; // не отправляем паритет
    PortSettings.ByteSize = 8; // 8 бит в посылке
    PortSettings.StopBits = 0; // 1 стоп-бит
    if (!SetCommState(ComHandle, &PortSettings))// записываем настройки
    {
        printf("Error settings writing\n");
    }

    DWORD bytesRead; // переменная для количества принятых байт
    char D=0; // переменная для хранения принятых данных
    char M=0; // переменная для хранения принятых данных
    DWORD bytesWritten; // переменная для количества отправленных байтов
    int azimuth = 0x00; // переменная для отправляемых данных
    BOOL res= FALSE;
    BOOL result = FALSE; // переменные, отвечающие за результат считывания
```

```

printf("%s", "Enter the magnetic declination:")
scanf_s("%d/n", &D);
WriteFile(ComHandle, // дескриптор порта
          &D, // отправляемая переменная
          1, // количество отправляемых байтов
          &bytesWritten, //сюда будет записано количество фактически
//отправленных байтов
          NULL);
printf("%s%d%s\n", "It was sent ", bytesWritten, " bytes");
while (1)
{
    res=ReadFile(ComHandle, // дескриптор порта
                &M, // переменная для хранения принятых данных
                1, // количество читаемых байтов
                &bytesRead, // сюда будет записано количество фактически считанных
//байтов
                NULL);

    printf("Magnetic Declination=%d\n", M);
    if (res == TRUE)
    {
        while (1)
        {
            result = ReadFile(ComHandle, // дескриптор порта
                              &azimuth, // переменная для хранения
//принятых данных
                              2, // количество читаемых байтов
                              &bytesRead, // сюда будет записано
//количество фактически считанных байтов
                              NULL);
            printf("Azimuth=%d\n", azimuth);
        }
    }
}
_getch();
CloseHandle(ComHandle);
}

```

Приложение Ж

(справочное)

Код программы для микроконтроллера

```
#include "main.h"
#include "stm32f1xx_hal.h"
#include "MPU9250.h"
#include <math.h> // подключение заголовочных файлов
#define CS_RESET HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET)
#define CS_SET HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET)
#define SCK HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET); HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,
GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET)
#define DATA_HIGH HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET)
#define DATA_LOW HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET)
SPI_HandleTypeDef hspi1;
UART_HandleTypeDef huart1;
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_SPI1_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
uint8_t cnt=0;
int16_t mag_bias_X, mag_bias_Y, mag_bias_Z;
int16_t AccData[3];
int16_t MagData[3];
int16_t GyroData[3];
float roll;
float pitch;
uint16_t yaw;
unsigned char a;
int16_t m;
int16_t maxX, minX, maxY, minY, maxZ, minZ;
int16_t ax, ay, az, gx, gy, gz, mx, my, mz;
uint16_t ii = 0, sample_count = 0;
int8_t Declination[1]={0};
uint8_t UART_byte1, UART_byte2;
uint8_t D;
uint8_t azimuth [2]={0}; // объявление переменных
int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_SPI1_Init();
    MX_USB_DEVICE_Init();
    MX_USART1_UART_Init(); // настройка микроконтроллера
    MPU_begin(); // инициализация модуля MPU9250
    HAL_Delay(100); //задержка
    enableDataReadyInterrupt(); // настройка модуля MPU9250
    HAL_Delay(100); //задержка
    setSrd(0); // инициализация модуля MPU9250

    while (1)
    {
        HAL_UART_Receive_IT(&huart1,(uint8_t*) Declination, 1); // приём значения
магнитного склонения
        if(Declination[0]!=0)
        {HAL_UART_Transmit (&huart1, (uint8_t*)Declination, 1, 100); //отправка
значения магнитного склонения
        HAL_Delay(1000); // задержка
        while (1)
        {
            UART_byte1 = yaw & 0x00FF;
```

```

        UART_byte2 = yaw >> 8;    // представление переменной yaw в 8-битной
        форме
        azimuth [0]=UART_byte1;
        azimuth [1]=UART_byte2;    // заполнение массива
        HAL_UART_Transmit (&huart1, azimuth, 2, 100);    //отправка значения
//азимута
        HAL_Delay(50);    //задержка
    }
//отправка данных в сдвиговые регистры для зажигания одного светодиода,
//соответствующего азимуту
if (yaw < 11.25)
{
    a=22;
}
else if (yaw < 2*11.25)
{
    a=21;
}
else if (yaw < 3*11.25)
{
    a=20;
}
else if (yaw < 4*11.25)
{
    a=19;
}
else if (yaw < 5*11.25)
{
    a=18;
}
else if (yaw < 6*11.25)
{
    a=17;
}
else if (yaw < 7*11.25)
{
    a=16;
}
else if (yaw < 8*11.25)
{
    a=15;
}
else if (yaw < 9*11.25)
{
    a=14;
}
else if (yaw < 10*11.25)
{
    a=13;
}
else if (yaw < 11*11.25)
{
    a=12;
}
else if (yaw < 12*11.25)
{
    a=11;
}
else if (yaw < 13*11.25)
{
    a=10;
}
else if (yaw < 14*11.25)
{
    a=9;
}
else if (yaw < 15*11.25)
{
    a=8;
}

```

```

    }
else if (yaw < 16*11.25)
    {
    a=7;
    }
else if (yaw < 17*11.25)
    {
    a=6;
    }
else if (yaw < 18*11.25)
    {
    a=5;
    }
else if (yaw < 19*11.25)
    {
    a=4;
    }
else if (yaw < 20*11.25)
    {
    a=3;
    }
else if (yaw < 21*11.25)
    {
    a=2;
    }
else if (yaw < 22*11.25)
    {
    a=1;
    }
else if (yaw < 23*11.25)
    {
    a=0;
    }
else if (yaw < 24*11.25)
    {
    a=24;
    }
else if (yaw < 25*11.25)
    {
    a=31;
    }
else if (yaw < 26*11.25)
    {
    a=30;
    }
else if (yaw < 27*11.25)
    {
    a=29;
    }
else if (yaw < 28*11.25)
    {
    a=28;
    }
else if (yaw < 29*11.25)
    {
    a=27;
    }
else if (yaw < 30*11.25)
    {
    a=26;
    }
else if (yaw < 31*11.25)
    {
    a=25;
    }
else if (yaw < 32*11.25)
    {
    a=23;
    }

```

```

    }
    CS_RESET;
    DATA_HIGH; // установка 1 на входе данных
    SCK; // синхроимпульс
    DATA_LOW; // установка 1 на входе данных
    if (a==0)
    {
        CS_SET;
        CS_RESET; // вывод последовательных данных во внешние регистры
//сдвигового регистра
        for (unsigned char i=0; i<32; i++)
        {
            SCK; // синхроимпульсы
        }
    }
    else
    {
        for (unsigned char i=0; i< a; i++)
        {
            SCK; // синхроимпульсы
        }
        CS_SET;
        CS_RESET; // вывод последовательных данных во внешние регистры
        for (unsigned char i=0; i<(32-a); i++)
        {
            SCK; // синхроимпульсы
        }
    }
    HAL_Delay (50); // задержка
}

}

void SystemClock_Config(void) //настройка тактирования
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit = {0};
    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSEPredivValue = RCC_HSE_PREDIV_DIV1;
    RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL9;
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
        |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
    RCC_ClkInitStruct.SYSClkSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
    RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV2;
    RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
    RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

    if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_USB;
    PeriphClkInit.UsbClockSelection = RCC_USBCLKSOURCE_PLL_DIV1_5;
    if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void MX_SPI1_Init(void) //настройка SPI1

```

```

{
    hspi1.Instance = SPI1;
    hspi1.Init.Mode = SPI_MODE_MASTER;
    hspi1.Init.Direction = SPI_DIRECTION_2LINES;
    hspi1.Init.DataSize = SPI_DATASIZE_8BIT;
    hspi1.Init.CLKPolarity = SPI_POLARITY_LOW;
    hspi1.Init.CLKPhase = SPI_PHASE_1EDGE;
    hspi1.Init.NSS = SPI_NSS_HARD_OUTPUT;
    hspi1.Init.BaudRatePrescaler = SPI_BAUDRATEPRESCALER_4;
    hspi1.Init.FirstBit = SPI_FIRSTBIT_MSB;
    hspi1.Init.TIMode = SPI_TIMODE_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCCalculation = SPI_CRCCALCULATION_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCPolynomial = 10;
    if (HAL_SPI_Init(&hspi1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}
static void MX_USART1_UART_Init(void) //настройка UART1
{
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 110;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}
static void MX_GPIO_Init(void) //настройка портов ввода/вывода
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_12|GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_RISING;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_PULLDOWN;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_3;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_0;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_12|GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_HIGH;
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);
    HAL_NVIC_SetPriority(EXTI0_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(EXTI0_IRQn);

    HAL_NVIC_SetPriority(EXTI1_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(EXTI1_IRQn);

    HAL_NVIC_SetPriority(EXTI2_IRQn, 0, 0);
}

```



```

HAL_NVIC_EnableIRQ(EXTI2_IRQn);
}
void CalibrateSensorData () // функция калибровки
{
    sample_count = 1500; // количество отсчётов равно 1500
    uint16_t* mag_x[sample_count], mag_y[sample_count], mag_z[sample_count]; //объявляем
    //массивы для значений по осям x, y, z.
    for(ii = 0; ii < sample_count; ii++)
    {
        readSensor(); // считывание данных с датчика
        mag_x[ii]=_mxcounts;
        mag_y[ii]=_mycounts;
        mag_z[ii]=_mzcounts; // занесение данных магнитометра в
        // соответствующие массивы
        for (int i=0; i<70000; i++); //задержка
    }
    maxX=mag_x[0];
    maxY=mag_y[0];
    maxZ=mag_z[0];
    minX=0xFFFF;
    minY=0xFFFF;
    minZ=0xFFFF;
    for(int i = 1; i < sample_count; i++) // поиск самого маленького и самого //большого
        значения магнитной индукции
    {
        m=mag_x[i];
        if(m>maxX)
        {
            maxX=m;
        }
        if (m<minX)
        {
            minX=m;
        }
        m=mag_y[i];
        if( m > maxY)
        {
            maxY=m;
        }
        if (m<minY)
        {
            minY=m;
        }
        m=mag_z[i];
        if(m>maxZ)
        {
            maxZ=m;
        }
        if (m<minZ)
        {
            minZ=m;
        }
    }
    mag_bias_X=(maxX+minX)/2;
    mag_bias_Y=(maxY+minY)/2;
    mag_bias_Z=(maxZ+minZ)/2; // вычисление смещения по осям X, Y, Z
}
void TransmitSensorData()
{
    readSensor(); //функция считывания данных с датчиков
    ax=-_aycounts;
    ay=_axcounts;
    az=-_azcounts; // значения ускорения по осям X, Y, Z
    mx = _mxcounts - mag_bias_X;
    my = -_mycounts - mag_bias_Y;
    mz = -_mzcounts-mag_bias_Z; // значения магнитной индукции по осям //X, Y, Z
}

```

```

    roll=atan2(ay,az);          // значение угла roll (крен)
    pitch=atan2((-ax),(ay*sin(roll)+az*cos(roll))); // значение угла pitch
// (тангаж)

    yaw=Declination[0]+180+57.29*atan2((mz*sin(roll)-
(my)*cos(roll)),((mx)*cos(pitch)+(my)*sin(roll)*sin(pitch)+(mz)*sin(pitch)*cos(roll)));
// получение значения угла yaw - азимут
}

void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin) //обработчик прерывания
{
    if (GPIO_Pin==GPIO_PIN_2) // если прерывание по порту PA2
    {
        CalibrateSensorData(); //вызов функции калибровки данных
    }
    else if (GPIO_Pin==GPIO_PIN_1) // если прерывание по порту PA1
    {
        TransmitSensorData(); // вызов функции обработки данных
    }
}

void Error_Handler(void)
{
    while(1)
    {
    }
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
}
#endif

```