

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

---

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) – 15.04.06. «Мехатроника и робототехника»  
Отделение школы (НОЦ) – Автоматизация и робототехника

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Система управления автономного охранного квадрокоптера</b>
УДК 681.51.01:629.73-519-049.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Сырымкин В.И.	д.т.н., профессор		
Руководитель ООП	Мальшенко А.М.	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГТ ШБИП ТПУ	Петухов О.Н.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ ТПУ	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов С.В.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные</b>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно- техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9). Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК- 3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7). Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8). Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК- 8, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК- 2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>Универсальные</b>		
P7	Эффективно работать в профессиональной	Требования ФГОС

	деятельности индивидуально и в качестве члена команды	(ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социальноэкономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9). Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3,), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN
P10	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4). Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8). Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

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

---

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) – 15.04.06. «Мехатроника и робототехника»  
Отделение школы (НОЦ) – Автоматизация и робототехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич

Тема работы:

**Система управления автономного охранного квадрокоптера**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Субсидия 14.578.21.0241 от 26 сентября 2017 г. на проект, направленный на разработку автономной системы защиты частных территорий от несанкционированных полетов малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).  
Объектом исследования является система управления автономного охранного квадрокоптера.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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>Введение</p> <p>1. Область и объект исследования</p> <p>2. Разработка аппаратной архитектуры автономного охранного квадрокоптера</p> <p>3. Разработка архитектуры и алгоритма системы управления автономного охранного квадрокоптера</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5. Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Раздел 1 – 3</p>	<p>Сырямкин В.И.</p>
<p>Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Петухов О.Н.</p>
<p>Раздел 5. Социальная ответственность</p>	<p>Бородин Ю.В.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Горбатова Татьяна Николаевна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Раздел 1. Область и объект исследования</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>01.02.2018</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор ОАР ИШИТР</p>	<p>Сырямкин В.И.</p>	<p>д.т.н.</p>		<p>01.02.2018</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8ЕМ61</p>	<p>Мироненко Данил Николаевич</p>		<p>01.02.2018</p>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) – 15.04.06. «Мехатроника и робототехника»  
Уровень образования – Магистратура  
Отделение школы (НОЦ) – Автоматизация и робототехника  
Период выполнения – Весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2018	Глава 1. Область и объект исследования	20
03.04.2018	Глава 2. Разработка аппаратной архитектуры автономного охранного квадрокоптера	25
21.04.2018	Глава 3. Разработка архитектуры и алгоритма системы управления автономного охранного квадрокоптера	25
01.05.2018	Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
10.05.2018	Глава 5. Социальная ответственность	10
19.05.2018	Проверка оформления. Заключение.	5
31.05.2018	Сдача выполненной работы.	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сырямкин В.И.	д.т.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Мальшенко А.М.	д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич

Школа	ИШИТР	Отделение	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Итоговая стоимость затрат на НИ составила 201793,548 руб</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций и др.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные страховые фонды (30 %)</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Петухов О.Н.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
8ЕМ61		Мироненко Данил Николаевич	
<b>Школа</b>	ИШИТР	<b>Отделение</b>	Автоматизации и робототехники
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.04.06 Мехатроника и робототехника

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

<p>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<p>Рабочим местом является аудитория № 211 в учебном корпусе №10с Томского государственного университета. В аудитории рабочей зоной является место за персональным компьютером, отведённое студенту для выполнения работы. Технологический процесс представляет собой разработку алгоритма системы управления автономного охранного квадрокоптера, а также выбор компонентов и сборка беспилотного летательного аппарата. Основным оборудованием, на котором производится работа, является персональный компьютер с периферийными устройствами. Вредными факторами производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: недостаточная освещённость рабочей зоны, отсутствие или недостаток естественного света, повышенный уровень шума, повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенная или пониженная влажность воздуха, повышенная напряжённость электрического поля.</p> <p>Опасными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: электрический ток, вращающиеся части квадрокоптера.</p> <p>Чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем</p>
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>• уровень шума;</li> <li>• уровень электромагнитных излучений;</li> <li>• напряжённость электрического поля;</li> <li>• микроклимат.</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• электрический ток;</li> <li>• сбой в пилотировании квадрокоптера.</li> </ul>
<p><b>2. Охрана окружающей среды:</b></p>	<p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит.</p> <p>В работе проведён анализ воздействия на литосферу (загрязнение окружающей среды литий-ионными аккумуляторами).</p>
<p><b>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).</p>



<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируются в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
--	---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 110 страниц, 41 рисунок, 16 таблиц, список используемых источников содержит 30 наименования и приложение на 10 листах.

Ключевые слова: ROS (Robot Operating System), MAVROS, автономное управление, MAVLink, полетный контроллер, аппаратно-программная архитектура, безопасность, малогабаритные беспилотные летающие аппараты.

Объектом исследования является автономное управление охранном квадрокоптером.

Предметом исследования является аппаратно-программная система управления автономного охранного квадрокоптера.

Цель данной работы – разработка аппаратной и программной архитектур системы управления автономного охранного квадрокоптера.

В процессе исследования обозреваются проблемы защиты частных территорий от несанкционированных вторжений малогабаритных беспилотных летающих аппаратов. Представляется обзор существующих решений охраны периметров с использованием БПЛА. Разработана архитектура аппаратного обеспечения автономного охранного квадрокоптера, выполнена его сборка. Разработана программная архитектура системы управления автономного охранного квадрокоптера, а также алгоритм работы и его программная реализация. Проведены тестовые испытания для определения работоспособности. Проводились определение социальной ответственности, расчет финансовой эффективности проекта.

В результате исследования была разработана система управления автономного охранного квадрокоптера, которая способна гибко расширять функционал устройства.

Область применения: разработанная система управления автономного охранного квадрокоптера может применяться для управления квадрокоптерами в охранных системах.

## Оглавление

Определения и сокращения .....	13
Введение .....	14
1. Область и объект исследования .....	15
1.1 Проблема охраны территорий от малогабаритных БПЛА .....	17
1.2 Обзор известных методов решения проблемы .....	19
1.3 Постановка задачи проектирования системы управления охранного квадрокоптера .....	23
2. Разработка аппаратной архитектуры автономного охранного квадрокоптера .....	25
2.1 Полетный контроллер.....	27
2.1.1 Характеристики центрального процессора (CPU) .....	29
2.1.2 Интерфейсы подключения .....	29
2.1.3 Характеристики гироскопа.....	29
2.1.4 Характеристики акселерометра .....	29
2.1.5 Вторичный инерционный измерительный блок .....	30
2.1.6 Аналого-цифровой преобразователь .....	30
2.1.7 Барометрический датчик давления.....	30
2.1.8 Зуммер и переключатель постановки на охрану.....	31
2.1.9 Регулятор напряжения .....	31
2.2 Рама квадрокоптера .....	32
2.3 Электродвигатель.....	33
2.4 Электронный регулятор скорости (ESC).....	36
2.5 Аккумуляторная батарея .....	38
2.6 Выбор пропеллеров .....	41
2.7 PX4Flow .....	42
2.7.1 Принцип работы датчика с оптическим потоком .....	43
2.8 Дальномер Leddar One Lidar .....	45
2.9 Миникомпьютер Raspberry Pi 3 .....	46
2.10 Результат сборки квадрокоптера.....	48
3. Разработка архитектуры и алгоритма системы управления автономного охранного квадрокоптера .....	49
3.1 Автопилот PX4.....	51
3.2 Программная среда Robot Operating System .....	54
3.2.1 MAVROS.....	58
3.3 Протокол MAVLink .....	58
3.3.1 Структура пакета MAVLink .....	59
3.3.2 Сообщения MAVLink .....	60

3.4 Алгоритм управления автономным полетом охранного квадрокоптера .....	61
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	70
4.1 Организация и планирование работ .....	70
4.2 Продолжительность этапов работ .....	72
4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	77
4.3.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия .....	77
4.3.2 Расчет заработной платы .....	79
4.3.3 Расчет затрат на электроэнергию .....	80
4.3.4 Расчет затрат на социальный налог .....	81
4.3.5 Расчет амортизационных расходов .....	81
4.3.6 Расчет прочих (накладных) расходов .....	82
4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки .....	82
5. Социальная ответственность .....	83
5.1 Производственная безопасность .....	84
5.1.1 Микроклимат .....	84
5.1.2 Естественная освещенность .....	85
5.1.3 Уровень шума .....	86
5.1.4 Уровень электромагнитных излучений .....	87
5.1.5 Электробезопасность .....	88
5.1.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	90
5.1.7 Сбои в пилотировании квадрокоптера .....	90
5.2 Охрана окружающей среды .....	91
5.3 Пожарная безопасность .....	92
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений .....	94
5.4.1 Эргономические требования к рабочему месту .....	95
Заключение .....	97
Список используемых источников .....	98
Приложение А .....	101

## **Определения и сокращения**

Дрон – беспилотный летательный аппарат военного назначения.

БПЛА – Беспилотный летательный аппарат.

ФЗП – Федеральная целевая программа.

ЕС – европейский союз.

ПК – полетный контроллер.

ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

## **Введение**

В настоящее время класс малогабаритных беспилотных летательных аппаратов стал очень популярен. Возникают случаи использования беспилотных летательных аппаратов в незаконных целях, таких как проникновения на охраняемую территорию. Решением данной проблемы безопасности охраняемых периметров является разработка автономных охранных дронов-перехватчиков. Актуальность разработки заключается в том, что автономность на данный момент остается открытым вопросом, так как большинство ранних роботов и беспилотных летательных аппаратов контролировались со станций управления либо пилотами. В значительной степени это продолжается и по сей день.

Объектом исследования является автономное управление охранного квадрокоптера. Предметом исследования является аппаратно-программная система управления автономного охранного квадрокоптера.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- обзор решений по тематике охраны территорий с помощью охранных дронов;
- разработка аппаратной конфигурации для автономного охранного квадрокоптера, выбор компонентов летательного аппарата;
- разработка алгоритма системы управления для квадрокоптера;
- реализация алгоритма в программном коде и его тестирование.

Новизна данного исследования заключается в создании нового алгоритма взаимодействия аппаратной части автономного охранного квадрокоптера для обеспечения возможностей дальнейшего расширения функционала аппарата.

Разработанная система управления применяется в реализации проекта ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» субсидия 14.578.21.0241 от 26 сентября 2017 г. [1]

## **1. Область и объект исследования**

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) не имеет на борту человека, и может управляться удаленно или автономно, а также может нести полезную нагрузку [2]. БПЛА могут использоваться как в военных, так и в гражданских приложениях. Они могут выполнять задачи, не ставя под угрозу пилотов.

Кроме того, БПЛА могут работать в опасных условиях или в длительных пилотируемых миссиях.

В настоящее время широко распространены БПЛА с вращающимися винтами, которые имеют такие преимущество, как способность вертикального взлета и посадки. БПЛА с вращающимися винтами называются мультикоптеры. Мультикоптер – это летательный аппарат, который построен по вертолётной схеме с тремя и более несущими винтами. В отличие от обычных вертолетов, которые механически очень сложны, мультикоптер обычно использует винты фиксированного шага. Управление движением транспортного средства достигается путем изменения относительной скорости каждого ротора для изменения тяги и крутящего момента. На рисунке 1.1 показана схема управления осями (pitch, yaw, roll) мультикоптера.

Самый известный мультикоптер - это квадрокоптер, который имеет четыре вращающихся винта. В дополнение к способности вертикального взлета, квадрокоптеры также имеют такие преимущества, как маневренность, не высокую цену, небольшие размеры и удобство в обращении. Эти преимущества мотивируют исследователей уделять больше внимания квадрокоптерам. Другими преимуществами квадрокоптеров являются надежность и компактность необходимые для системы, которая будет переносной и безопасной в непосредственной близости от людей.

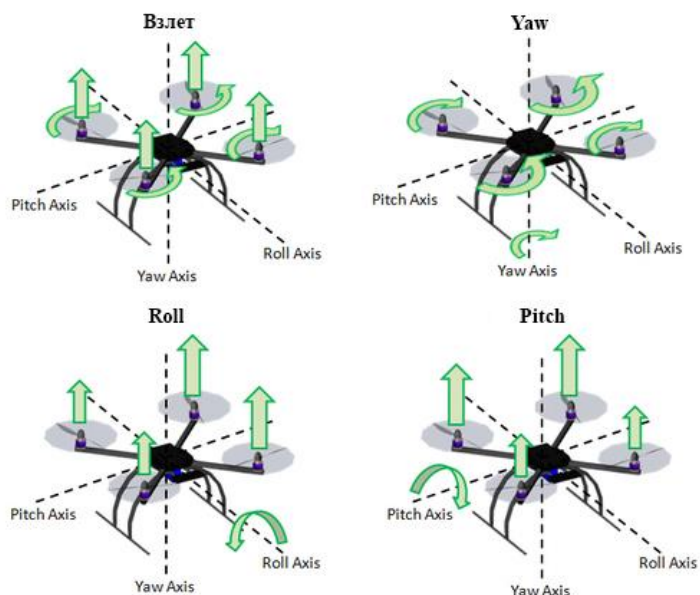


Рисунок 1.1 – Схема управления квадрокоптером

Разновидности конструкций мультикоптеров показаны на рисунке 1.2.

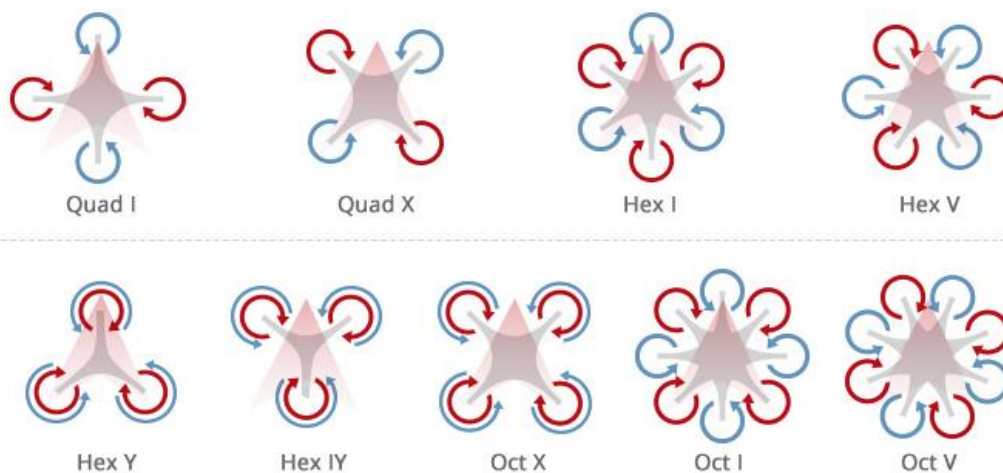


Рисунок 1.2 – Виды конструкций мультикоптеров

В последнее десятилетие исследование квадрокоптеров значительно увеличилось. На рисунке 1.3 показаны примеры квадрокоптеров различных сфер применения.





Рисунок 1.3 – Разновидности квадрокоптеров

БПЛА использовались коммерчески впервые в Японии в начале 1980-х, когда беспилотные летательные аппараты оказались более эффективным способом распылить пестициды на рисовых полях, чем пилотируемые летательные аппараты. В то время технология удаленного управления самолетом была дорогой и громоздкой. Прогресс в технологических возможностях, инструкциях и инвестиционной поддержке обеспечил много новых возможных приложений, особенно в сельском хозяйстве, городской инфраструктуре, безопасности, транспорте, развлечениях, телекоммуникациях, добыче полезных ископаемых.

Трудно вообразить область промышленности или жизни, в которой беспилотники не находят применения. Например, в сельском хозяйстве, БПЛА помогают оптимизировать решения сбора урожая зерновых культур или использовании гербицидов. В лесоводстве беспилотники в состоянии управлять лесными условиями или обнаружить пожароопасность. Они могут также использоваться, чтобы искать оставшихся в живых на море, осмотреть линии электропередач, наблюдать границы или предоставить информацию о повреждениях от урагана.

### **1.1 Проблема охраны территорий от малогабаритных БПЛА**

БПЛА обычно используются в военных целях, в основном для разведки. Согласно отчету Института Микромарко, Соединенные Штаты и Израиль доминируют в беспилотном военном технологическом секторе. Китай определенно находится впереди в сегменте БПЛА, используемом для развлечений, а внимание стран Европейского союза направлено на создание беспилотников гражданского и правительственного использования. [3]

Быстрые технические разработки сделали БПЛА намного более доступными и широко используемыми обычными людьми, а также коммерческими компаниями. В результате беспилотники представляют серьезную угрозу неприкосновенности частной жизни, и коммерческим тайнам. Серьезные вторжения в личную жизнь колеблются от непреднамеренного наблюдения и сбора личной информации до преследования.

Эти беспилотные летательные аппараты также ставят под угрозу учреждения, которые, несмотря на наличие высоких заборов, контроль и другие системы безопасности, не в состоянии защитить себя от вторжения беспилотников на их территорию. Аналогичная ситуация касается частные компании, у которых нет защиты от незаконного проникновения на их территории с целью кражи информации. Тем самым создается риск из-за использования беспилотников для промышленного шпионажа, нападения на IT-инфраструктуру, кражу конфиденциальных данных или ценных товаров.

Динамический рост рынка беспилотников и их увеличивающиеся доступность для широкого спектра потребителей несет риски и ставит главную проблему безопасности. Беспилотники используются не только для незаконной деятельности, но также и для террористических атак. Они используются, чтобы поставить контрабанду в тюрьмы и через государственные границы.

В 2016 Европейским союзом были замечены 1200 инцидентов, связанных с беспилотниками. Они были угрозой безопасности гражданской авиации. В то же время, Британское правительство даже уполномочило

серию испытательных катастроф между беспилотниками и самолетами, чтобы узнать точно, сколько ущерба квадрокоптер мог нанести в реальном столкновении. Результаты стали очень важным аргументом для беспокойства о безопасности.

Европейская комиссия работает над общими правилами, управляющими беспилотниками – от игрушек до больших БПЛА. Проблема состоит в том, что текущие инструкции ЕС касаются самолета, масса которого больше чем 150 килограммов, однако все больше проблем создано именно потребительскими беспилотниками. [4]

## **1.2 Обзор известных методов решения проблемы**

В настоящее время существует множество способов борьбы с незаконным вторжением БПЛА на охраняемую территорию. Одним из таких решений занимается «Объединенная приборостроительная корпорация» (ОПК входит в госкорпорацию «Ростех»). Компания производит систему контроля и охраны территории важных гражданских и военных объектов. Система состоит из трех беспилотников вертолетного типа, волоконно-оптического кабеля и пункта управления с вычислительной техникой для обработки информации. Примерная цена данного комплекта от 10 млн рублей. Комплекс обеспечивает защиту и охрану территории протяженностью периметра около 100 км. В данной системе вибрации поверхности считываются волоконно-оптическим кабелем, позволяя определить объект, который вторгся в охраняемое пространство.

Компания «Amba Defence», расположенная в Великобритании, занимается производством дронов, которые обеспечивают охрану объектов и территорий во многих странах. Американская компания «Optellios» выпускает охранные системы с волоконно-оптическими сенсорами, благодаря которым также можно обнаружить несанкционированный доступ на объект.

Японская компания «Secom» предлагает клиентам свой продукт – охрану собственности с привлечением «воздушных сил»: автономный робот-дрон поднимется в воздух в случае срабатывания штатной системы сигнализации, которую устанавливает компания. Единственное «оружие» воздушного охранника – небольшая видеокамера, данные с которой немедленно поступают на пульт охраны. Таким образом сотрудники «Secom» могут быстро оценить обстановку на месте несанкционированного проникновения.



Рисунок 1.4 – Робот-дрон компании «Secom»

Программное обеспечение позволяет роботу выявить подозрительного субъекта и вести за ним пристальное наблюдение, попытавшись заснять на камеру его лицо. В случае обнаружения подозрительного автомобиля беспилотник предпримет попытку зафиксировать номер транспортного средства. [5]

Сторожевой дрон компании «Aptonomy», являющейся перспективным американским стартапом, может быть использован для охраны частной территории или производственных помещений от вторжения.

Сегодня охрана важных объектов, как правило, поручена охранникам, которые регулярно обходят вверенные территории, сторожевым собакам и специальным системам наблюдения. В «Aptonomy» посчитали, что

сторожевые дроны обеспечат более надежную охрану, затраты на которую окажутся существенно ниже.

Сторожевой дрон сделан по типу октокоптера, имеет проблесковые маячки синего и красного цветов (как спецсигналы полиции), два громкоговорителя и яркий светодиодный прожектор. Кроме того, на аппарат снабжен видеокамерой, камерой ночного видения и тепловизором. Диаметральный размер беспилотника составляет чуть больше метра. Сторожевой дрон «Aptonomy» показан на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Сторожевой дрон компании «Aptonomy»

Дрон оснащен автоматической системой подзарядки. Если во время патрулирования заряд его аккумулятора снизится до нескольких процентов, аппарат вернется на базу и самостоятельно подключится к зарядному устройству. С помощью специального пульта управления оператор может наметить план патрулирования территории и передать его сторожевым аппаратам. После этого они будут вести охрану в автономном режиме.

При обнаружении нарушителя дрон зависнет на некотором расстоянии от него и сначала предупредит вспышками проблесковых маячков. Одновременно аппарат включит видеозапись. Если нарушитель не отреагирует, дрон начнет проигрывать через громкоговорители заранее записанные предупреждающие фразы, включит прожектор и направит его луч на цель.

По оценке «Аптоному», этих действий будет достаточно, чтобы прогнать большинство нарушителей. Тем не менее, для большей безопасности оператору поступит сигнал о проникновении на территорию. Кроме того, оператор сможет непосредственно связаться с нарушителем через громкоговоритель аппарата. [6]

Роботизированный охранник, получает информацию в режиме реального времени об оперативных действиях и получает обновления статуса физической инфраструктуры через обычные патрульные полеты.

Российская группа компаний ZALA AERO также занимается разработкой беспилотных летающих аппаратов, направленных на защиту и охрану объектов. Представителем продукции компании является ZALA 421-22Ф, показан на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Охранный дрон ZALA 421-22Ф

БЛА ZALA 421-22Ф – беспилотный вертолет средней дальности с системой автоматического управления (автопилот), навигационной системой (GPS/ГЛОНАСС), встроенной цифровой системой телеметрии, навигационными огнями, встроенным трехосевым магнитометром, модулем удержания и активного сопровождения цели (Модуль АС), цифровым широкополосным видеопередатчиком С-OFDM-модуляции, радиомодемом с

приемником СНС (Диагональ «ВОЗДУХ»), системой самодиагностики и поисковым передатчиком.

Коптер охраняет людей и различные объекты на заданных участках местности радиусом не более 10 км. Благодаря возможности зависания и приближения к интересующему объекту на расстояние 10-15 метров коптер получает наиболее точные данные (например, определение лиц людей, ставших инициаторами потасовки во время проведения массового мероприятия). Усовершенствованные целевые нагрузки класса «16Е+» позволяют аппарату в любое время суток получать и передавать в режиме реального времени высококачественные изображения наземным службам безопасности. [7]

### **1.3 Постановка задачи проектирования системы управления охранного квадрокоптера**

Для решения задачи защиты частных территорий от несанкционированных полетов малогабаритных беспилотных летательных аппаратов с использованием БПЛА-перехватчиков, эти транспортные средства должны обладать интеллектом. Поэтому разработка алгоритма, который позволил бы роботизированному устройству действовать самостоятельно и внести необходимые изменения в его траекторию, стал бы крупным прорывом.

Область исследования магистерской диссертации является проект, направленный на разработку автономной системы защиты частных территорий от несанкционированных полетов малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1]. Данный проект предполагает создание аппаратно-программного комплекса, в составе которого имеется беспилотный летательный аппарат, выполняющий функцию дрона-перехватчика, а также вспомогательные аналитические и вычислительные системы совместно со специализированным программным обеспечением.

Аппаратная часть и система управления автономного охранного квадрокоптера является объектом исследования данной работы.

В результате проведенного исследования необходимо найти решения следующих задач:

1. Выбор оптимального набора компонентов и устройств для охранного квадрокоптера, обеспечивающий автономный контроль миссии.

2. Выбор программного обеспечения, разработка архитектуры и алгоритма работы системы управления автономным охранным квадрокоптером.

Несмотря на высокие достижения в области разработки различных типов БПЛА, на сегодняшний день до сих пор не решена проблема достижения полной автономности работы БПЛА при выполнении тех или иных задач. В первую очередь это связано с ограничениями располагаемых на борту БПЛА вычислительных ресурсов.



## **2. Разработка аппаратной архитектуры автономного охранного квадрокоптера**

Для обеспечения должной степенью автономности квадрокоптеру не хватит одного лишь полетного контроллера. Чтобы увеличить вычислительную мощность беспилотника требуется разработать многоуровневую аппаратную архитектуру и, соответственно, многоуровневую программную архитектуру.

В поисках решения разработки многоуровневой аппаратной архитектуры было принято использовать структуру, состоящую из трех уровней. В данной структуре на полевом уровне будут располагаться все исполнительные устройства, то есть двигатели, а также все датчики, которые непосредственно взаимодействуют с полетным контроллером.

В процессе разработки было принято решение не разрабатывать свой полетный контроллер, а использоваться готовый контроллер известной фирмы. Данное решение позволит пользоваться всеми преимуществами готового полетного контроллера, тем самым ускорит разработку всей системы, а также позволит создать гибкую систему, которую в дальнейшем можно расширить новыми возможностями. Полетный контроллер будет выполнять функции контроллера нижнего уровня (контроллер реального времени). В качестве контроллера верхнего уровня используется микрокомпьютер. Преимущество такого решения будет рассмотрено ниже.

В результате анализа основных частей квадрокоптера была разработана и представлена аппаратная архитектура автономно управляемого охранного квадрокоптера, которая показана на рисунке 2.1. Данная архитектура базируется на полетном контроллере Pixhawk 2.4.8 с автопилотом PX4. Такой выбор обоснован тем, что это самый доступный на сегодняшний день полетный контроллер и соответственно он имеет большое сообщество разработчиков, а также технические характеристики данного устройства удовлетворяют тем задачам, которые он выполняет.

Выбор комплектующих квадрокоптера рассмотрен ниже.

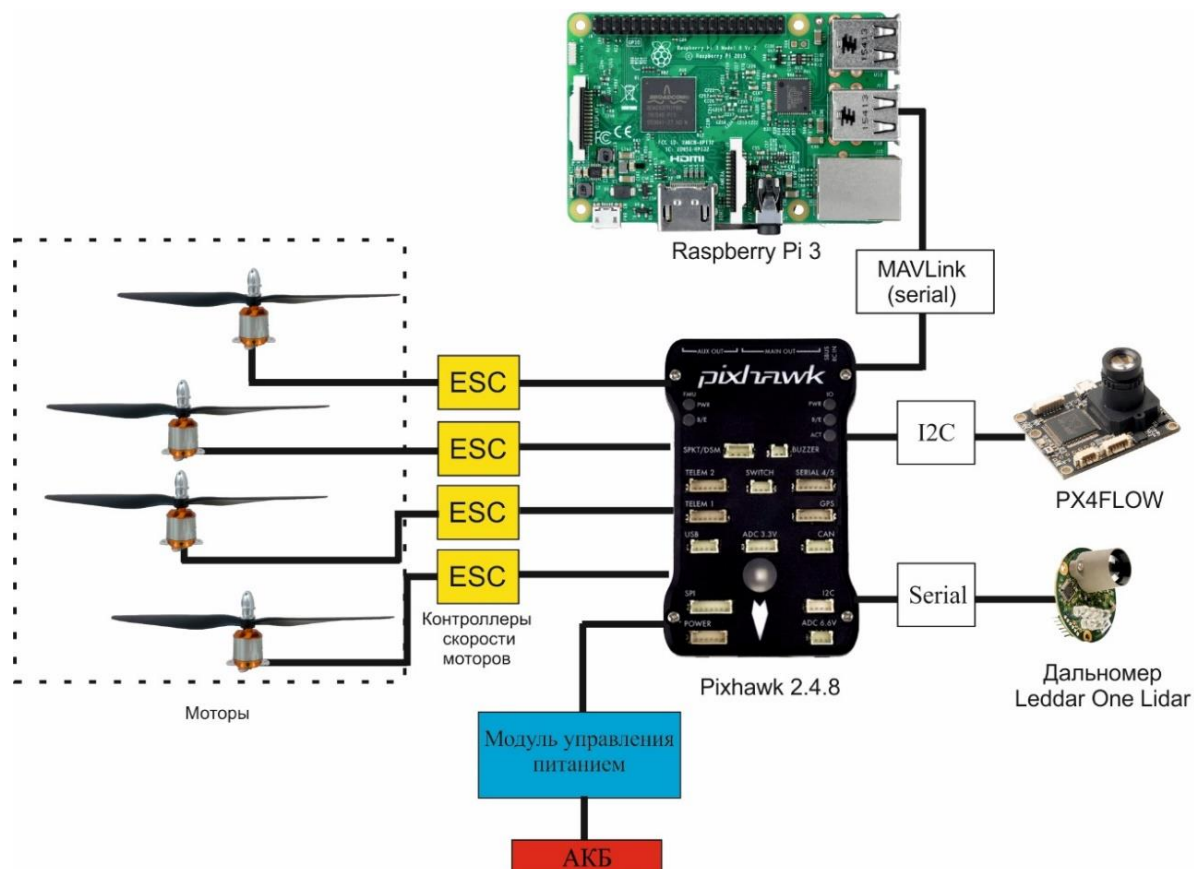


Рисунок 2.1 – Аппаратная архитектура автономно управляемого охранного квадрокоптера

В данной архитектуре представлены основные активные элементы конструкции квадрокоптера. Взаимодействие этих компонентов определяет поведение квадрокоптера.

Далее был сделан подбор компонентов для автономного охранного квадрокоптера. Данный выбор компонентов квадрокоптера обосновывается спецификой выполняемой задачи, а именно автономный облет территории и дальнейший сбор и обработка данных. Необходимо было выбрать конфигурацию, которая будет содержать все необходимые датчики для полета и далее, чтобы квадрокоптер мог быть запрограммирован и управляться подключенным микрокомпьютером. Выбранное решение отвечает всем необходимым параметрам.

## 2.1 Полетный контроллер

Полетный контроллер является мозгом квадрокоптера, он имеет датчики на борту для того, чтобы понимать, как движется аппарат. Используя данные, полученные от этих датчиков, контроллер использует алгоритмы для расчета того, насколько быстро каждый двигатель должен вращаться, чтобы коптер мог управлять своими движениями, поскольку пилот только дает команды через радиопередатчик пульта управления. Сам полетный контроллер управляет моторами непосредственно через ESC контроллеры. Данные контроллеры используют ШИМ-модуляцию для получения необходимого эффекта управления. На рисунке 2.2 показаны повсеместно используемые полетные контроллеры.



Рисунок 2.2 – Полетные контроллеры APM 2.6, Pixhawk, AIOP

Полетный контроллер выполняет функции:

- сбор информации с датчиков (встроенных и подключенных);
- установка/расчет по датчикам своего положения в пространстве;
- сбор информации о управляющих внешних воздействиях;
- расчет параметров отклонения системы и отправка корректирующих сигналов на исполнительные механизмы.

Как упоминалось выше полетный контроллер — это в основном плата с датчиками, которая определяет изменения ориентации вашего беспилотного

летательного аппарата. Он также принимает команды пользователя и управляет двигателями, чтобы держать квадрокоптер в воздухе.

Почти все полетные контроллеры имеют базовые датчики, такие как гироскоп и акселерометр. Некоторые контроллеры могут включать более продвинутые датчики, такие как барометр (барометрические датчики давления) и магнитометр (компас). Также контроллер полета имеет возможность подключаться ко многим периферийным устройствам и датчикам, таким как GPS, дальнометры и т. д.

Помимо разницы в оборудовании, они могут также использовать разные прошивки, которые специализируются в разных задачах (например, гоночный дрон или дрон для аэрофотосъемки). Современная прошивка полетного контроллера обычно может быть сконфигурирована с помощью программного обеспечения на компьютере, смартфоне или даже с пульта управления.

Для реализации проекта выбор упал на полетный контроллер Pixhawk, так как он сочетает в себе простоту использования, мощную начинку, а также доступом к сообществу с открытым исходным кодом и библиотекам. Pixhawk представляет собой комбинацию PX4 FMU и PX4 IO версии 2 и, в дополнение, предназначен для работы с пакетами прошивки PX4 и Ardupilot. [8] На рисунке 2.3 показан полетный контроллер Pixhawk 2.4.8, используемый в реализации проекта.



Рисунок 2.3 – Полетный контроллер Pixhawk 2.4.8

### **2.1.1 Характеристики центрального процессора (CPU)**

Аппаратное обеспечение Pixhawk основано на 32-битном процессоре Cortex M4F с частотой 180 МГц производства ARM Holdings. Чип имеет 256 КБ ОЗУ и 2 Мб флеш-памяти.

Pixhawk имеет интегрированную система резервного копирования для восстановления в полете. [9]

### **2.1.2 Интерфейсы подключения**

Плата поддерживает пять универсальных асинхронных приемников/передатчиков (UART), шину промышленной сети (CAN), межсхемную последовательную шину (I2C), последовательную периферийную шину интерфейса (SPI) и 8 аналого-цифровых преобразователей (ADC). I2C поставляется с разделителем I2C, который позволяет пропускать до трех сигналов через один порт. Это позволяет работать с несколькими устройствами, такими как GPS и Airspeed. Только три из восьми каналов АЦП доступны как открытые порты. Два контакта расположены в порту 3.3V, а последний - порт 6.6V. [9]

### **2.1.3 Характеристики гироскопа**

Гироскоп представляет собой трехосный датчик MEMS, номер детали L3GD20H. Он имеет связь I2C или SPI, фильтр нижних частот и имеет регулируемую чувствительность. Частота дискретизации установлена на 760 Гц драйверами Pixhawk с чувствительностью 2000 DPS и низкочастотным фильтром 50 Гц. [9]

### **2.1.4 Характеристики акселерометра**

Модуль eCompass LSM303D оснащен трехосевым акселерометром и 3D-магнитометром. Линейный ускоритель может измерять до +/- 16g, и для максимальной чувствительности должен быть установлен как +/- 2g.

Магнитометр также имеет минимальный диапазон +/- 2 и максимум +/- 12 Гаусс. Включает в себя интерфейс последовательной шины I2C и последовательный стандартный интерфейс SPI. [9]

### **2.1.5 Вторичный инерционный измерительный блок**

Также имеется инерционный блок измерения (IMU), выпускаемый InvenSense (номер детали MPU 6000). Микросхема оснащена трехосевым гироскопом и акселерометром.

Спецификации акселерометра идентичны модулю eCompass и служат главным образом в качестве вторичного отказоустойчивого оборудования. Гироскоп имеет полные диапазоны шкалы +/- 250, 500 и 1000. [9]

### **2.1.6 Аналого-цифровой преобразователь**

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) представляет собой 8-канальный 3,3 В, 12-разрядный чип. Двенадцать бит приводит к 4096 потенциальным целочисленным значениям для ввода, что означает, что каждое значение бита представляет собой разность напряжений 0,0008 вольт. Поскольку Pixhawk работает на стандартном питании 5 В, вывод 6,6 В не может получать максимальное напряжение, тем самым уменьшает его общее разрешение.

### **2.1.7 Барометрический датчик давления**

Барометр (номер детали MS5611) - это датчик высокого разрешения, выполненный специалистами по измерениям. Этот барометрический датчик давления оптимизирован для высотомеров с разрешением высоты 10 см. Он имеет цифровое разрешение 24 бит для значений давления и температуры. Микросхема также имеет встроенное цифровое преобразование и последовательные соединения I2C и SPI, в дополнение к процедуре компенсации температуры второго порядка. [9].

### **2.1.8 Зуммер и переключатель постановки на охрану**

Зуммер работает вместе с многоцветным светодиодом Pixhawk для передачи информации о состоянии системы. Он детектирует конкретные проблемы, обнаруженные в предполетных проверках.

Переключатель постановки на охрану служит дополнительной защитой для коптера. После завершения всех предполетных проверок Pixhawk будет мигать либо синим светом, не сигнализирующим о приеме GPS, либо зеленым светом, указывающим прием GPS. После нажатия на кнопку коптером можно управлять. [9] Зуммер и переключатель постановки на охрану показаны на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Зуммер и переключатель постановки на охрану

### **2.1.9 Регулятор напряжения**

Регулятор напряжения и монитор по умолчанию позволяют пользователю подключать батарею 4S LiPo через соединение XT60, которое обеспечивает Pixhawk постоянным источником питания 5 В. Этот XT60 также отслеживает выносливость и уровни заряда батареи во время полета. Данный регулятор показан на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Регулятор напряжения XT60

## 2.2 Рама квадрокоптера

Рама является одним из основных строительных блоков каждого мультикоптера. Она показана на рисунке 2.6. Она необходима, так как все компоненты крепятся к раме. Существуют разные варианты рам. Они варьируются в размере, весе и количестве плеч. Например, для квадрокоптера рама будет выглядеть по-другому и иметь другие свойства, чем у октокоптера. Данный элемент является пассивным. Она не оказывает положительного влияния на продолжительность полета, поэтому для данного компонента используются материалы, обеспечивающие прочность рамы с наименьшим весом. Используются такие материалы, как углерод, пластик, бальза, алюминий или авиационный сплав. Материалы различны в цене. Мультикоптеры для исследовательских целей используют в основном пластик. Большие коптеры, которые несут более существенную нагрузку, такие как камера, используют углерод.





Рисунок 2.6 – Рама квадрокоптера

Размер рамы обычно обозначается числом, таким как 150, 200, 450 и т. д. Это число представляет собой диагональную длину в миллиметрах от двигателя к двигателю.

Для нашего проекта мы выбрали популярную пластиковую раму размером 450 мм, показанную на рисунке 2.6. Она отличается достаточной прочностью и приемлемой ценой.

### 2.3 Электродвигатель

В основном коптеры используют коллекторные и бесколлекторные двигатели постоянного тока. Данные типы двигателей показаны на рисунке 2.7.

Коллекторные двигатели имеют щеточно-коллекторный узел. Коллектор – это контакты обмоток, расположенных на роторе, а щётка выполняет функцию скользящего контакта, расположенного на статоре. Коллекторный узел сильно уменьшает ресурс мотора, так как создаётся трение. Вращение двигателя начинается при подаче на него постоянного тока. Направление вращения двигателя зависит от полярности поданного напряжения.

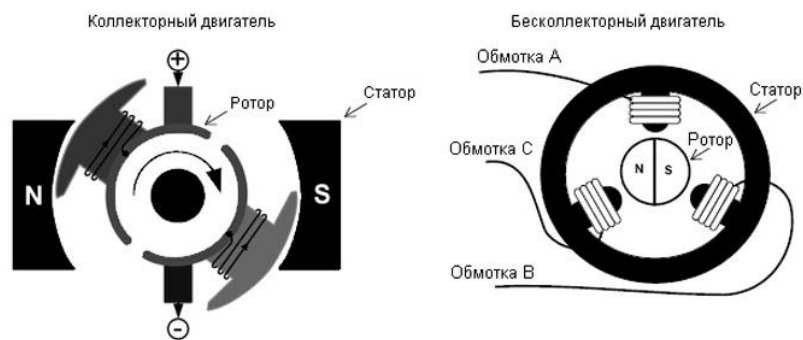


Рисунок 2.7 – Типы двигателей постоянного тока

Коллекторный двигатель, показанный на рисунке 2.8, обладает следующими преимуществами:

- минимальный вес и размер двигателя;
- низкая стоимость;
- прост в обслуживании и ремонте.

Также данный тип двигателей имеет недостатки:

- низкий коэффициент полезного действия;
- сравнительно низкая скорость вращения;
- быстрый перегрев;
- быстрый износ.

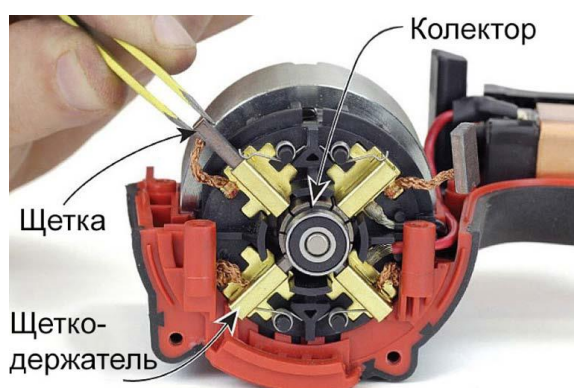


Рисунок 2.8 – Коллекторный двигатель с щеточным узлом

Бесколлекторные двигатели состоят из ротора с постоянными магнитами и статора с обмотками. Направление вращения зависит от очередности фаз. Данный тип двигателя резко стартует и быстро замедляется. Они имеют различное количество полюсов. Чем больше

полюсов, тем медленнее крутится двигатель, но обладает большим моментом вращения. Бесколлекторный двигатель изображен на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Бесколлекторный двигатель

Данный двигатель имеет такие преимущества как:

- высокую скорость вращения;
- износостойкость;
- имеет высокую степень защиты от внешних воздействий.

Имеются свои недостатки такие как:

- высокая стоимость;
- сложный ремонт.

Двигатели являются основным потребителем заряда батареи на квадрокоптере, поэтому очень важно эффективное сочетание пропеллера и двигателя. Скорость двигателя оценивается в величине  $kV$ , как правило, двигатель с более низким напряжением будет производить больше крутящего момента, а более высокий  $kV$  будет вращаться быстрее.

Это важный параметр бесщеточных двигателей, который указывает на теоретическое увеличение оборотов (вращение в минуту) при повышении напряжения (без нагрузки, то есть пропеллера). Например, при включении двигателя  $2300\text{ kV}$  с батареей  $3S\text{ LiPo}$  ( $12,6\text{ В}$ ) он будет вращаться со скоростью  $28980\text{ об/мин}$  без нагрузки ( $2300 \times 12,6$ ). Обычно это всего лишь округленная оценка, указанная изготовителем.

Когда вы устанавливаете пропеллер на двигателе, число оборотов уменьшается резко из-за сопротивления воздуха.

Так как автономный квадрокоптер должен иметь среднюю грузоподъемность, а также хорошую маневренность необходимо выбрать двигатель с показателем kV равным 1000.

Двигатель A2212-1000KV соответствует требованиям. Он имеет следующие технические характеристики:

- показатель kV = 1000, 1000 оборотов двигателя на 1 В напряжения питания (при условии отсутствия пропеллеров);
- максимальный ток равен 12 А продолжительностью 60 сек;
- рабочее напряжение от 7,4 В до 11,1 В.



Рисунок 2.10 – Двигатель A2212-1000KV

## 2.4 Электронный регулятор скорости (ESC)

Бесщеточный электронный регулятор скорости (ESC) обеспечивает коммутацию для вращения бесщеточного двигателя путем преобразования мощности постоянного тока в переменный ток двигателя.

ESC задают желаемую скорость для различных двигателей для достижения контроля за скоростью, отправляя импульсные сигналы разных

частот. Величина тока ESC должен быть больше, чем у бесщеточного двигателя, чтобы предотвратить выгорание цепи и отказ.

Электронный регулятор скорости показан на рисунке 2.11. Электрический ток из батарей подается на регуляторы. Выход контроллера – это три кабеля, которые подводятся к двигателям. Двигатели трехфазные, поэтому на выходе контроллера имеется всего три кабеля. Изменяя порядок кабелей на выходе контроллера, мы можем изменять направления вращения двигателя. Полетный контроллер посылает на контроллер скорости сигнал PWM, который затем контролирует частоту вращения двигателя. Существуют также регуляторы для двигателей постоянного тока. Большинство современных контроллеров оснащены цепью ВЕС. Это простой стабилизатор напряжения, который используется для обеспечения того, чтобы все компоненты имели одинаковый источник питания. Некоторые контроллеры также включают в себя систему РСО, которая контролирует состояние разряда питающих ячеек. Эта функция очень практична, особенно при использовании литий-полимерного аккумулятора. Если напряжение аккумулятора падает ниже определенного предела, контроллер снижает скорость двигателя, или уведомляет пилота об этом. Если есть ситуация, когда состояние батареи имеет решающее значение, управление двигателем будет полностью ограничено, чтобы не повредить батарею.



Рисунок 2.11 – ESC 30A

Выбор контроллера скорости прост, он должен соответствовать напряжению аккумулятора. Ток ESC должен превышать ток, потребляемый двигателем (с номинальным усилием). Так как наш двигатель имеет максимальный ток в 12 А выберем ESC 30А. Данное решение обеспечит запас по току, если при дальнейшей модернизации придется заменить двигатели на более мощные.

## **2.5 Аккумуляторная батарея**

Самая большая слабость беспилотных летательных аппаратов и вообще беспилотных самолетов сегодня является источником энергии. Существует много типов батарей, но для беспилотных летательных аппаратов необходимо использовать батареи с максимальной емкостью и высокими разрядными токами, такие как Li-Pol (литий-полимерные) или Li-Ion (литий-ионные).

Литий-полимерный аккумулятор – относительно новый тип электронного аккумулятора. Производство этих батарей является технологически и энергетически требовательным, поэтому стоимость этих батарей намного выше. Что касается параметров, то полностью заряженная ячейка имеет до 4,23 В. Если ее напряжение падает до 2,7 В, ее можно сразу выбросить. Чтобы избежать повреждения батареи из-за перегрева, чрезмерного разряда или перезарядки, ячейка защищена внутренней электронной схемой. Емкость ячейки варьируется от 100 мАч до 5000 мАч. Основными преимуществами Li-Pol аккумуляторов являются большая емкость в малом размере, минимальный саморазряд, длительный срок службы, быстрая зарядка и высокий разрядный ток. Среди недостатков этого типа батареи – возможность воспламенения или взрыва, более высокая цена, увеличение давления внутри батареи.

Литий-ионная батарея немного старше, чем батареи Li-Pol. Она была в продаже с 1991 года. Среди преимуществ является то, что у неё отсутствует

эффект памяти. Основным недостатком является то, что батарея стареет и теряет максимальную мощность независимо от того, используется ли она или нет. Она также боится полного разряда. Если её напряжение падает ниже 2,8 В, её очень трудно оживить. Для зарядки обоих типов батарей необходимо иметь микропроцессорное зарядное устройство.

Литий-полимерные батареи – это тип батареи, используемой почти во всех квадрокоптерах. Они являются хорошим источником энергии для их размера и веса, в отличие от свинцово-кислотных.

Емкость батареи, измеренная в миллиампер-часах (мАч), является прямым индикатором того, как долго ваш квадрокоптер сможет летать. Гоночные квадрокоптеры будут использовать емкость около 1000 мАч, в то время как большие квадрокоптеры могут использовать 5000 мАч или более. Чем больше емкость, тем тяжелее батарея.

Литий-полимерные батареи собираются ячейками, такие как 2S (две ячейки), 3S (три ячейки) и т. д. (S означает, что ячейки расположены в серии). Каждая ячейка имеет диапазон напряжения: 3,0 В - это абсолютный минимум, который может иметь ячейка, прежде чем она будет повреждена. Хотя 3 В считается минимальным напряжением, рекомендуется понижать напряжение только до 3,5 В. 3.7 В - это напряжение, используемое компаниями при продаже батарей. 4,2В - Аккумулятор 3S продается как 11,1V (3,7 + 3,7 + 3,7) и может работать с максимальным напряжением 12,6 В (4,2 + 4,2 + 4,2).

На рисунке 2.12 показана структура аккумуляторной батареи.





Рисунок 2.12 – Структура аккумуляторной батареи

Величина токоотдачи является важным показателем при выборе аккумуляторной батареи для квадрокоптера. Она показывает допустимую скорость разряда аккумулятора.

Ёмкость литий-полимерных батарей определяется током, который способен разрядить батарею за один час.

Для выбора батареи необходимо произвести расчет. Так как максимальный ток двигателей равен 12 А, то суммарное потребление четырех двигателей будет равным 48 А, следовательно, выходной ток батареи должен быть не менее 55 А согласно [10]. Выберем батарею 3S 14,8В 5000мАч 40С показанную на рисунке 2.13. Выходной ток батареи получаем умножением ёмкости батареи, выраженной в Ач, на числовой коэффициент токоотдачи С. В результате получим выходной ток 200 А, что обеспечивает большой запас по токоотдаче. Вес данной батареи равен 370 грамм.



Рисунок 2.13 – АКБ 3S 14,8В 5000мАч 40С



## 2.6 Выбор пропеллеров

У пропеллеров есть две ключевые характеристики: длина и высота. Длина измеряется от наконечника до кончика, а шаг обозначает продвигающееся расстояние за один оборот. Большая длина создает высокую тягу, но медленна в ответ из-за большей инерции, в то время как большой шаг обеспечивает большое ускорение, но может создать турбулентность. Другие факторы, такие как материал, вес, номер ножа, мощность двигателя, длина и шаг вместе определяют стабильность.

Как правило, двигатель с номиналом kV 900-1000 может управлять пропеллером 10 дюймов в длину и шагом от 4,5 до 6 дюймов.

Существуют следующие виды лопастей: [11]

- Normal (N) – Заострённые на концах лезвия. Уменьшается тяга и снижает расход энергии аккумулятора
- Bullnose (BN) – Бычий нос (Закруглённые). При равном с N в диаметре, имеют большую тягу и площадь. За счёт тяжести ведут себя более стабильно, и увеличивают отзывчивость дрона по рысканью. Сильно повышают расход энергии АКБ.
- Hybrid Bullnose (HBN) – промежуточный вариант. Имеют, как и преимущества, так и недостатки предыдущих.

Выберем пропеллеры типа N показанный на рисунке 2.14.



Рисунок 2.14 – Пропеллеры N типа

## 2.7 PX4Flow

Компьютерное зрение представляет собой привлекательную сенсорную опцию для применений в БПЛА. Оптический сигнал может быть измерен путем отслеживания воспринимаемого движения точек объекта между последовательными кадрами изображения. Это воспринимаемое движение объектов дает информацию о движении транспортного средства через окружающую среду.

Так как GPS сигнал не работает в помещении, такая технология позволит охранному квадрокоптеру ориентироваться в пространстве. Полетный контроллер Pixhawk, после необходимой настройки и калибровки данного модуля, будет обрабатывать сигнал модуля и по средствам MAVLink протокола рассылать данные локальной позиции (глобальная позиция определяется GPS сигналом).

PX4Flow – представляет собой специализированный модуль камеры с высоким разрешением направленный вниз и с 3-осевым гироскопом, который использует наземную текстуру и видимые функции для определения скорости движения летающего аппарата. [12] Хотя датчик может поставляться со встроенным гидроакустическим датчиком Maxbotix LZ-EZ4 для измерения высоты, он не был достаточно надежным на различных поверхностях при испытаниях, поэтому его показания не используются. В отличие от многих оптических датчиков, он также работает в закрытом помещении и в условиях низкой освещенности, не требуя освещения. Он может быть свободно перепрограммирован для выполнения любой другой базовой, эффективной низкоуровневой задачи компьютерного видения. На рисунке 2.15 изображен оптический датчик PX4Flow.

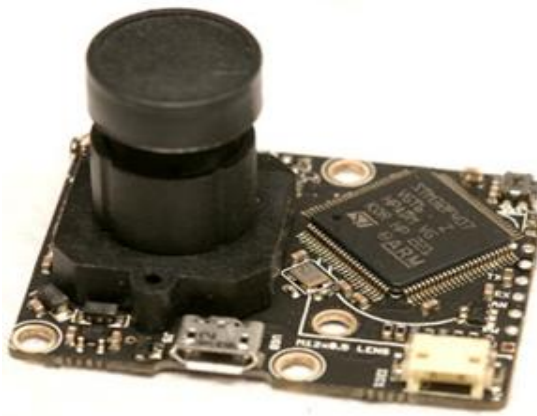


Рисунок 2.15 – Оптический датчик PX4Flow

Датчик подключается к полетному контроллеру через интерфейс I2C. На рисунке 2.16 показан способ подключения датчика к полетному контроллеру.

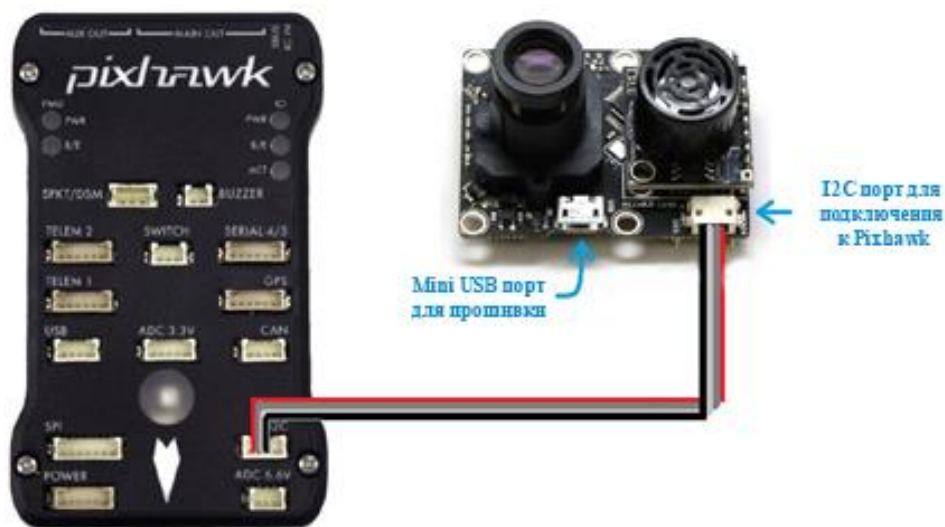


Рисунок 2.16 – Подключение датчика PX4Flow к Pixhawk

### 2.7.1 Принцип работы датчика с оптическим потоком

Оптическое измерение представляет собой сумму продольных и поперечных смещений. Когда БПЛА движется параллельно поверхности земли, наблюдаемые объекты будут смещаться в поле зрения. Подобный эффект существует, когда тело БПЛА наклонено. Это верно, даже если БПЛА не имеет поступательного движения относительно навигационной рамки. Можно выразить оптический поток как комбинацию скорости трансляции,

скорости вращения и расстояния от БПЛА до поверхности земли. Рассмотрим упрощенную двумерную оптическую модель, где влияние вертикального движения БПЛА считается тривиальным.

Это разумно, если предположить, что БПЛА находится над гладкой поверхностью земли на определенной высоте и предполагает отсутствие высоких динамических маневров. Модель может быть выражена как:

$$Q_x = \frac{V_x}{H} + \omega_y,$$

$$Q_y = \frac{V_y}{H} + \omega_x.$$

Где  $Q_x$ ,  $Q_y$  - оптические измерения.  $V_x$ ,  $V_y$ , - скорости смещения UAV вдоль оси X и Y;  $\omega_y$ ,  $\omega_x$ - угловые скорости вращения БПЛА. H - высота над землей, которая измеряется от камеры до поверхности земли.

Задача определения положения по оптическому потоку заключается в определении отслеживаемых точек с кадра. После определения точек потребуется отследить их в течение всего времени полета беспилотного летательного аппарата, так как он будет непрерывно передавать изображения в реальном времени с камеры. Положение точек функции необходимо отслеживать в каждом последовательном кадре. Чтобы оценить движение пикселей между двумя последовательными кадрами в видеопоследовательности без каких-либо знаний относительно содержимого этих изображений, используется метод, известный как оптический поток. Каждый пиксель в кадре связан с некоторой скоростью и смещением в последовательных кадрах. Методы оптического потока имеют два типа: а) методы плотного оптического потока; б) методы разреженного оптического потока.

Процесс отслеживания движения каждого пикселя в кадре называется плотным оптическим потоком. Алгоритм Хорна-Шунка широко использует метод плотного оптического потока. Этот алгоритм пытается вычислить скорость каждого пикселя в кадре. Это делает алгоритм вычислительно интенсивным.

## 2.8 Дальномер Leddar One Lidar

Leddar One Lidar - это легкий и недорогой лидар с 40-метровым диапазоном, скоростью обновления 70 Гц и 3-градусным диффузным лучом. [13] На рисунке 2.17 представлен дальномер Leddar One Lidar. Данное устройство предназначено для более точного измерения высоты автономного охранного квадрокоптера.

Использование барометрического датчика полетного контроллера для измерения высоты не является хорошей идеей, так как это решение связано с погрешность измерения высоты, особенно на небольших высотах. Дальномер в процессе работы отлично себя зарекомендовал и справляется с возложенными на него функциями.

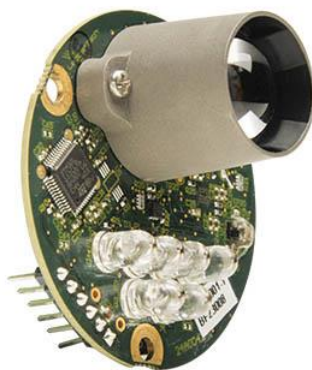


Рисунок 2.17 – Дальномер Leddar One Lidar

Подключение датчика происходит по последовательному соединению, которое подключено через свободный последовательный порт Serial4 на контроллере полета.

На рисунке 2.18 показан квадрокоптер с установленными на него PX4Flow и дальномер Leddar One Lidar.

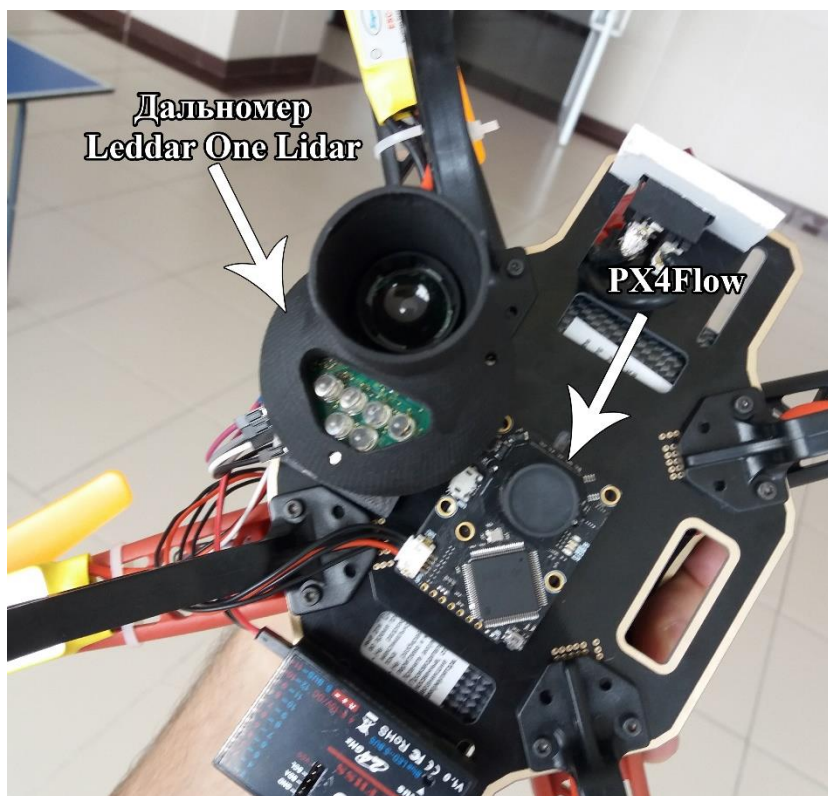


Рисунок 2.18 – Вид снизу на PX4Flow и дальномер Leddar One Lidar

## 2.9 Миникомпьютер Raspberry Pi 3

Это одноплатный компьютер, предназначенный для универсального использования во встроенных системах, для управления «умными домами» а также в проектах IoT (интернет-вещей) и т.д. В целом, компоненты построены на единой плате без необходимости активного охлаждения, что, наряду с использованием флэш-памяти обеспечивает большую надежность. Универсальность его использования определяется в основном широкими коммуникационными возможностями, обеспечиваемыми наличием беспроводного модуля Wi-Fi, Ethernet и Bluetooth, с возможностью связи через 40-контактную линию ввода общего назначения, четыре порта USB 2 [14]. Графический выход на устройстве формирования изображения возможен через порт мультимедийного интерфейса высокой четкости (HDMI). На рисунке 2.19 изображен одноплатный компьютер Raspberry Pi 3.



Рисунок 2.19 – Одноплатный компьютер Raspberry Pi 3

Одноплатный компьютер с этими параметрами предлагает гораздо больше возможностей для реализации автономности. Основным преимуществом, которое дает Raspberry Pi 3, является возможность установки любого дистрибутива операционной системы GNU/Linux или версии операционной системы Windows 10 IoT, предназначенной для компьютеров с одним компьютером на базе ARM. В нашем случае это дистрибутив Ubuntu в MATE версии 16.04, потому что доступна версия, предназначенная для Raspberry Pi 3.

Основные характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики Raspberry Pi 3

Компонент	Значение
Чипсет	Broadcom BCM2837
CPU	4x Cortex A-53 (ARMv8, max. 1,2 GHz)
GPU	Broadcom VideoCore IV (1080p, max. 300 MHz)
RAM	1 GB LPDDR2 (900 MHz)
Проводная сеть	10/100 Ethernet
Беспроводная сеть	802.11n 2,4 GHz



Продолжение таблицы 2.1

Bluetooth	4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
GPIO	40 универсальных пинов ввода/вывода
Порты	Micro HDMI, аналоговый 3.5мм аудио-видео разъем, 4x USB 2.0, CSI (Camera Serial Interface), DSI (Display Serial Interface)

## 2.10 Результат сборки квадрокоптера

Итогом разработки аппаратной архитектуры автономного охранного квадрокоптера является его сборка. Было необходимо подготовить соединительные провода и инструменты. В результат сборки представлен на рисунке 2.16.



Рисунок 2.20 – Автономный охранный квадрокоптер



### **3. Разработка архитектуры и алгоритма системы управления автономного охранного квадрокоптера**

В начале проекта было обнаружено, что правильный способ общения с квадрокоптером – это стандартизованная система обмена сообщениями, называемая MAVLink. Эта система обмена сообщениями удобна для навигации и других целей, поскольку она позволяет передавать конкретные маршруты, а также команды управления ориентацией на транспортные средства. Кроме того, уже имелся предыдущий опыт использования операционной системы для роботов (ROS), которая является общей основой для обмена данными и командами в роботизированных системах. ROS предназначен для модульной и сетевой работы, что позволяет нам эффективно использовать разные части программного обеспечения на устройствах, которые работают в одной и той же сети, с бесшовной связью. ROS – это общая инфраструктура, но в ней есть плагины, которые обеспечивают дополнительную функциональность. Один из таких плагинов, использованный в данной работе, это MAVROS. MAVROS - это программный мост между ROS и MAVLink, который позволяет нам использовать связь в стиле ROS (узлы Publisher, Subscribers, и Services) для управления квадрокоптером, который принимает формат сообщения MAVLink. Команды MAVLink затем интерпретируются прошивкой PX4 и тем самым полетный контроллер принимает команду управления и тут же её исполняет. ROS имеет классически поддерживаемые языки, такие как C++ и Python, и также добавилась панель инструментов для MATLAB. Таким образом, использование MAVROS позволило обеспечить наиболее полную и прямую связь между всеми службами расчета и планирования маршрута и самими квадрокоптером.

Архитектура системы управления была построена вокруг полетного контроллера Pixhawk с автопилотом PX4. Raspberry Pi 3 является «мозгами» автономного охранного квадрокоптера и использует свои вычислительные

мощности для обмена командами с полетным контроллером. На рисунке 3.1 показана структура системы управления коптером.

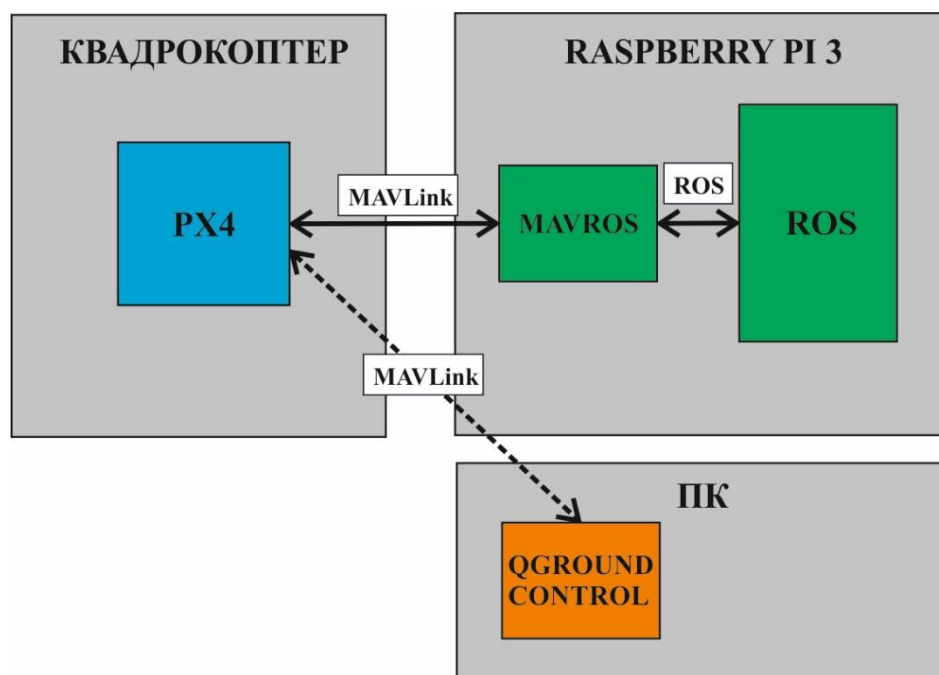


Рисунок 3.1 – Структура системы управления автономного полета охранного квадрокоптера

В структурной схеме представлена программное обеспечение QGroundControl, которое отвечает за первоначальную прошивку полетного контроллера, его настройку и калибровку всех датчиков. Во время автономных полетов в данном программном обеспечении нет необходимости, и поэтому его можно отключить.

Разработанная архитектура системы управления автономного охранного квадрокоптера имеет такие преимущества как:

- отсутствует непосредственный доступ к полемому уровню управления системы (датчики, моторы);
- имеет возможности расширения функциональности дрона;
- возможность реализации алгоритмов управления на языках C++, Python;
- большое сообщество разработчиков на ROS и соответственно большое количество дополнительных библиотек.

К недостаткам данной системы можно отнести небольшие задержки между командами для полетного контроллера, связано это непосредственно с техническими особенностями протокола MAVLink. Данный недостаток не критичен в решении данной задачи.

### **3.1 Автопилот PX4**

Полетный стек PX4 является частью платформы Dronescape, комплексного решения для создания и управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Платформа имеет несколько частей:

- PX4 Flight Stack: система управления полетом (автопилот).
- MAVLink: высокоэффективный, легкий и быстрый инструмент для создания роботизированных коммуникаций.
- QGroundControl: современный, мобильный и настольный пользовательский интерфейс для настройки системы, и выполнения полетов.

PX4 – независимое от платформы программное обеспечение автопилота (или программный стек/прошивка), которые могут летать или управлять беспилотными летательными аппаратами или наземными транспортными средствами (БПЛА/UGV). Он загружается на некоторые платы управления транспортными средствами, а вместе с наземной станцией управления создают комплексное решение для автопилота.

Станция наземного управления PX4 называется QGroundControl и является неотъемлемой частью системы автопилота PX4. QGroundControl может работать в Windows, OS X или Linux. На рисунке 3.2 показано рабочее окно программы. С помощью QGroundControl загружается прошивка PX4 на полетный контроллер квадрокоптера, производится настройка коптера, изменяются различные параметры, отображается полетная информация в реальном времени. [15]

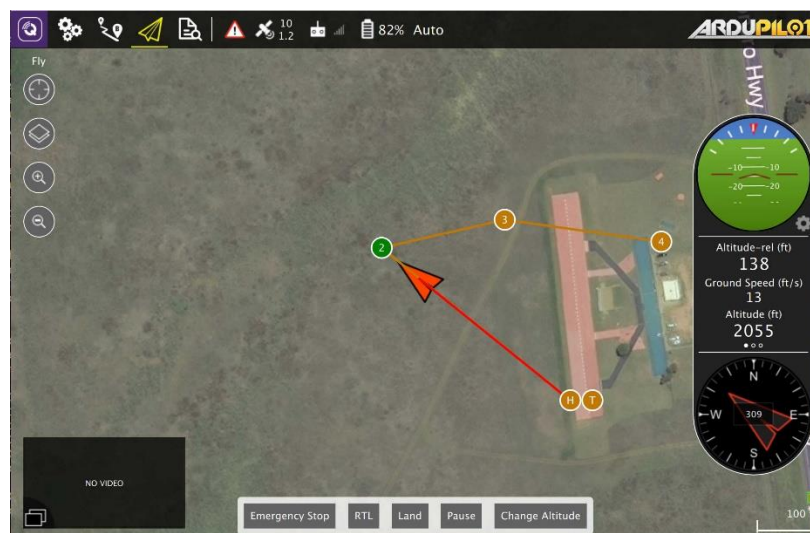


Рисунок 3.2 – Рабочее окно программы QGroundControl

PX4 можно управлять с отдельного компьютера компаньона, установленного непосредственно на квадрокоптер. Подключается он через последовательный кабель или Wi-Fi.

В режимах полета предусмотрены различные типы/уровни автоматизации автомобиля и автопилота для пользователя (пилота). Автономные режимы полностью контролируются автопилотом и не требуют ввода пилот-сигнала/дистанционного управления. Они используются, например, для автоматизации общих задач, таких как взлет, возврат в исходное положение и посадку. Другие автономные режимы выполняют запрограммированные миссии, следуют маяку GPS или принимают команды от бортового компьютера или наземной станции.

Ручные режимы контролируются пользователем (с помощью ручек управления джойстика) или с помощью автопилота. Различные режимы ручного управления позволяют использовать различные характеристики полета – например, некоторые режимы позволяют акробатические трюки, в то время как другие невозможно переворачивать и удерживать положение/курс от ветра.

PX4 имеет настраиваемые отказоустойчивые системы для защиты и восстановления контроля над квадрокоптером, если что-то пойдет не так.

Они позволяют указать области и условия, при которых можно безопасно летать, и действие, которое будет выполняться при срабатывании отказоустойчивости (например, при посадке, удержании позиции или возврате в указанную точку).

Ниже перечислены основные отказоустойчивые области:

- низкий уровень заряда батареи;
- потеря связи с удаленным управлением;
- потеря координат в пространстве (качество оценки глобальной позиции слишком низкое);
- неполадки на борту (например, потеря подключения к компьютеру-компаньону) и т.д.

Режимы полета определяют, как автопилот реагирует на вход дистанционного управления, и то как он управляет движением транспортного средства во время автономного полета.

Режимы предоставляют различные типы/уровни поддержки автопилота для пользователя (пилота), начиная от автоматизации общих задач, таких как взлет и посадка, до механизмов, которые облегчают возврат квадрокоптера, удержание квадрокоптера в фиксированном положении.

Так как все режимы автопилота PX4 нас не интересуют, рассмотрим режим автопилота, с которым непосредственно будем работать. Данный режим называется «OFFBOARD». Это автоматический режим, который требует данные о местоположении (GPS или как в нашем случае локальные координаты от PX4FLOW Smart Camera). Если этот режим активирован, то коптер должен подчиняться заданному положению, скорости или настройке положения над MAVLink.

Перед включением этого режима коптер должен быть снят с защиты и должен уже получать поток целевых значений до того, как этот режим может быть задействован. Частота целевых значений должна быть более 2 Гц, если это не так, то автопилот выйдет из этого режима.

Режим «OFFBOARD» в основном используется для управления движением и ориентацией транспортного средства. Для этого режима требуется активное соединение с удаленной системой MAVLink (например, сопутствующим компьютером или GCS). Если соединение потеряно, после таймаута коптер попытается приземлиться или выполнить какое-либо действие. Действие определяется параметрами COM\_OBL\_ACT и COM\_OBL\_RC\_ACT.

### **3.2 Программная среда Robot Operating System**

Robot Operating System (ROS) – стала стандартом для исследований в робототехнике. Это бесплатная мета-операционная система с открытым исходным кодом. [16] Она объединяет следующие сервисы:

- операционная система;
- аппаратная абстракция;
- управление устройствами нижнего уровня;
- передача сообщений между процессами;
- управление пакетами.

Робототехнический фреймворк дополнительно предоставляет библиотеки для получения, сборки, записи и запуска кода. Коммуникационная инфраструктура является основным преимуществом ROS. Это позволяет облегчить использование различных роботов или датчиков и связывание их друг с другом. Это система узлов и тем. Узлы – это, по сути, программы Python Code или C++, загруженные или специально созданные пользователями, которые могут подписаться или опубликовать различные темы. Как только публикуется тема, каждый узел имеет возможность подписаться на нее. Эту концепцию можно увидеть на рисунке 3.3. Типы сообщений ROS являются предопределенными или настраиваемыми сообщениями, которые определяют формат публикации информации. Существуют основные сообщения, которые достаточно

эффективны и хорошо организованы, однако продвинутые пользователи могут также создавать свои собственные типы сообщений, если это необходимо.

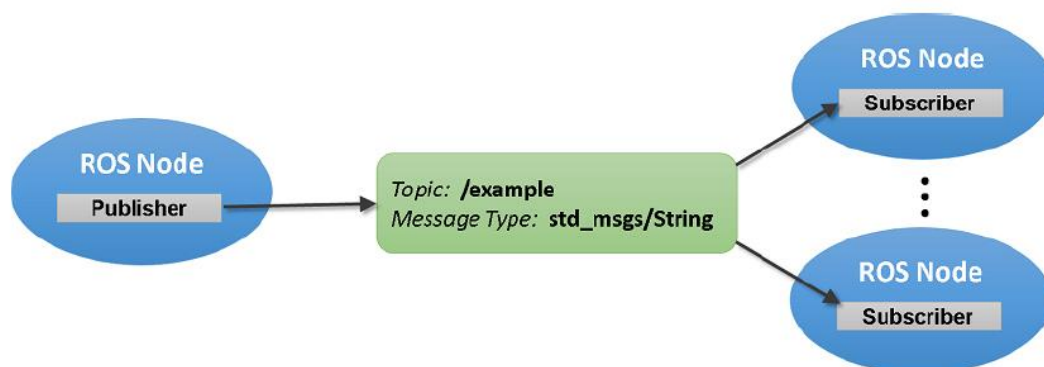


Рисунок 3.3 – Концепция Publisher/Subscriber в ROS

Структура ROS заботится о данных и их движении по ROS. Связь осуществляется как одноранговая сеть ROS-процессов. Ниже описаны основные компоненты ROS.

Узлы (Nodes) – это процессы, выполняющие вычисления. Это исполняемые двоичные файлы, которые обрабатывают данные в ROS. У робота обычно много узлов, и каждый из них заботится о разных частях подсистемы. Например, один осуществляет управление двигателем, другой обрабатывает данные сонара, другой выполняет локализацию и так далее. Узлы общаются друг с другом путем отправки сообщений. Узлы создаются с использованием клиентских библиотек, таких как `roscpp`, `rospy`, `roslua`, и могут быть запрограммированы на разных языках.

Мастер (Master) – ROS Master управляет другими узлами и контролирует связь между ними. Предоставляет имена (пространства имен), темы и службы всем узлам. Он контролирует, какие узлы публикуют сообщения по темам и какие узлы они могут удалить. Задача Мастера – позволить одному узлу предоставлять информацию о другом, чтобы общаться друг с другом.

Сервер параметров – словарь переменных. Узлы используют этот

сервер в качестве хранилища и могут загружать и извлекать переменные во время выполнения. Используется для статических не двоичных данных, таких как параметры конфигурации. Данные в нем отображаются в глобальном пространстве и могут изменять параметры системы через него по мере необходимости. Сервер параметров работает как часть мастера и доступен через API.

Сообщения (Message) – узлы обмениваются данными друг с другом, отправляя сообщения. Сообщение представляет собой простую структуру данных, которая содержит типизированные элементы. Поддерживаются примитивные типы данных (int, float, string и т.д.), эти типы полей, а также вложенные структуры данных и массивов (например, структуры в C).

Темы (Topic) – сообщения доставляются через транспортную систему с семантикой public/subscribe. Один узел отправляет сообщения и публикует их в теме. Тема имеет свое имя для идентификации и прочно связана только с одним типом сообщения. Второй узел, интересующийся типом сообщения, будет подписан для получения новостей из этой темы. Одновременно может быть много публикующих и много подписчиков одной темы. Кроме того, один узел может публиковать сообщения по нескольким темам и загружать сообщения из нескольких тем. Тема ведет себя как сильно типизированная шина сообщений. Любой человек может подключать или отключать, публиковать или загружать сообщения такого типа в любое время.

Службы (Service) – службы позволяют узлам связываться друг с другом с помощью семантики запроса-ответа. Служба определяется двумя сообщениями: одна для запроса (response) и другая для ответа (request). Сервисный узел предлагает службу под именем. Клиентский узел вызывает эту службу (отправляет сообщение) и ожидает ответа.

Файлы Bag. Эти файлы используются для записи сообщений, которые могут воспроизводиться снова. Это используется, например, для загрузки данных датчиков, которые трудно получить. Затем мы можем воспроизвести ROS, моделируя датчик.



ROS был разработан для взаимодействия с Ubuntu, который используется как типичная исследовательская операционная система, благодаря своим возможностям и тому факту, что она бесплатна. На протяжении многих лет было несколько версий ROS. Версия ROS, используемая в данной работе – это ROS Kinetic. Преимущество этой версии состоит в том, что она в основном разработана для Ubuntu 16.04, которая является версией Ubuntu с долгосрочной поддержкой, что добавило безопасность в проект. Ubuntu 16.04 также имеет легкую версию под названием Ubuntu Server 16.04, которая взаимодействует с Raspberry Pi 3. Пользователь имеет возможность устанавливать различные версии ROS, которые представляют собой Desktop-Full Install, Desktop Install, ROS-Base и Individual Package. Различие между ними – это, по сути, количество пакетов, которые входят в данные версии, что коррелирует с объемом хранения, необходимым для версии. В то время как на персональном компьютере можно было установить полнофункциональную версию Desktop-Full Install, для бортового компьютера была выбрана версия Desktop Install. Это гарантирует, что не большая часть 32-гигабайтной памяти MMC-карты Raspberry Pi 3 используется и её по-прежнему достаточно. Кроме того, позже потребуются определенные пакеты, которые могут быть установлены вручную, поэтому нет реального недостатка в использовании более легкой версии.

В настоящее время была разрабатывается новая версия ROS. Хотя новые дистрибутивы ROS постоянно развиваются, есть некоторые недостатки, которые настолько глубоки в ядре ROS, что разрабатывается новая версия под названием ROS 2.

Эта новая версия сосредоточена на улучшении поддержки нескольких сервисов распространения данных (DDS). Он тестируется на большом количестве операционных систем, включая Windows 10. В нем также пытаются реализовать как можно больше языков программирования. [17]

Все эти изменения - это усовершенствование системы и дальнейшая

адаптация к сообществу робототехники, которое изменилось с тех пор, как ROS 1 впервые был представлен в 2007 году.

### **3.2.1 MAVROS**

MAVROS - MAVLink расширяемый узел связи ROS с прокси наземной станции управления.

Этот пакет обеспечивает коммуникационный драйвер для различных автопилотов с протоколом связи MAVLink. Дополнительно он обеспечивает мост UDP MAVLink для наземных станций управления (например, QGroundControl).

Основной узел может быть расширен плагинами, например, такими как `mavros_extras`.

Особенности пакета MAVROS:

- связь с автопилотом через последовательный порт, UDP или TCP;
- внутренний прокси-сервер для наземной станции управления;
- система плагинов для перевода ROS-MAVLink;
- поддержка PX4Flow (через `mavros_extras`);
- поддержка режима OFFBOARD;
- преобразование географических координат.

Главный коммутационный узел `mavros_node`. Его запуск необходимо осуществлять файлом запуска. Так как в нашем квадрокоптере установлена прошивка PX4, то и запуск MAVROS необходимо производить файлом `px4.launch`.

### **3.3 Протокол MAVLink**

MAVLink является основным каналом передачи команд из миникомпьютера в полетный контроллер. Micro Aerial Vehicle Link (MAVLink) [18] – протокол, который использует PX4 для связи наземной станции (GCS). Протокол состоит из сообщений, и их типов, а также набора

предписанных и служебных функций. Физическая передача происходит через последовательную линию, либо через USB, либо с помощью модуля 3DR Radio по беспроводной сети. Протокол определяет набор сообщений, включая отчеты о состоянии квадрокоптера, входов, настройки параметров и сообщения передачи телеметрии. Для этих драйверов имеются отчеты для получения статуса, данных датчиков, ввода команд и управления двигателем.

Сообщение обычно зашифровывается и отправляется со станции, работающей на сопутствующем компьютере, на квадрокоптер. Квадрокоптер декодирует, активирует обработчик событий сообщения и предпринимает соответствующие действия. Общение также работает наоборот. PX4 автоматически генерирует сообщения и отправляет их на станцию, например данные телеметрии.

Тип сообщения отличается идентификатором сообщения (Message ID), который определяется протоколом. Он также содержит часть данных, которая изменяется в соответствии с идентификатором сообщения.

### 3.3.1 Структура пакета MAVLink

Сообщение содержит заголовок (6 байтов), тело и контрольную сумму (2 байта). Минимальная длина сообщения - 8 байт (сообщение не имеет тела) и максимум 263 байта. На рисунке 3.4 показана структура пакета MAVLink.

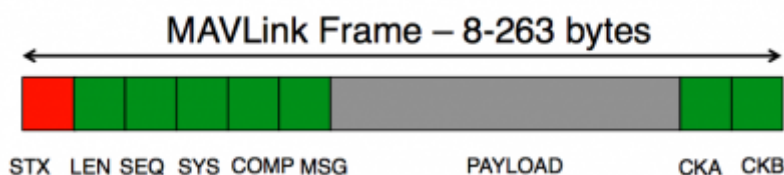


Рисунок 3.4 – Структура пакета MAVLink

Сообщения генерируются функциями оператора, и нам не нужно их полностью создавать из базы. Для выбора типа сообщения важны только две вещи: Message ID (MSG) и связанный с ним объект сообщения (PAYLOAD). Тело прочно связано с ID сообщения. Каждый идентификатор предварительно определен, он имеет идентификатор MAVLINK\_MSG\_ID,

который связан с именем сообщения. Например, MAVLINK\_MSG\_ID\_HEARTBEAT имеет идентификатор, равный 0. Если он указан как идентификатор компонента, это сообщение HEARTBEAT.

Флаг пакета (STX) – указывает начало сообщения, всегда имеет значение 0xFE. Длина полезной нагрузки (LEN) – указывает длину тела пакета. Последовательность пакетов (SEQ) – последовательность увеличивается с каждым новым сообщением. Включает обнаружение потери пакетов. Системный идентификатор (SYS) – идентификационный номер ресурса или устройства, отправляющего это сообщение. Используется для различия соседних устройств. Идентификатор компонента (COMP) – подсистема или идентификатор компонента, который отправляет это сообщение. Позволяет различать различные компоненты одной системы. На данный момент этот элемент не имеет большого значения и установлен в ID системы. Идентификатор сообщения (MSG) – знает, как будет выглядеть тело пакета (данные). Данные (PAYLOAD) – тело сообщения, также называемое полезной нагрузкой. Содержимое и размер зависят от идентификатора сообщения. Последней частью является контрольная сумма нужная для обнаружения ошибок.

### **3.3.2 Сообщения MAVLink**

Рассмотрим некоторые сообщения, которые могут использоваться в проекте для управления квадрокоптером.

HEARTBEAT (# 0). Основная функция этого сообщения – информировать противоположную сторону о том, что система получает сообщения и отвечает. В частности, квадрокоптер отправляет это сообщение каждую секунду. Если в течение этого интервала произошел сбой пакета, произошло событие или проблема.

Например, перезапуск системы, разряд батареи, замерзание системы, авария, ошибка связи или потеря сигнала.

RAW\_IMU (# 27). Здесь мы получаем необработанные данные из датчиков IMU (Инерционный измерительный блок). Для каждой оси x, y и z имеются данные ускорения, угловая скорость от гироскопа и данные магнитного поля от магнитометра.

ATTITUDE (# 30). В отчете дается информация о расположении квадрокоптера. Это выражается с помощью углов, которые делают оси x, y, z (конвенция North East Down) осями самолета. Оси самолета называются продольными, передними (продольными) и вертикальными (нормальными) осями и соответствуют элементам roll, pitch и yaw. Дополнительные данные представляют собой угловые скорости для отдельных осей.

LOCAL\_POSITION\_NED (# 32). Сообщение определяет рассчитанную локальную позицию из начала работы системы. Оси x, y, z соответствуют конвенции North East Down, также известной как местная касательная плоскость (LTP). Элементы vx, vy, vz соответствуют рассчитанным скоростям оси.

GLOBAL\_POSITION\_INT (№ 33). Глобальная позиция, рассчитанная на основе GPS и акселерометров. Он предлагает расчетную географическую ширину, длину, высоту, относительную высоту, скорость движения по земле и направление компаса.

VFR HUD (# 74). Полетная информация, обычно отображаемая на контрольном дисплее (HUD, экран). Это дает, например, данные о скорости, направлении, высоте и подъеме летательного аппарата.

### **3.4 Алгоритм управления автономным полетом охранного квадрокоптера**

При разработке системы управления автономным охранным квадрокоптером был разработан алгоритм, представленный на рисунке 3.5 и 3.6. Данный алгоритм является универсальным решением для выполнения автономных полетных миссий. Его применение в квадрокоптерах схожей

конфигурации будет обоснован, так как этот алгоритм эффективен и прост в реализации, что несомненно является плюсом.

Алгоритм адаптирован под реализацию в ROS пакете MAVROS.

ROS пакет MAVROS предоставляет удобный фреймворк для работы с протоколом MAVLink, на котором «общается» установленный в квадрокоптере автопилот PX4.

MAVROS обменивается информацией с полетным контроллером создает топики ROS, в некоторых темах публикует данные, а на другие подписывается, то есть ждет поступления данных в тему. Для управления квадрокоптером с конфигурацией, выбранной выше достаточно публиковать и считывать несколько тем.

Язык C++ будет использован для написания программы по разработанному алгоритму.

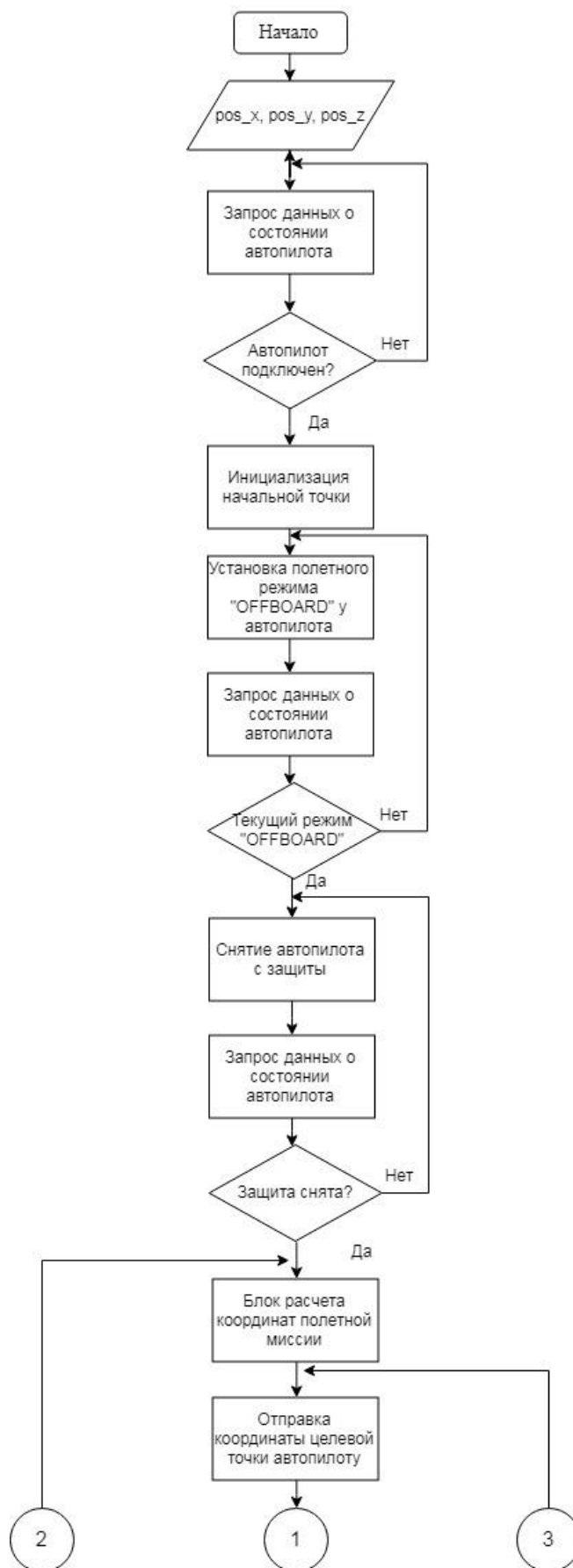


Рисунок 3.5 – Алгоритм работы системы управления квадрокоптером (часть 1)



Рисунок 3.6 – Алгоритм работы системы управления квадрокоптером  
(часть 2)

Блок «Запрос данных о состоянии автопилота» помогает получить важную информацию о состоянии подключения к автопилоту, узнать режим полета автопилота, проверить состояние установки защиты автопилота. Этими данными обеспечивает MAVROS тема «mavros/state», которая должна своевременно считываться.

После того как был запущен MAVROS и программа управления (узел ROS) необходимо дождаться подключения MAVROS к автопилоту PX4. Для этих целей присутствует блок проверки «Автопилот подключен?». Если автопилот подключен, то проверка завершается успешно и алгоритм выполняется дальше, а если неудачно, то проверки будут повторяться, и программа дальше не продвинется.

Особенность режима Offboard такова, что перед тем как войти в этот режим, необходимо запустить потоковое задание, то есть начать публиковать координаты в теме «mavros/setpoint\_position/local». В противном случае переключение режима не произойдет. Описанную задачу решает блок «Инициализация начальной точки».

Непосредственное включение режима Offboard, описанного в выше, происходит в блоке «Установка полетного режима OFFBOARD у автопилота». Так как переключения режимов полета в MAVROS реализовано



с помощью службы ROS, то нужно отправить запрос в службу на изменения режима.

Далее мы запрашиваем данные о состоянии автопилота и после их получения проверяем текущий режим полета блоком «Текущий режим OFFBOARD?». При успешном выполнении алгоритм продолжится, а при неудаче произойдет повторное включение режима.

Для выполнения любых полетных миссий необходимо, чтобы квадрокоптер был снят с защиты (с охраны). Эта функция реализуется блоком «Снятие автопилота с защиты». В MAVROS это реализовано с помощью служб «mavros/cmd/arming».

Далее производятся проверки успешной предыдущей операции.

Блок «Блок расчета координат полетной миссии» является ключевым местом алгоритма. Здесь производится расчет будущих координат, которые в дальнейшем по порядку будут отправлены автопилоту на исполнение. Преимущества данного блока в том, что в него можно встраивать различные алгоритмы расчета координат, даже использовать данные других узлов ROS, которые, к примеру, занимаются планированием траектории полета на основании полученных данных с карт, либо с камер.

На выходе блока «Блок расчета координат полетной миссии» должна быть координата, которую блок «Отправка координаты целевой точки автопилоту» отправит полетному контроллеру на исполнение.

После того как квадрокоптер начнет свое движение в сторону выполнения миссии будет запускаться проверка достижения целевой точки блоком «Достигли места назначения?». При успешно выполненной миссии алгоритм перейдет в стадию расчета новой путевой точки.

Программная реализация алгоритма представлена в листинге 3.1.

### Листинг 3.1

```
#include <ros/ros.h>
#include <geometry_msgs/PoseStamped.h>
#include <mavros_msgs/CommandBool.h>
#include <mavros_msgs/SetMode.h>
#include <mavros_msgs/State.h>
```

```

mavros_msgs::State current_state;
void state_cb(const mavros_msgs::State::ConstPtr& msg){
    current_state = *msg;
}

geometry_msgs::PoseStamped current_pose;
void pose_lock(const geometry_msgs::PoseStamped::ConstPtr& msg){
    current_pose = *msg;
}

// начальная точка
int pos_x = 0; //координата X
int pos_y = 0; //координата Y
int pos_z = 0; //координата Z

int main(int argc, char **argv)
{
    ros::init(argc, argv, "offb_node");
    ros::NodeHandle nh;

    ros::Subscriber state_sub = nh.subscribe<mavros_msgs::State>
        ("mavros/state", 10, state_cb);
    ros::Subscriber local_pos_sub =
nh.subscribe<geometry_msgs::PoseStamped>
        ("mavros/local_position/pose", 10, pose_lock);
    ros::Publisher local_pos_pub =
nh.advertise<geometry_msgs::PoseStamped>
        ("mavros/setpoint_position/local", 10);
    ros::ServiceClient arming_client =
nh.serviceClient<mavros_msgs::CommandBool>
        ("mavros/cmd/arming");
    ros::ServiceClient set_mode_client =
nh.serviceClient<mavros_msgs::SetMode>
        ("mavros/set_mode");

    // скорость публикации заданных точек ДОЛЖНА быть быстрее, чем 2 Гц
    ros::Rate rate(20.0);

    // ожидание подключения Pixhawk
    while(ros::ok() && !current_state.connected){
        ros::spinOnce();
        rate.sleep();
    }

    geometry_msgs::PoseStamped pose;
    pose.pose.position.x = pos_x;
    pose.pose.position.y = pos_y;
    pose.pose.position.z = pos_z;

    // отправка некоторых заданных точек, для включения OFFBOARD
    for(int i = 100; ros::ok() && i > 0; --i){

```

```

    local_pos_pub.publish(pose);
    ros::spinOnce();
    rate.sleep();
}

// установка режима OFFBOARD
mavros_msgs::SetMode offb_set_mode;
offb_set_mode.request.custom_mode = "OFFBOARD";

mavros_msgs::CommandBool arm_cmd;
arm_cmd.request.value = true;

ros::Time last_request = ros::Time::now();

bool count = true;

while(ros::ok()){
    if( current_state.mode != "OFFBOARD" &&
        (ros::Time::now() - last_request > ros::Duration(5.0))){
        if( set_mode_client.call(offb_set_mode) &&
            offb_set_mode.response.mode_sent){
            ROS_INFO("Offboard ON!");
        }
        last_request = ros::Time::now();
    } else {
        if( !current_state.armed &&
            (ros::Time::now() - last_request >
ros::Duration(5.0))){
            if( arming_client.call(arm_cmd) &&
                arm_cmd.response.success){
                ROS_INFO("Quadrokopter arming!");
                pos_z = 2; // отправим команду на взлет для
коптера
            }
            last_request = ros::Time::now();
        }
    }
    if(current_pose.pose.position.x == pos_x &&
        current_pose.pose.position.y == pos_y &&) {
        if(count) {
            pos_y = pos_y + 4;
            count = false;
            return;
        }
        pos_x = pos_x - 4;
        count = true;
    }
    pose.pose.position.x = pos_x;
    pose.pose.position.y = pos_y;
    pose.pose.position.z = pos_z;
}

```

```
local_pos_pub.publish(pose);  
  
ros::spinOnce();  
rate.sleep();  
}  
return 0;  
}
```

В программной реализации алгоритма управления автономным охраняемым квадрокоптером в блоке «Блок расчета координат полетной миссии» для тестовых испытаний был реализован расчет точек, расположенных на «зигзаг» линии, и в результате квадрокоптер на основе этой полетной программы пролетает траекторию, показанную на рисунке 3.7.

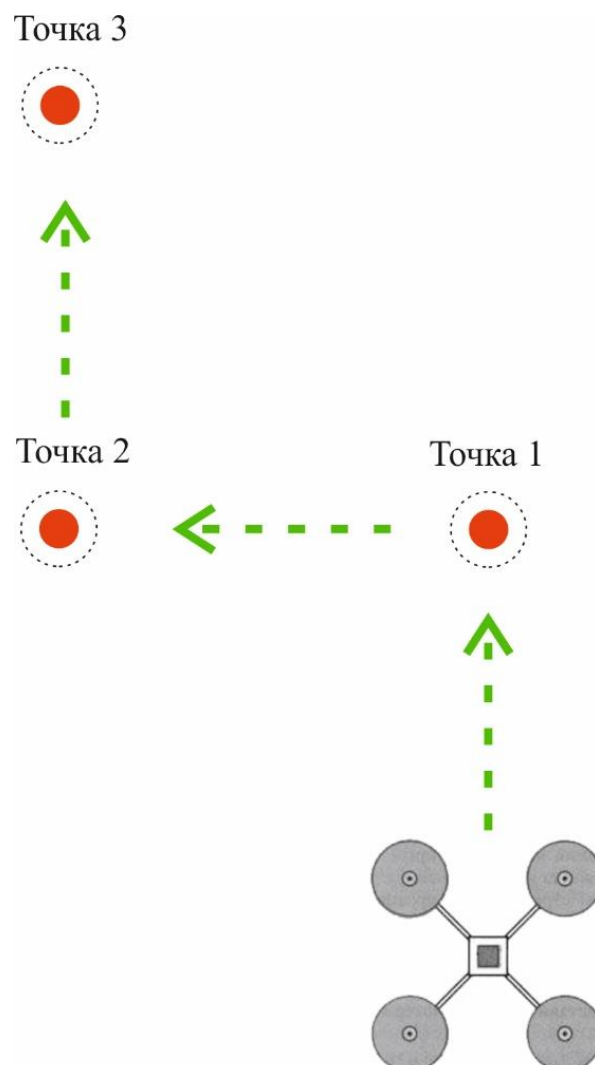


Рисунок 3.7 – Тестовая траектория полета автономного охранного квадрокоптера

Результатом исследования являются разработанные архитектуры аппаратного обеспечения и системы управления, включающей в себя алгоритмическое проектирование и программную реализацию. Архитектура аппаратного обеспечения, являющаяся конфигурацией автономного охранного квадрокоптера, соответствует предъявляемым требованиям и отвечает задачам проектирования автономных систем управления. Разработанный алгоритм позволяет автономно управлять передвижением охранного квадрокоптера в пространстве. Данный алгоритм позволяет расширять разработанную систему управления, добавляя в нее новые модули, например, распознавание объектов и расчет приблизительных координат детектируемого объекта в координатах спроектированного охранного квадрокоптера. Это позволит рассчитать траекторию полета охранного квадрокоптера к обнаруженной цели, а затем передать точки траектории в разработанную в этой работе систему управления.

## 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Организация и планирование работ

Для оценки процесса реализации проекта необходимо составить линейный график, исполнителями являются научный руководитель(НР) и студент(С). Для каждого из выделенных этапов определим его исполнителей и долю участия каждого из исполнителей в его выполнении. Полученные результаты сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 75% С – 25%
2. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 35% С – 65%
3. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 20% С – 80%
4. Анализ готовых технических решений	НР, С	НР – 20% С – 80%
5. Подбор компонентов устройства	С	С – 100%
6. Поиск источников, изучение основ проектирования и программирования во фреймворке Robot Operating System (ROS)	С	С – 100%
7. Составление алгоритма работы системы управления	НР, С	НР – 30% С – 70%

Продолжение таблицы 4.1

8. Реализация системы управления в готовом устройстве	С	С – 100%
9. Оформление пояснительной записки	С	С – 100%
10. Подведение итогов	НР	НР – 100%

Кратко изложим описание каждого из этапов с результатами.

Первым этапом является анализ предметной области, с постановкой целей и задач. Производится распределение нагрузки и обязанностей между научным руководителем и студентом. После изучения предложенных научным руководителем материалов, которые необходимы для достижения поставленных целей, студент просматривает дополнительные источники и предлагает максимально детальный план работ. Текущий план проходит корректировку и подтверждается в последствие научным руководителем. Основными пунктами данного плана являются предварительно прописанные студентом задачи.

Результатом второго этапа станут технические требования к разрабатываемой системе управления, в частности к её функционалу. Так же обоснование целесообразности и актуальности разработки.

Результатом выполнения третьего этапа будет календарный план, в котором содержится расписание выполнения всех видов деятельности по достижению цели – разработки системы управления автономным охранном квадрокоптером.

Четвертый этап подразумевает обзор реализованных проектов, в данной области и тематики. Сравнение реализованных решений помогает лучше разобраться в исследуемой области, а также понять недостатки каждого решения и попытаться устранить их в будущей разработке.

Результатом выполнения пятого этапа является выбор необходимых

компонентов квадрокоптера, который будет отвечать всем поставленным задачам.

Результатом выполнения шестого этапа является глубокое понимание вопроса по изучаемой тематике, подбор нужного материала для исследования, выбор необходимого программного обеспечения, в частности ROS, и определение направления последующей работы.

В седьмом этапе происходит формирование основных концепций и идей, закладываемых в создаваемую систему управления. Результатом выполнения является готовый алгоритм работы системы, который показывает, как происходит управление квадрокоптером в зависимости от поставленной миссии.

В восьмом этапе производится настройка и калибровка всех компонентов беспилотного летательного аппарата, а также реализация алгоритма работы в программной среде Robot Operating System. Результатом выполнения является программная реализация разработанного алгоритма и отладка готовой программы.

Девятый этап направлен на оформление всего изученного, смоделированного и изготовленного материала в текстовом формате для защиты и так же для продолжения исследований в данном направлении.

На десятом этапе студент предоставляет свои результаты на оценку руководителю и получает обратную связь о проделанной им работе.

## **4.2 Продолжительность этапов работ**

По причине отсутствия нормативной базы по проводимым работам, а также достоверной информации о процессе выполнения подобных работ другими исполнителями, применим экспертным способом оценки продолжительности выполнения плановых работ.

Для этого, полагаясь на собственный опыт, произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов.



Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой

$$t_{ожi} = \frac{2 \cdot t_{max} + 3 \cdot t_{min}}{5},$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемое время выполнения  $i$ -го этапа работ в чел.-дн.,  $t_{min}$  – минимальная длительность работы, дн.;  $t_{max}$  – максимальная длительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Переведем эти величины в календарные дни, применив следующую формулу:

$$T_{кд} = T_{к} \cdot T_{рд},$$

где  $T_{кд}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  $T_{к}$  – коэффициент календарности, который позволяет перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогичным значениям в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \text{ где } T_{кал} - \text{ календарные дни } (T_{кал} = 365); T_{вд} - \text{ выходные дни } (T_{вд} = 52); T_{пд} - \text{ праздничные дни } (T_{пд} = 10).$$

$$T_{к} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,48$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}$$

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{вн} = 1$ ;  $K_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{д} = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Для расчетов в данной работе примем  $K_{д}$  и  $K_{вн}$ , равными единице. Тогда формула для расчета календарных дней преобразуется в следующую:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{к}} \cdot T_{\text{рд}} = t_{\text{ож}} \cdot T_{\text{к}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} \cdot 1.48$$

Воспользовавшись данными из таблицы 4.1, приведенными выше формулами, произведем расчет продолжительности выполнения работ научным руководителем и студентом в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 4.2. На основе данной таблице составим линейный график работ, представленный в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнитель	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-			
					Т <sub>РД</sub>		Т <sub>КД</sub>	
		<i>t<sub>min</sub></i>	<i>t<sub>max</sub></i>	<i>t<sub>ож</sub></i>	НР	С	НР	С
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	2	4	2,8	2,1	0,7	3,108	1,036
2. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	4	7	5,2	1,82	3,38	2,6936	5,024
3. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	2	4	2,8	0,56	2,24	0,8288	3,3152
4. Анализ готовых технических решений (ТЗ)	НР, С	2	4	2,8	0,56	2,24	0,8288	3,3152
5. Подбор компонентов устройства	С	3	6	4,2	0	4,2	0	6,216
6. Поиск источников, изучение основ проектирования и программирования во фреймворке Robot Operating System (ROS)	С	38	48	42	0	42	0	62,16
7. Составление алгоритма работы системы управления	НС, С	12	17	14	4,2	9,8	6,216	14,504
8. Реализация системы управления в готовом устройстве	С	16	22	18,4	0	18,4	0	27,232
9. Оформление пояснительной записки	С	10	16	12,4	0	12,4	0	18,352
10. Подведение итогов	НР	2	4	2,8	2,8	0	4,144	0
<b>Итого:</b>				<b>107,4</b>	<b>12,04</b>	<b>95,36</b>	<b>17,819</b>	<b>141,154</b>

Таблица 4.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	3,11	1,04	■														
2	2,7	5,02	■	■													
3	0,83	3,32		■													
4	0,83	3,32		■													
5	0	6,22			■												
6	0	62,16				■											
7	6,22	14,5									■	■					
8	0	27,23											■				
9	0	18,35													■		
10	4,14	0															■

НР – ■; С – ■

## **4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

Расчет затрат для выполнения комплекса работ по проекту производится по следующим статьям:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные) расходы.

Для выполнения работ по исследовательской работе, являющейся частью проекта ТГУ «Субсидия 14.578.21.0241 от 26 сентября 2017 г.» [1], исполнителям не требуется производить оплату услуг сторонних организаций, так как они являются подразделениями и/или подрядными организациями ТГУ, и производить оплату за аренду помещений и имущества не требуется. Исполнители также не производят оплату командировок, услуг связи. Таким образом, касательно проекта, необходимо произвести расчет материалов и покупных изделий, заработную плату исполнителей, социальный налог, расходы на электроэнергию, амортизацию и накладные расходы.

### **4.3.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия**

Для работы над проектом необходимо провести теоретические исследования в начале, а далее практические. Для теоретических исследований необходимо наличие дистрибутива Ubuntu 16.04, фреймворк для программирования роботов Robot Operating System, MS Office. Первые два продукта имеют бесплатную лицензию, а лицензия на MS Office приобретена

ТГУ и предоставлена исполнителю для выполнения проекта. Исходя из вышеописанного, затраты на использование данных программ не учитываются.

Так как затрат на все программное обеспечение удалось избежать, то материальные затраты в данной части состоят только из расходов на канцелярские принадлежности и расходные материалы для принтера.

При проведении практических исследований необходимо было закупить такие компоненты, как микрокомпьютер Raspberry Pi 3, полетный контроллер Pixhawk 2.4.8, выотомер Leddar One Lidar, оптический сенсор PX4FLOW.

Такие компоненты как двигатели, винты, контроллеры двигателей, рама квадрокоптера, батареи питания предоставлены сотрудниками Факультета инновационных технологий (ФИТ) ТГУ для использования.

В материальные затраты также входят транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), которые обуславливаются затратами на совершение сделок купли-продажи материалов, их доставку к месту использования. Обычно ТЗР составляют от 5% до 20% от общей цены материалов. Положим норму ТЗР равной 10%.

С учетом вышесказанного, составим таблицу, в которой учтены затраты на первый и второй этапы работы.

Таблица 4.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
<b>Затраты на этапе теоретических исследований</b>			
Бумага для принтера, упак. 500 листов	257	1	257
Тетрадь общая, формат А4	93	1	93
Скобы для степлера, упак. 500 шт.	84	1	84
Итого			434
Итого (с учетом ТЗР)			477,4
<b>Затраты на этапе практических исследований</b>			
Raspberry Pi 3	3500	1	3500
ПК Pixhawk 2.4.8	6000	1	6000
Leddar One Lidar	7150	1	7150
PX4FLOW v1.3.1	3300	1	3300
Итого			19950
Итого (с учетом ТЗР)			21945
<b>Общие затраты</b>			
<b>Итого</b>			20384
<b>Итого (с учетом ТЗР)</b>			22422,4

### 4.3.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату студента (исполнитель проекта) и научного руководителя, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величина месячных окладов ( $MO$ ) для сотрудников ТПУ находится в общем доступе и её можно найти на портале, либо же взять из приложения 1. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, в которой выполняются подобные виды работ или же там, где студент проходил преддипломную практику.

Для расчета заработной платы студента примем величину месячного оклада, равную окладу младшего научного сотрудника на полставки, т.е.  $MO_C = 7437,225$  руб.; а величина заработной платы руководителя – величина месячного оклада доцента, д.т.н.  $MO_{HP} = 27484,86$ .

Для дальнейшего расчета зарплаты необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2018 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20,6. Таким образом, среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} = MO/20,6$$

Для студента эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334,22 рубля в день. Зная среднедневную оплату труда, можно произвести расчет основной заработной платы за период выполнения работ. Затем, учитывая премии, дополнительную заработную плату и районный коэффициент, можно рассчитать полную заработную плату по следующей формуле:

$$ЗП_{полн} = ЗП_{дн} * T_{РД} * K_{ПР} * K_{ДОП} * K_R$$

где  $T_{РД}$  – трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях;  $K_{ПР} = 1,1$

– коэффициент премирования;  $K_{дон} = 1,13$  – коэффициент дополнительной заработной платы для пятидневной рабочей недели;  $K_p = 1,3$  – районный (северный) коэффициент. Выполнив расчеты по приведенным формулам, результаты приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	27484,86	1334,22	18	1,62	<b>38905,9</b>
С	7437,225	361	141		<b>82459,6</b>
<b>Итого</b>					<b>121365,5</b>

### 4.3.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья учитывает затраты на электроэнергию, которая потребляется всем оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э},$$

где  $P_{об}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;  $Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час ( $Ц_{э} = 5,782$  руб/кВт·ч);  $t_{об}$  – время работы оборудования, час. Время работы оборудования определяется по формуле:

$$t_{об} = T_{РД} * K_t,$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{РД}$ , определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение  $t_{об}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер, принтер. Определим затраты на потребленную оборудованием электроэнергию и сведем результаты расчетов в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Затраты на электроэнергию



Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВт	Kt	Время работы оборудования	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0,5	0,9	1123,7	3248,6
Принтер	0,25	0,005	2,02	2,93
<b>Итого</b>				<b>3251,53</b>

#### 4.3.4 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), который включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту и рассчитывается по формуле  $C_{соц} = C_{эл} * 0,3$ . Итак, для проведения исследования затраты на социальный налог составляют  $C_{соц} = 121,365,5 * 0,3 = 36409,65$  руб.

#### 4.3.5 Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot Ц_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;  $Ц_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР,  $F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году,  $t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При работе над проектом использовались по 1 единице оборудования: персональный компьютер, принтер. Эти два типа оборудования входят в одну группу – вычислительная техника, следовательно, они имеют одинаковый срок полезного использования, равный 2-3 годам. Так как компьютер эксплуатировался более 3 лет уже к началу работ, то срок его полезного использования истек, следовательно, амортизационные расходы на данный вид

оборудования равны нулю. Принтер эксплуатировался к началу проведения работ более 5 лет, следовательно, амортизационные расходы на него тоже нулевые.

#### 4.3.6 Расчет прочих (накладных) расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = (22422 + 121365,5 + 36409,65 + 3251,53) \cdot 0,1 = 183448,68 \cdot 0,1 = 18344,868 \text{ руб.}$$

#### 4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитав сумму всех расходов на выполнение запланированных работ, произведем расчет общей себестоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	22422
Заработная плата	$C_{\text{зп}}$	121365,5
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	36409,65
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	3251,53
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	18344,868
<b>ИТОГО:</b>		<b>201793,548</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 201793,548$  руб.

## 5. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности человека по причине научного прогресса играет важную роль на производстве. Тем самым в соответствии с требованиями безопасности была создана наука, которая помогает обеспечить безопасность жизнедеятельности человека (БЖД). БЖД – это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в окружающей его среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путём снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений, выработку мер по ограничению ущерба в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени.

Социальная ответственность [28] – это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества; учитывает ожидания заинтересованных сторон; соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения; интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

Использование компьютерной техники в повседневной деятельности человека из года в год становится только интенсивней. В связи с этим человек при работе за компьютером подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: радиочастотному (высоких, ультравысоких и средних частот), инфракрасному излучению, электромагнитных полей, статическому электричеству, шуму и вибрации. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением, высокой напряженностью зрительной работы и большой нагрузкой на кисти рук при работе с периферийными устройствами ЭВМ.

## 5.1 Производственная безопасность

### 5.1.1 Микроклимат

Одним из важных факторов для обеспечения высокой производительности труда является благоприятные (комфортные) метеорологические условия на производстве. При нарушении гигиенических норм микроклимата падает работоспособность человека, возрастает опасность получения различных травм и заболеваний, в том числе профессиональных.

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям [19] и приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата рабочего места

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория 1a	23-25	40-60	0,1
Теплый	Категория 1a	20-22	40-60	0,1

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха согласно [30] и приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемый в помещение
Объем до 20 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20...40 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20

### 5.1.2 Естественная освещенность

Правильное освещение помещений и рабочих зон одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. При недостаточной освещенности развивается утомление зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность производственного травматизма, низкая освещенность способствует развитию близорукости.

Рабочая зона или рабочее место разработчика освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая зрения, а также исключается прямое попадание лучей источника света в глаза. Кроме того, уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет 0,5 - 1 мм. В помещении отсутствует естественное освещение. По нормам освещенности [20] и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений.

Таблица 5.3 – Нормирование освещённости для работы за ПК [20]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высокой точности	От 0,3	Б	1	Более 70	300	100	40	15	3,0	1,0
	От 0,5		2	Менее 70	200	75	60	20	2,5	0,7

Где:

- 1-характеристика зрительных работ;
- 2-наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм;
- 3-разряд зрительной работы;
- 4-подразряд зрительной работы;
- 5-относительная продолжительность зрительной работы, %;

- 6-освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк;
- 7-цилиндрическая освещенность, лк;
- 8-показатель дискомфорта;
- 9-коэффициент пульсации освещенности, %;
- 10-КЕО при верхнем освещении, %;
- 11-КЕО при боковом освещении, %

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице 5.4. [21]

Таблица 5.4 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК [21]

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блескость источника света	200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%

Освещаемая площадь помещения составляет 18 м<sup>2</sup>, количество ламп 8, каждая 1000 люмен. Тогда  $E=8000/18=444$  лк. Это является достаточным для выполнения условий, приведенных в таблице 4.

### 5.1.3 Уровень шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли,

головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ(А)) на слух человека приводит к его частичной или полной потере.

При выполнении основной работы на ПЭВМ эквивалентный уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в [22].

Для устранения шума необходимо прочистить вентилятор от пыли или заменить полностью.

#### **5.1.4 Уровень электромагнитных излучений**

Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человека (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности, но подобный эффект проявляет себя только при превышении допустимого уровня. Помимо электромагнитного излучения, при работе компьютера образуется электростатическое поле, оно способно деионизировать окружающий воздух. Компьютер, при долгой работе, нагревается, что делает воздух не только слабо ионизированным, но и сухим. Такой воздух является очень вредным, он тяжелый для дыхания и способствует, при благоприятной среде, развитию многих аллергических заболеваний и, соответственно болезней органов дыхания.

В данной выпускной работе будет рассматриваться такой источник

электромагнитного поля как персональный компьютер.

По [23] энергетическая экспозиция за рабочий день не должна превышать значений, указанных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, $(В/м)^2 \times ч$	По магнитной составляющей, $(А/м)^2 \times ч$	По плотности потока энергии $(мкВт/см^2) \times ч$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	х
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	х
30 - 50 МГц	800,0	0,72	х
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	х
300 МГц - 300 ГГц	х	х	200,0

Для обеспечения меньшего электромагнитного излучения использован жидкокристаллический монитор. Необходимо учитывать расстояние до монитора, так как при большем расстоянии от человека оказывается меньшее влияние. В связи с тем, что электромагнитное излучение от стенок монитора намного больше, необходимо ограничивать его стенами, т.е. ставить в углу. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а также необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

### 5.1.5 Электробезопасность

Даже самая надежная изоляция теряет свои свойства при длительной эксплуатации в сложных производственных условиях. Опасность поражения электрическим током существенно возрастает, если человек находится в помещении с металлическим полом или контактирует с оборудованием, находящимся вблизи заземленных металлических предметов. Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок производственные цеха, торговые и бытовые помещения принято делить на три отдельных класса, характеризующих степень опасности. Рассмотрим



каждый из них в отдельности.

Первый класс – «помещения без повышенной опасности».

В данную категорию входят помещения, характеризующиеся пониженной влажностью воздуха (до 75%), оборудованные при необходимости вентиляционной системой и отоплением.

Кроме того, полы в таких помещениях должны быть не токопроводящими. Под понятием токопроводящие полы подразумевают металлические, железобетонные, земляные и т.д. Для причисления производственного цеха в разряд безопасных, его пол следует покрыть диэлектрическим материалом. К наглядным примерам безопасных объектов можно отнести обычные жилые и офисные помещения, кладовые для хранения инструментов, лаборатории, а также производственные цеха приборостроительных предприятий, проект которых изначально предусматривал наличие изолированного пола, мощные воздушные фильтры для устранения пыли и систему регулирования температуры воздуха.

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

При работе с компьютером существует опасность электропоражения:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. По [25] помещение, в котором находится рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности. Его можно охарактеризовать, как сухое, непыльное, с

токонепроводящими полами и нормальной температурой воздуха. Температурный режим, влажность воздуха, химическая среда не способствуют разрушению изоляции электрооборудования.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Основные технические средства защиты от поражения электрическим током:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- отдельные помещения для манипуляторов;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение по [24].

### **5.1.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В процессе работы в помещении осуществляется водоснабжение и образование бытовых сточных вод (помещения гигиены и водопотребления) Сточные воды передаются в сточные системы. Для утилизации макулатуры рядом с принтером установлена специальная урна, предназначенная для накопления всех ненужных печатных материалов. После наполнения урны, работник предприятия обязан изыскивать средства для того, чтобы отправить данные накопители бумажного мусора на станцию вторсырья. Далее вся эта бумага идет на переработку как вторичное сырье.

### **5.1.7 Сбои в пилотировании квадрокоптера**

Пилотирование квадрокоптера – очень трудная работа, и особенно пилотирование более дорогих и технически сложных моделей.

При неправильном пилотировании и пренебрежением основных правил безопасности велика вероятность причинения вреда здоровью окружающим и пилоту. Основные проблемы при пилотировании могут возникнуть по двум

основным причинам:

- Программный или аппаратный сбой.
- Ошибка оператора, которая приводит к потере управления коптером.

Основные правила при запуске квадрокоптера и его пилотировании следующие: [29]

1) При запуске квадрокоптера необходимо защитить глаза защитной маской и руки перчатками во избежание получения травм.

2) Необходимо проверить до первого взлёта исправность всех элементов и грамотное закрепление узлов, в особенности узлов крепления аккумуляторной батареи.

3) Важно помнить, что при первой аварии, неправильной посадки или неизвестного вам состояния полетного контроллера необходимо:

а) бросить полотенце на пропеллеры, так как они могут начать крутиться неожиданно.

б) сразу отключить аккумулятор.

в) большое полотенце важная часть для обеспечения безопасности с огнетушителем и аптечкой.

4) При взлете в радиусе не менее 3 м от квадрокоптера не должно быть людей. Нельзя допускать того, чтобы кто-то находился между вами и коптером. Все зрители должны быть позади вас.

## **5.2 Охрана окружающей среды**

В автономных БПЛА и роботах используются различные аккумуляторные батареи. После окончания срока службы литий-ионных аккумуляторов назревает вопрос о их правильной утилизации.

Сегодня в Европе перерабатывается не более 5% литий-ионных батарей. Из-за этого возникают высокие риски загрязнения окружающей среды. Когда аккумуляторы повреждены, они выделяют токсичные элементы

и газы. Материалы, из которых изготавливаются аккумуляторы (такие, как литий и кобальт), находятся в природе в ограниченном количестве и не возобновляются. Их дополнительное производство (не повторное использование) приводит к увеличению нагрузки на экологию, так как производственные процессы очень грязные и энергоемкие.

Основная доля отходов литий-ионных аккумуляторов приходится на потребительскую электронику. Со временем доля отходов от электромобилей многократно превысит потребительскую долю.

В Европе действуют правила, которые требуют от производителей батарей финансировать затраты на сбор, хранение и переработку всех собранных аккумуляторов. То есть уже создаются или созданы технологические цепочки, которые обеспечат экологически эффективное обращение с отработанными литий-ионными батареями.

Удельная стоимость переработки литий-ионных аккумуляторов, которая сегодня приближается к 1 евро за кг, примерно в три раза выше, чем удельная стоимость получаемых на выходе материалов.

По причине экономической неэффективности ищутся решения, которые позволят как можно дольше отсрочить «окончательную» переработку. Одним из таких решений является повторное использование автомобильных аккумуляторов в системах хранения энергии.

На сегодняшний день проблема утилизации литий-ионных аккумуляторов окончательно не решена. Но существуют технологии, и они развиваются.

### **5.3 Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры,

обеспечивающие успешную борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

Согласно нормам технологического проектирования [27], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В [28], производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;
- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;
- определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5.

Покидать помещение необходимо согласно плану эвакуации. На рисунке 5.1 изображен план второго этажа учебного корпуса №10с Томского

государственного университета.

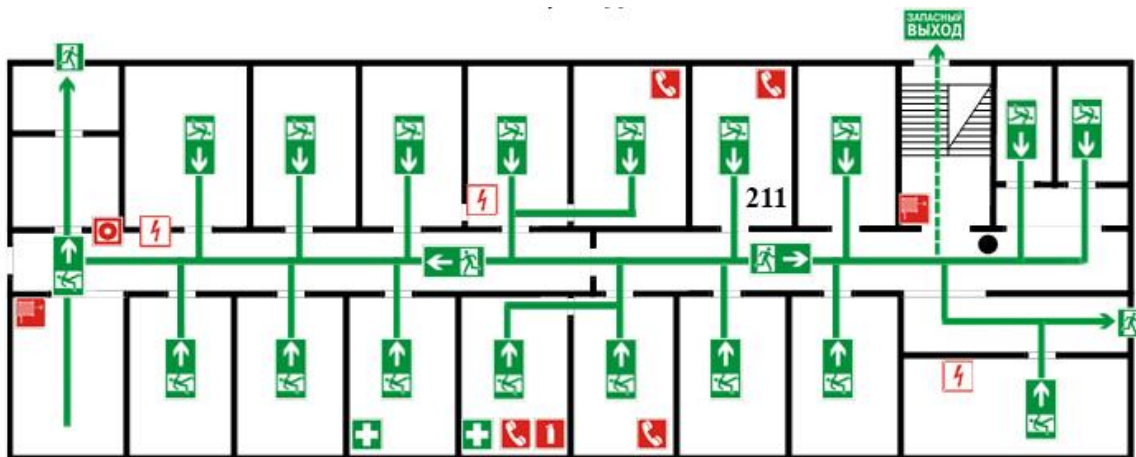


Рисунок 5.1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса

#### 5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации [26], в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

- Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю;
- не рекомендуется работать за компьютером более 6 часов за смену; рекомендуется делать перерывы в работе за ПК продолжительностью 10 минут через каждые 50 минут работы;
- продолжительность непрерывной работы за компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часов;
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений;
- при нерегламентированной работе повышенной интенсивности возможны головные боли, нервные срывы и др.

#### 5.4.1 Эргономические требования к рабочему месту



Рисунок 5.2 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне *а* (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура – в зоне *з/д*;
- «мышь» – в зоне *в* справа;

- сканер в зоне *a/б* (слева);
- принтер находится в зоне *a* (справа);
- документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – *в*, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

На рисунке 5.3 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.

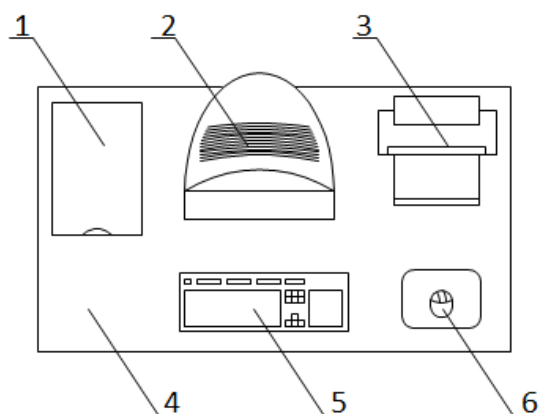


Рисунок 5.3 – Размещение основных и периферийных составляющих ПК

- 1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола,  
5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь».

В помещениях, где находится компьютер, необходимо обеспечить следующие величины коэффициента отражения для потолка 60-70, для стен 40-50, для пола около 30.



## Заключение

В ходе проделанной работы была разработана система управления автономного охранного квадрокоптера, главным преимуществом которой является возможность расширения базового функционала устройства. Для достижения цели работы были выполнены следующие задачи:

1. Проведено исследование проблемы защиты частных территорий от несанкционированных вторжений малогабаритных беспилотных летающих аппаратов.
2. Рассмотрены существующие решения охраны периметров с использованием БПЛА.
3. Разработана архитектура аппаратного обеспечения автономного охранного квадрокоптера. Произведен выбор комплектующих и их сборка.
4. Разработана программная архитектура системы управления автономного охранного квадрокоптера, а также алгоритм работы и его программная реализация.
5. Проведены тестовые испытания для определения работоспособности.
6. Проводились определение социальной ответственности, расчет финансовой эффективности проекта.

Проведенные тестовые испытания автономного охранного квадрокоптера показали работоспособность технического решения.

Разработанная система управления автономного охранного квадрокоптера может применяться для управления квадрокоптерами в охранных системах. Использовать такие охранные системы могут правоохранительные органы, государственные и даже частные организации, которые не желают вторжения на частную территорию дронов разведчиков оснащенные камерами.

## Список используемых источников

1. Субсидия 14.578.21.0241 от 26 сентября 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tsu.ru/science/orntd/uchastie-v-ftsp-issledovaniya-i-razrabotki-po-prioritetnym-napravleniyam-razvitiya-nauchno-tekhnolog/subsidiya-14-578-21-0241-ot-26-sentyabrya-2017-g/> Дата обращения 17.03.18
2. Developments in unmanned powered parachute aerial vehicle: A review. Aerospace and Electronic Systems Magazine. V. Devalla, O. Prakash. 2014
3. Institut Mikromakro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mikromakro.pl/> Дата обращения 18.03.18
4. Advanced protection systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apsystems.tech/> Дата обращения 18.03.18
5. Популярная механика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.popmech.ru> Дата обращения 18.03.18
6. Артоному [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.artonomu.com/> Дата обращения 20.03.18
7. БЛА ZALA 421-22 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zala.aero> Дата обращения 21.03.18
8. Pixhawk Series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.px4.io/en/flight\\_controller/pixhawk\\_series.html](https://docs.px4.io/en/flight_controller/pixhawk_series.html) Дата обращения 21.03.18
9. Pixhawk Autopilot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pixhawk.org/modules/pixhawk> Дата обращения 21.03.18
10. Выбор АКБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mykvadrocopter.ru/kak-vybrat-akkumulyator-dlya-kvadrokoptera/> Дата обращения 24.03.18
11. Пропеллеры для квадрокоптера – основные параметры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://drongeek.ru/profi/propellery-dlya-kvadrokoptera> Дата обращения 24.03.18

12. PX4FLOW Smart Camera [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pixhawk.org/modules/px4flow> Дата обращения 26.03.18
13. Datasheet LeddarOne [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://leddartech.com/app/uploads/dlm\\_uploads/2016/02/Datasheet-LeddarOne.pdf](https://leddartech.com/app/uploads/dlm_uploads/2016/02/Datasheet-LeddarOne.pdf) Дата обращения 26.03.18
14. Raspberry Pi 3 Model B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> Дата обращения 05.04.18
15. PX4 Basic Concepts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.px4.io/en/getting\\_started/px4\\_basic\\_concepts.html](https://docs.px4.io/en/getting_started/px4_basic_concepts.html) Дата обращения 17.04.18
16. Robot Operating System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction> Дата обращения 28.04.18
17. Why ROS 2.0? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://design.ros2.org/articles/why\\_ros2.html](http://design.ros2.org/articles/why_ros2.html) Дата обращения 05.05.18
18. MAVLink Micro Air Vehicle Communication Protocol [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start> Дата обращения 12.05.18
19. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
20. СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
21. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
23. ГОСТ Р 50377-92 (МЭК 950-86) Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование.

24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

26. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

27. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 (ред. От 30.12.2017) "О противопожарном режиме" (вместе с "Правилами противопожарного режима в Российской Федерации").

28. ГОСТ Р ИСО 26000-2012 Руководство по социальной ответственности

29. Техника безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/safety-multicopter.html> Дата обращения 12.05.18

30. СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». М.: Минстрой России, 2016.

## Приложение А

### Area and object of research

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ61	Мироненко Данил Николаевич		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сырямкин В.И.	д.т.н.		

#### Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Горбатова Т.Н.			

## **1. Field of study**

An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is known as a powered flying vehicle that does not carry a human operator, that can be operated remotely or autonomously and that can carry a payload. [1] The UAVs can be used in both military and civilian applications. UAVs can carry out tasks without placing human pilots in jeopardy.

In addition, UAVs can operate in hazardous conditions and long piloted operations.

Different types of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become available in recent years, namely, fixed-wing UAVs and rotary-wing UAVs. Compared with fixed-wing UAVs, the rotary-wing UAVs have advantages such as Vertical Taking-Off and Landing (VTOL) ability. The rotary-wing UAVs cover helicopters and multirotors. A multirotor is a rotorcraft with more than two rotors. Compared to helicopters, a multirotor has the simplicity of rotor mechanics required for flight control. Unlike conventional helicopters, which are mechanically very complex, the multirotor usually uses fixed-pitch blades. The control of vehicle motion is achieved by varying the relative speed of each rotor in order to change the thrust and torques. Varieties of multi-copters are shown in Figure 1.1.

The most famous multirotor is the quadrotor, which has four rotors. In addition to the ability of VTOL, quadrotors also have advantages such as maneuverability, low-cost, small size, and easy handling. These advantages motivate researchers to pay attentions to quadrotors. Other advantages of quadrotors are reliability and compactness, which are essential for a system that will be portable and useful in close proximity to people and structures for commercial applications.

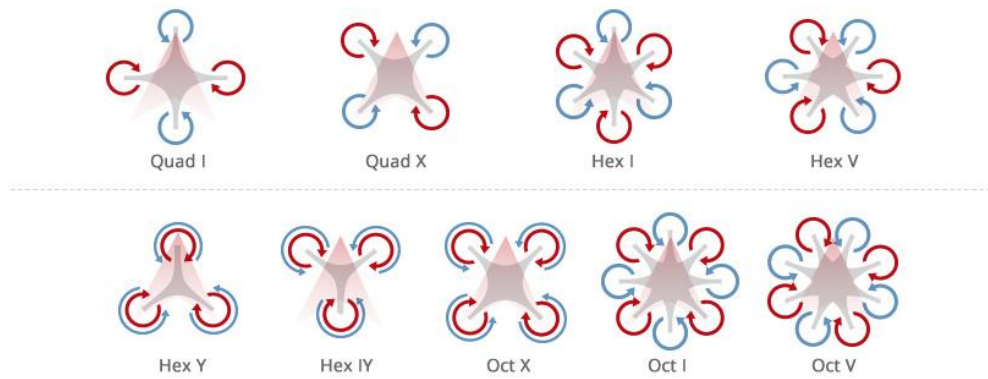


Figure 1.1 – Types of multicopter designs

In the last decade, the research on quadrotors has substantially increased. Figure 1.2 shows examples of quadcopters of various applications.



Figure 1.2 – Varieties quadcopter

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) were used commercially for the first time in Japan at the beginning of the 1980s, when unmanned helicopters proved to be an efficient way of supplementing piloted helicopters to spray pesticides on rice fields. At that time, remote aircraft technology was expensive and cumbersome. Progress has surged forward in technological capabilities, regulations and investment support, providing many new possible applications, particularly in agriculture, infrastructure, security, transport, media & entertainment, telecommunications, mining and insurance.

It is difficult to imagine a field of industry or life in which drones do not find any use. For example, in agriculture, UAVs help to optimize decisions on harvesting crops or using herbicides. In forestry, drones are able to control the forest condition or to detect a fire hazard. They can also be used to search for survivors at sea, to inspect power lines, to observe borders, or to provide information on hurricane damage.

### **1.1 The problem of protecting territories from small-size UAVs**

Drones are commonly used for military purposes, basically, to recognize the battlefield. They are also used to transport equipment to the front line. According to the Mikromakro Institute report, the United States and Israel dominate in the unmanned military technology sector. China is definitely ahead in drone segment used for entertainment, The European Union focuses on civil and governmental use. [2]

Rapid technological developments have made drones far more accessible and widely used recreationally and commercially. As a result, drones pose a serious threat to personal privacy.

Serious invasions of privacy range from inadvertent surveillance and collection of personal information through photographs to criminal conduct such as stalking.

These unmanned aircraft vehicles also pose a threat to institutions that, despite having high fences, monitoring and other security systems, are not able to protect themselves against the intrusion of drones into their territory. The similar situation concerns private companies, which do not have any protection against illegal infringement of their security by air. This creates the risk due to the use of drones for industrial espionage, hacking attacks on IT infrastructure, theft of sensitive data or valuable goods.

The dynamic growth of the drone market and their increasing availability to a wide range of consumers carry risks and pose a major security challenge. Drones



are used not only for illegal activities but also for terrorist attacks. They are used to deliver contraband to prisons and across state borders.

In 2016, 1200 drone incidents have been noticed by the European Union. They were deemed to be a threat to civil aviation safety. At the same time, The UK government has even commissioned a series of test crashes between drones and planes, to find out exactly how much damage a quadcopter could cause in a real-life collision. The results may be critical for safety concern.

The European Commission is working on common EU rules governing drones – from toys to long distances large aircraft. The problem is that the current EU regulations concern aircraft weighing more than 150 kilograms, however more and more concerns are created by consumer drones. [3]

## **1.2 A review of known methods for solving the problem**

Currently, there are many ways to combat the illegal invasion of UAVs in the protected area. One of such solutions is the “United Instrument-Making Corporation” (UIMC is a member of the state corporation “Rostekh”). The company makes a system for monitoring and protecting the territory of important civil and military facilities. The system consists of three helicopter-type drones, a fiber-optic cable and a control room with computer equipment for information processing. The approximate price of this kit is from 10 million rubles. The complex provides protection of the territory with a perimeter length of about 100 km. In this system, surface vibrations are read by a fiber-optic cable, allowing to identify an object that has penetrated the protected space.

The company “Amba Defense”, located in the UK, is engaged in the production of drones, which provide protection of objects and territories in many countries. The American company “Optellios” produces security systems with fiber-optic sensors, thanks to which it is also possible to detect unauthorized access to the facility.

The Japanese company “Secom” offers customers its product - property protection with the use of “air forces”. An autonomous robot-drone will rise in the air in case of triggering a regular alarm system, which the company establishes. The only “weapon” of the air guard is a small video camera, the data from which immediately arrive at the security panel. Thus, “Secom” employees can quickly assess the situation on the site of unauthorized access.



Figure 1.3 - The robot-drone of “Secom”

The software allows the robot to identify a suspicious subject and keep a close eye on him, trying to capture his face on the camera. In case of detection of a suspicious vehicle, an autonomous robot-drone will try to fix his registration mark. [4]

The sentry drone of “Aptonomy”, which is a promising American start-up, can be used to protect a private area or industrial premises from intrusion.

Today, the protection of important facilities is entrusted to guards, who regularly bypass entrusted territories, guard dogs and special surveillance systems. In “Aptonomy” it was considered that the guard drones would provide more reliable protection, the costs of which would be substantially lower.

The sentry drone is made by the type of an octopopter, has flashing beacons of blue and red colors (as special police signals), two loudspeakers and a bright LED spotlight. In addition, the device is equipped with a video camera, a night

vision camera and a thermal imager. The diameter of the drone is just over a meter. The watchdog "Aptomomy" is shown in Figure 1.4.



Figure 1.4 - Sentry drone of Aptomomy

The Drone is equipped with an automatic recharging system. If during the patrol the charge of its battery drops to several percent, the unit will return to the base and connect to the charger on its own. With the help of a special control panel, the operator can map out the patrolling plan for the territory and transfer it to the watchdog units. After that they will be guarding off-line.

Upon detection of the offender, the drone will hang at some distance from it and first warn flashes of flashing beacons. At the same time, the unit will turn on the video recording. If the intruder does not react, the drone will start playing pre-recorded warning phrases through the loudspeakers, turn on the searchlight and direct the beam to the target.

According to "Aptomomy", these actions will be enough to drive away most of the violators. However, for greater security, the operator will receive a signal of penetration into the territory. In addition, the operator will be able to directly communicate with the intruder through the loudspeaker apparatus. [5]

The Russian group of companies "ZALA AERO" also develops unmanned aerial vehicles aimed at protecting and protecting objects. The representative of the company's products is ZALA 421-22F UAV, shown in Figure 1.5.



Figure 1.5 - Security drone ZALA 421-22F

ZALA 421-22F is an unmanned mid-range helicopter with automatic control system (autopilot), navigation system (GPS / GLONASS), integrated digital telemetry system, navigation lights, built-in three-axis magnetometer, hold and active tracking module (AC module), digital broadband a C-OFDM modulation video transmitter, a radio modem with a SNA receiver, a self-diagnosis system and a search transmitter.

The Copter protects people and various objects in specific areas with a radius of no more than 10 km. Due to the possibility of hovering and approaching the object of interest for a distance of 10-15 meters, the copter receives the most accurate data (for example, the identification of people who initiated the brawl during a mass event). Improved “16E+” targets allow the device to receive and transmit in real time high-quality images to the ground security services at any time. [6]

### **1.3 Statement of the problem of designing a control system for a guard drone**

To solve the problem of protecting private territories from unauthorized flights of small unmanned aerial vehicles using UAV interceptors, these vehicles

must possess intelligence. Therefore, the development of an algorithm that would allow a robotic device to act independently and make the necessary changes to its trajectory would be a major breakthrough.

The research area of the master's thesis is a project aimed at developing an autonomous system for protecting private territories from unauthorized flights of small unmanned aerial vehicles. [7]

The given project assumes creation of the hardware-software complex, which includes an unmanned aerial vehicle, which performs the function of a drones-interceptor, as well as auxiliary analytical and computing systems in conjunction with specialized software. The hardware and the control system of the interceptor drones are the object of investigation of this work.

As a result of the research, it is necessary to find solutions to the following problems:

1. Selection of the optimal set of components and devices for the drone-interceptor for the required level of autonomy.
2. Selection of software, development of the architecture and algorithm for the operation of the interceptor drone control system.

Despite the high achievements in the development of various types of UAVs, presently the problem of achieving full autonomy of the UAV in performing certain tasks has not been solved yet. First of all, this is due to the limitations of computing resources onboard the UAV.

## REFERENCES

1. Developments in unmanned powered parachute aerial vehicle: A review. Aerospace and Electronic Systems Magazine. Devalla, V. and Prakash, O. 2014.
2. Remote and Autonomous: From Drones to “Killer Robots”. Retrieved May 5, 2018, from website: [https://www.pism.pl/files/?id\\_plik=18534](https://www.pism.pl/files/?id_plik=18534)
3. The drone market. Retrieved May 5, 2018, from website: <http://apsystems.tech/en/2017/11/24/drones-are-everywhere/>
4. Сторужево́й дрон: На посту. Retrieved May 5, 2018, from website: <https://www.popmech.ru/technologies/13525-storozhevoy-dron-na-postu/>
5. Aptonomy. Retrieved May 5, 2018, from website: <http://www.aptonomy.com/>
6. Zala Aero Group. Беспилотные системы. Retrieved May 5, 2018, from website: <http://zala.aero>
7. Субсидия 14.578.21.0241 от 26 сентября 2017 г. Retrieved May 5, 2018, from website: <http://www.tsu.ru/science/orntd/uchastie-v-ftsp-issledovaniya-i-razrabotki-po-prioritetnym-napravleniyam-razvitiya-nauchno-tekhnolog/subsidiya-14-578-21-0241-ot-26-sentyabrya-2017-g/>