

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Автоматизация теплоэнергетических процессов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Инерциальная система навигации автоматического управления робототехнических объектов для анализа теплоэнергетического оборудования

УДК 621.865.8-529:621.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Таганов Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шидловский Станислав Викторович	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. Менеджмент	Кузьмина Наталия Геннадьевна	ст. преподаватель		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экология и БЖД	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.17
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шидловский Станислав Викторович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Таганов Александр Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 с., 19 рис., 19 табл., 43 источника, 1 прил.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, инерциальная навигационная система, система автоматического управления и регулирования, регулятор.

Объектом исследования является система автоматического управления и регулирования полетом беспилотного летательного аппарата мультироторного типа.

Цель работы: смоделировать систему автоматического регулирования высоты полета БПЛА, которая позволит оптимально запрограммировать контроллер реального образца летательного аппарата.

В процессе моделирования произведен анализ объекта управления, выбраны технические средства, также разработаны структурная схема, функциональная схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема. Произведен экономический расчет объекта моделирования.

В результате смоделирована система автоматического управления, содержащая в себе компоненты, обеспечивающие поддержание высоты полета БПЛА. Все данные о полете беспилотного летательного аппарата мультироторного типа поступают от датчиков в контроллер, главная задача которого состоит в поддержании высоты полета, стабилизации летающей платформы в воздухе и компенсировании внешних воздействий.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: микропроцессорный контроллер, аналоговый цифровой преобразователь, датчики определения угловой ориентации аппарата, цифровой барометр, четыре двигателя, четыре регулятора скорости двигателей, четыре винта. При необходимости возможна установка дополнительных датчиков.

Степень внедрения: данные беспилотные летательные аппараты могут использоваться как в теплоэнергетической промышленности, так и в других отраслях.

Область применения для данных аппаратов является мониторинг утечек тепла и состояния изоляции трубопроводов. Экономическая эффективность представлена в виде разницы затрат на внедрение и устранения предложенной аварии. По примерным расчетам сумма затрат на восстановление нефтепровода в случае аварии превышает затраты на внедрение беспилотного летательного аппарата для диагностики оборудования в 13,5 раз.

Содержание

Введение.....	10
1 Анализ беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа	12
1.1 Инерциальная навигационная система	12
1.2 Достоинства и недостатки беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа	13
1.3 Области применения беспилотного летательного аппарата.....	14
2 Объект регулирования	17
3 Математическое описание квадрокоптера	21
3.1 Матрица момента инерции массы	22
3.2 Коэффициент тяги.....	23
3.3 Коэффициент крутящего момента.....	24
3.4 Начальная матричная конструкция	24
3.5 Связь дроссельной команды	25
3.6 Гироскопические силы	26
3.7 Заключительная матричная конструкция	26
3.8 Основные уравнения.....	27
4 Моделирование и управление.....	31
4.1 Настройка ПД - регулятора в среде Matlab	36
5 Разработка структуры АСР параметров беспилотного летательного аппарата.....	41
6 Разработка функциональной схемы АСР параметров беспилотного летательного аппарата	45
7 Выбор технических средств и составление заказной спецификации	48
7.1 Выбор микропроцессорной системы	48
7.2 Выбор аппаратуры радиопередачи.....	50
7.3 Выбор регуляторов скорости двигателя	51
7.4 Выбор аккумуляторной батареи	53
7.5 Выбор двигателей беспилотного летательного аппарата	54
7.6 Выбор дополнительных модулей	55

7.7 Составление заказной спецификации	57
8 Разработка принципиальной электрической схемы АСР	58
9 Разработка монтажной схемы АСР	60
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 64	
10.1 Перечень работ и оценка времени их выполнения.....	64
10.2 Материальные затраты	66
10.3 Амортизация компьютерной техники.....	66
10.4 Затраты на заработную плату	66
10.5 Социальные отчисления	67
10.6 Прочие затраты.....	68
10.7 Накладные расходы.....	68
10.8 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	69
10.9 Определение экономической эффективности.....	70
11 Социальная ответственность	74
12 Производственная безопасность.....	76
12.1 Электробезопасность	76
12.2 Шум и вибрация	77
12.3 Пожарная безопасность	78
12.4 Метеорологические условия работы в помещениях	79
12.5 Электромагнитное излучение	82
12.6 Экологическая безопасность.....	84
12.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
12.7.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	86
12.7.23 законодательное регулирование проектных решений.....	87
Заключение	89
Список использованных источников	90
Приложение А Заказная спецификация средств автоматизации	94

Графический материал:

ФЮРА.421000.018 С2

ФЮРА. 421000. 018 Э3

ФЮРА. 421000. 018 С4

на отдельных листах

Схема функциональная

Схема принципиальная электрическая

Схема монтажная

Введение

Мехатроника на сегодняшний день является быстро развивающейся областью науки и техники. Она основана на объединении точной механики с электротехническими и компьютерными технологиями. Данная область обеспечивает проектирование и создание новых качественных систем с интеллектуальным управлением и стремится к полной интеграции программируемых контроллеров и программного обеспечения. Мехатроника применяется в таких отраслях как робототехника, космическая техника, авиационная техника и др.

Одной из главных задач мехатроники является создание и внедрение таких автоматических устройств, которые способны заменить человека во вредных и опасных для его жизни условиях.

Потенциально опасными условиями для жизни человека являются:

- производственные объекты, на территории которых находятся воспламеняющиеся и токсичные вещества;
- производственные объекты, на которых используется оборудование, работающее при избыточном давлении;
- производственные объекты, на территории которых ведутся горные работы;
- производственные объекты, на территории которых происходит обработка и хранение растительного сырья.

В связи с этим возрастает роль беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основным преимуществом БПЛА является низкая стоимость создания и эксплуатации при условии равной эффективности решения поставленных задач. Данные аппараты обладают высокой степенью маневренности и способны работать в опасных условиях для жизни человека. БПЛА используются для мониторинга технологического оборудования, для доставки грузов в труднодоступные места, применяются для тушения пожаров.

Потенциальными потребителями в промышленности являются энергетическая отрасль, топливная отрасль, металлургическая отрасль, химическая отрасль, машиностроительная отрасль и т.д.[1]. Беспилотные летательные аппараты, оснащенные тепловизорами, позволяют эффективно проводить мониторинг утечек тепла и состояния изоляции трубопроводов.

Целями и задачами ВКР являются:

- изучение динамики полета БПЛА;
- изучение и разработка структуры управления БПЛА;
- моделирование структуры САУ;
- расчет параметров настройки регулятора БПЛА;
- разработка модели БПЛА;
- анализ полученных результатов.

1 Анализ беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа

1.1 Инерциальная навигационная система

При применении БПЛА для обследования технологического оборудования в первую очередь необходимо решить задачи навигации путем создания и внедрения инерциальной навигационной системы.

Принцип работы инерциальной навигационной системы (ИНС) заключается в определении угловых скоростей объекта, его ускорений и высоты полета с помощью инерциальных датчиков, установленных на БПЛА. По полученным данным происходит определение курса полета объекта, определение пространственной ориентации, определение скорости объекта и дальности пройденного пути. На основе полученных данных также происходит стабилизация объекта и автоматическое управление его движением [2].

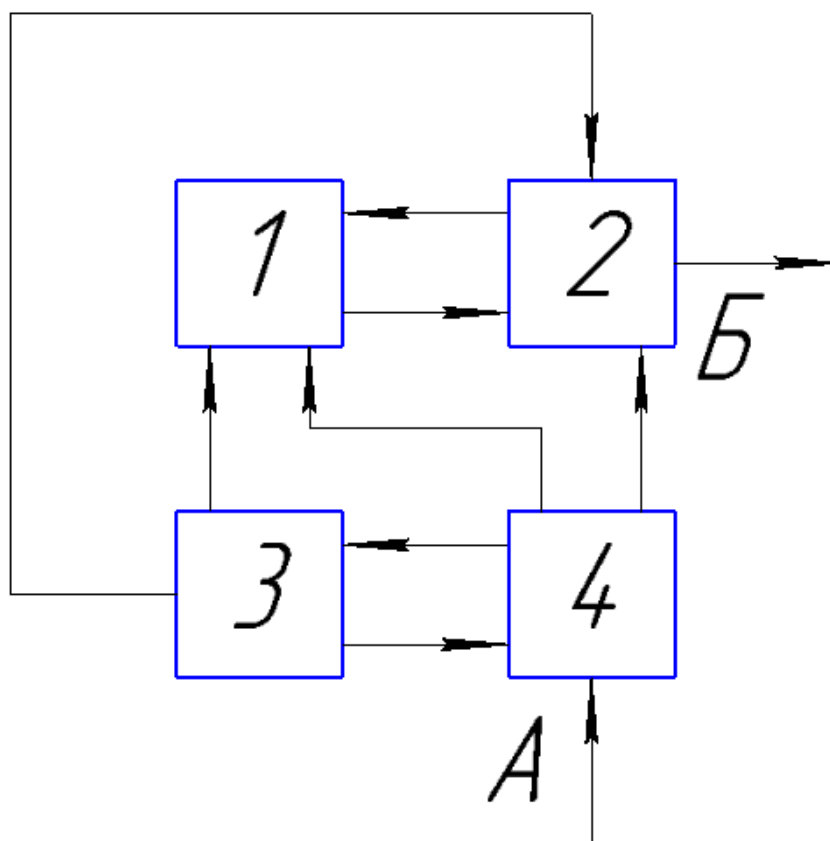


Рисунок 1.1 – Блок-схема ИНС

Блок-схема ИНС: 1 – блок инерциальных датчиков; 2 – вычислительный блок; 3 – блок времени; 4 – блок ввода начальной информации; А – поступление начальной информации; Б – конечная информация о параметрах движения.

ИНС состоит из блока инерциальных датчиков и вычислительных устройств. В блок инерциальных датчиков входят датчики линейного ускорения (акселерометры) и гироскопические устройства. Гироскопические устройства предназначены для имитации системы отсчета на объекте и для определения углов наклона и углов поворота, необходимых для стабилизации и управления БПЛА. Вычислительные устройства предназначены для определения по полученным данным об ускорениях и углах скорости объекта, его пространственной ориентации и других параметров движения [2].

ИНС различают по ряду признаков, таких как: ориентация осей чувствительности инерциальных датчиков, способ построения вертикали места, наличие устойчивой платформы.

Главными преимуществами ИНС являются высокая помехозащищенность, автономность и при необходимости возможности полной автоматизации всех процессов навигации.

1.2 Достоинства и недостатки беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа

Основными достоинствами беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа являются [3]:

- значительное снижение габаритных характеристик, что уменьшает стоимость по сравнению с традиционными летательными аппаратами;

- возможность создания БПЛА малых размеров, позволяющих выполнять различного рода задачи не доступных обычным летательным аппаратам;

- высокая мобильность и маневренность, небольшой вес аппарата;

- возможность загрузки дополнительного оборудования для решения поставленных задач;

- большая грузоподъемность, малая чувствительность к ветру;

- для обслуживания достаточно одного или двух операторов.

Основными недостатками беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа являются [3]:

- малая дальность и время полета;

- сложность ремонта;

- повышенная аварийность БПЛА;

- не урегулированы до конца вопросы регистрации и сертификации.

1.3 Области применения беспилотного летательного аппарата

На сегодняшний день наиболее эффективным и экономически выгодным методом обследования нефтепроводов и газопроводов является применение беспилотных летательных аппаратов. БПЛА в режиме реального времени получают качественные изображения, позволяющие обнаруживать нефтяные разливы, выявлять акты несанкционированной деятельности (свалки, врезки, проведение работ в охраняемых зонах и т.д.). Аэрофотоснимки, полученные с борта БПЛА, позволяют анализировать и оценивать техническое состояние трубопроводов и околотрубного пространства, а впоследствии служат основой для создания цифровых карт местности [4].

БПЛА также служат для мониторинга лесных ресурсов и осуществляют высококачественную съемку. Благодаря полученным фотографиям и видео создаются карты местности леса, производится оценка ущерба лесных

ресурсов при пожарах или других природных катаклизмов. Аппараты способны находить высохший лес и малые очаги пожаров на торфяниках для предотвращения возникновения лесного пожара [4].

Регулярный мониторинг водных ресурсов, осуществляемый беспилотными летательными аппаратами, позволяет следить за паводковой ситуацией, зонами затопления, обнаруживать действия нелегальных рыболовов. Целевые нагрузки с 20-ти кратным оптическим увеличением дают возможность максимально точно определять номера судов и обнаруживать рыбацкие сети под водой.

Применение БПЛА рентабельно для получения оперативных и аналитических данных о состоянии автомобильных дорог и железнодорожных линий. Летательные аппараты предоставляют службам дорожной инфраструктуры информацию, благодаря которой эксперты оценивают общее состояние дорог, проводят регулярный мониторинг дорог, контролируют проводимые на дорогах работы, наблюдают за придорожной обстановкой. Используя аппарат, можно осуществлять мониторинг дорожно-транспортной обстановки в режиме реального времени. В случае обнаружения правонарушителей БПЛА следят за ними в автоматическом режиме и распознают номера автомобилей, совершают оперативную разведку с места аварии или катастрофы на дорожном объекте, позволяя тем самым руководителям принять в кратчайшие сроки управленческие решения.

Воздушный мониторинг линий электропередач с помощью БПЛА позволяет наиболее эффективно оценивать техническое состояние проводов и изоляторов, обнаруживать в любое время суток акты несанкционированной деятельности посторонних лиц и транспортных средств в охранных зонах, передавать в режиме реального времени качественные данные о дефектах проводов при аварийном отключении [4].

Сельское хозяйство является одной из перспективных сфер, применяющих беспилотные летательные аппараты для эффективного управления сельскохозяйственным производством. Наземные исследования

не всегда позволяют в полном объеме проанализировать и оценить состояние сельскохозяйственных угодий и проконтролировать процесс посева и уборки урожая. Наиболее рентабельным и действенным в данном случае является осуществление аэрофотосъемки и видеосъемки.

При проведении спасательных операций беспилотные летательные аппараты являются наиболее достоверным и безопасным источником информирования наземных групп. БПЛА проводят оперативную разведку и детальное обследование местности, что позволяет руководителям своевременно оценивать обстановку и принимать управленческие решения по координации действий аварийно-спасательных отрядов.

В пожароопасный период БПЛА применяются наземными отрядами МЧС для ведения воздушной разведки. Благодаря усовершенствованным целевым нагрузкам БПЛА позволяют фиксировать даже незначительные очаги возгораний, а также выявлять горения торфяных разработок.

Применение БПЛА в картографии для создания топографических карт значительно снизило затраты на привлечение пилотируемой авиации для создания карт и моделей местности. Аппарат для аэрофотосъемки осуществляет полет на заданной местности в автоматическом и полуавтоматическом режиме, получает высококачественные изображения с привязкой к географическим координатам, что позволяет использовать их для создания топографических карт высокой точности. Фото и видеоданные, после обработки в специализированном программном обеспечении, служат основой для создания образно-знаковых моделей пространства в виде плоских, рельефных и объемных карт и глобусов. Картография требует максимально точных данных и высококачественных снимков, которые получают аппараты благодаря усовершенствованным целевым нагрузкам на электромагнитном подвесе с обеспеченным стабилизированным положением камер независимо от порывов ветра и других воздействующих факторов [4].

2Объект регулирования

Квадрокоптер - это беспилотный летательный аппарат с четырьмя винтами, которые вращаются диагонально в противоположных направлениях. Существующие беспилотные летательные аппараты обладают различной степенью автономности, начиная от управления оператором с пункта управления до полностью автоматического, а также имеют различия в конструкции, назначении и т.д.

Классификация беспилотных летательных аппаратов по типу управления [5]:

- автоматическое управление;
- дистанционное управление оператором;
- смешанное.

Классификация беспилотных летательных аппаратов по принципу полета [5]:

- с жестким крылом;
- с гибким крылом;
- с вращающимся крылом;
- с машущим крылом;
- аэростатического типа.

Квадрокоптер состоит из микропроцессорного контроллера (полетного контроллера), рамы, несущих винтов (от 4 до 12 на одной платформе), двигателей, регуляторов скорости, приемника и передатчика радиосигнала.

На раме монтируется плата управления квадрокоптера, приемник и передатчик радиосигнала. На концах рамы монтируются бесколлекторные двигатели, несущие винты и регуляторы скорости вращения ротора двигателя. Полетный контроллер предназначен для обработки команд, полученных от наземной станции (оператора) и управления стабилизацией платформы квадрокоптера в пространстве. С помощью данных, полученных от блока инерциальных датчиков, происходит стабилизация платформы в

горизонтальной плоскости. Данные с цифрового барометра позволяют полетному контроллеру, обрабатывая их, держать платформу на заданной высоте. В качестве дополнительного оборудования могут выступать GPS – приемник, звуковой лоатор, оптический датчик, тепловизор, камера и др.

Квадрокоптеры имеют четыре винта постоянного шага. Каждый винт приводится в движение собственным двигателем. Два винта вращаются по часовой стрелке, два вращаются против часовой стрелки, поэтому хвостовой винт квадрокоптеру не нужен [6].

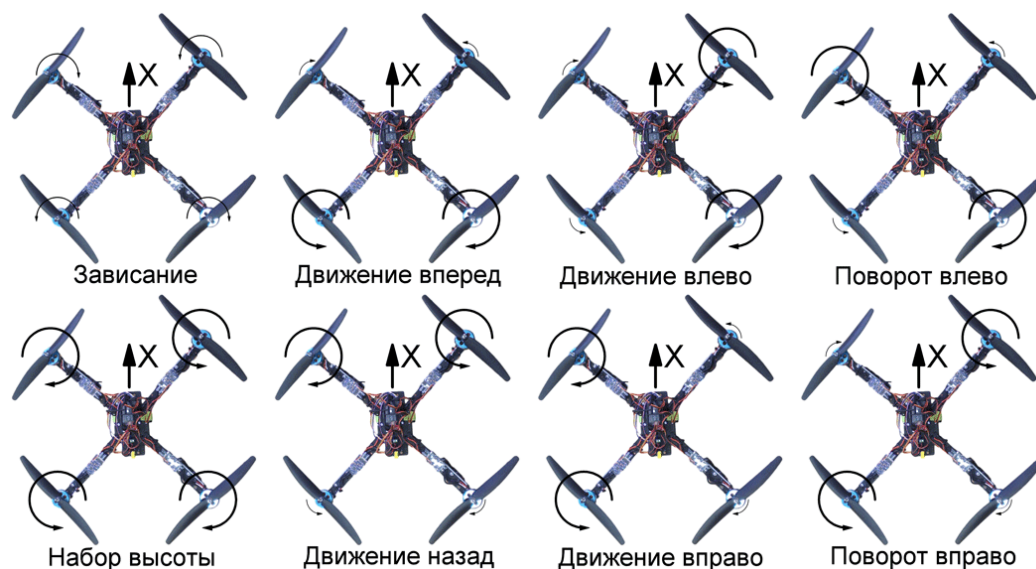


Рисунок 2.1 – Принципы полета квадрокоптера

Маневрирование квадрокоптера производится путём изменения скорости вращения винтов. Поэтому при увеличении скорости вращения всех винтов происходит подъём аппарата; при увеличении скорости вращения винтов с одной стороны и уменьшении с другой происходит движение в сторону; при ускорении винтов, вращающихся по часовой стрелке, и замедлении вращающихся против часовой стрелки происходит поворот [6].

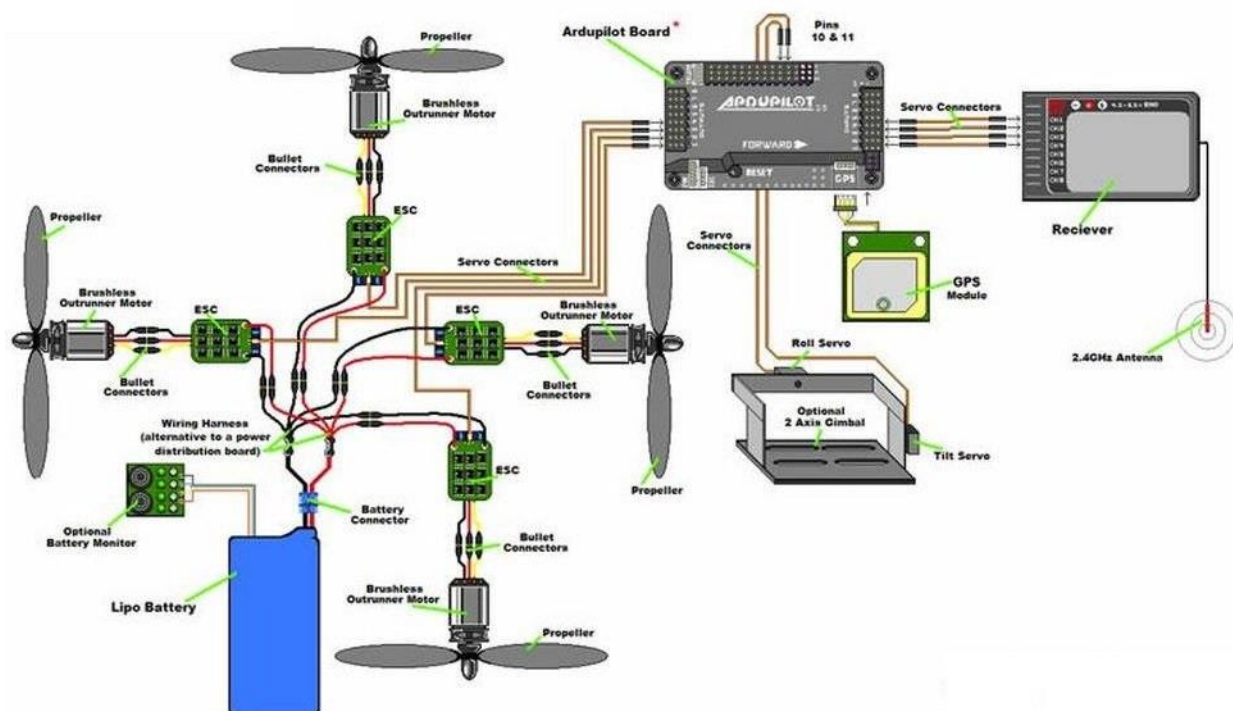


Рисунок 2.2 – Конфигурация электронного оборудования

Контроллер обеспечивает устойчивость полета, его основной задачей является стабилизация летающей платформы в воздухе в горизонтальном положении путем подачи управляющих сигналов двигателям. Для этого используются данные от инерциальных датчиков, и вычисляется скорость для каждого отдельного пропеллера [7].

Датчиками для определения угловой ориентации аппарата являются гироскопы. Они используются для формирования команды на компенсацию изменения положения от внешних возбудителей. Также их задачей является измерение скорости изменения наклона платформы в градусах за секунду. Для измерения ускорения аппарата по трем осям координат на беспилотный летательный аппарат устанавливают датчики ускорения – акселерометры [7].

В теплоэнергетике поиск дефектных участков на подземных теплотрассах производится с помощью аэросъемки. Считается, что это наиболее эффективный метод, у которого минимальная погрешность при поиске дефектов на теплосетях. Для этого на беспилотном летательном аппарате устанавливается специальный прибор – тепловизор, который имеет высокую чувствительность и реагирует на любые изменения тепловых полей.

В случае прорыва под землей трубопровода с горячей водой, которая начала проникать в грунт, оборудование на беспилотном летательном аппарате при облете мгновенно зафиксирует этот факт. Кроме этого, данная технология тепловизионной аэросъемки позволяет выявлять не только сами прорывы, но и поможет обнаружить дефект на теплосети в начальной стадии, например, при разрушении гидроизоляционного слоя и появлении коррозии [8] .

Суммарная протяженность тепловых сетей в РФ в настоящее время составляет примерно 183000 км, износ сетей оценивается в 65%. Диагностика их состояния – трудоемкая работа. Применение беспилотных летательных аппаратов позволит оперативно проводить мониторинг состояния тепловых сетей большой протяженности [9].

Преимуществами применения беспилотного летательного аппарата мультироторного типа в теплоэнергетике являются [8]:

- малые затраты на внедрение разработки по сравнению с затратами на устранение аварий;
- оперативность получения данных;
- возможность съемки вблизи объектов;
- надежность;
- возможность применения в труднодоступных и опасных для жизни и здоровья человека зонах.

3 Математическое описание квадрокоптера

Из-за сложности системы с 6 степенями свободы были разработаны различные методы обозначения, которые необходимы для того, чтобы достаточно описать критические переменные. Прежде чем перейти к математической модели, необходимо ввести некоторые обозначения [10].

Пусть $\dot{v}_{CM}^b$ - линейное ускорение. Верхний правый индекс b обозначает, что ускорение задается через компоненты вектора тела, а нижний индекс CM обозначает, что эта переменная ссылается на центр масс по отношению к инерциальной системе координат.

Важным аспектом математической модели является используемая система координат. В работе используются конфигурации «+» и «X».

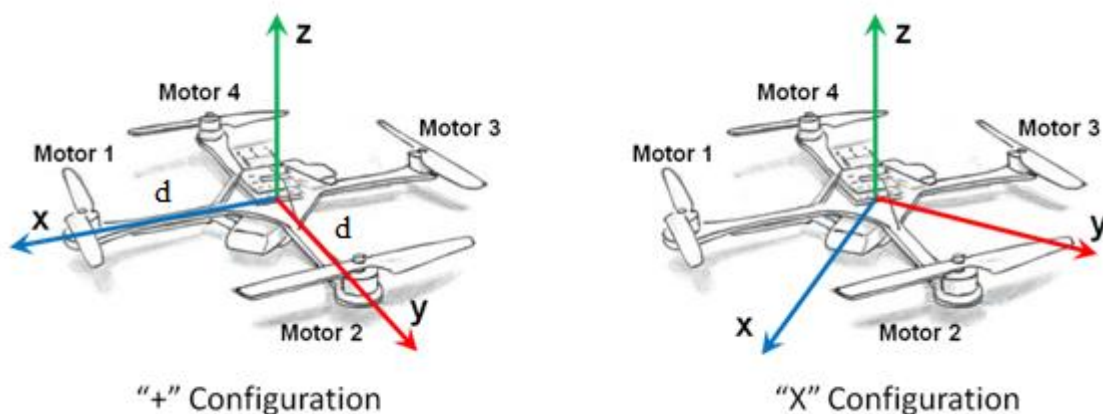


Рисунок 3 – «X» и «+» конфигурации

Как видно из рисунка 3, используемая конфигурация «+» определяется как ось X , которая лежит вдоль плеча мотора 1 (мотор вращается сверху против часовой стрелки) с осью Y , установленной вдоль плеча мотора 2 (вращение происходит в противоположном направлении смежных двигателей) и осью Z , направленной вверх. Значение d представляет собой расстояние от данного двигателя до оси вращения и должно быть одинаковым для каждого двигателя. Это значение будет изменяться, если использовать конфигурацию «X», которая определяется как поворот в плоскости XY на 45 градусов против часовой стрелки, что приводит к тому,

что ось X находится между двигателем 1 и 2. В любой конфигурации ось X считается положительным направлением движения квадрокоптера [10].

3.1 Матрица момента инерции массы

Момент инерции массы объекта играет такую же роль при вращательном движении, как и роль массы в поступательном движении. Момент инерции массы определяет, как скорость вращения зависит от приложенного крутящего момента. Это зависит не только от массы объекта, но и от того, как масса распределена вокруг оси вращения [10].

Вращательное движение:

$$\Sigma \tau = J \cdot \dot{\omega}. \quad (1)$$

Поступательное движение:

$$\Sigma F = m \cdot a. \quad (2)$$

Необходимо найти матрицу момента инерции массы для квадрокоптера. Важно отметить, что квадрокоптер с четырьмя винтами считается абсолютно симметричным относительно осей X, Y и Z и имеет центр масс в геометрическом центре плеч.

При этих предположениях матрица J^b становится диагональной матрицей (это связано с выбором положений осей X и Y, но сохраняется как в «+», так и в «X» конфигурации).

Для того чтобы определить общий момент матрицы инерции необходимо [10]:

- разбить квадрокоптер на отдельные компоненты, и смоделировать каждый компонент как упрощенную геометрическую форму постоянной внутренней плотности;
- измерить и взвесить каждый компонент квадрокоптера;
- использовать теорему параллельных осей, чтобы определить момент инерционного вклада каждого компонента относительно осей X, Y и Z квадрокоптера;

- суммировать инерции для каждого компонента по каждой оси, чтобы найти общий момент инерционной матрицы для транспортного средства.

Матрица инерции является одним из важных элементов системы. Она описывает момент инерции масс квадрокоптера по определенным осям и необходима для динамики полета системы. После использования конфигурации «+» или «X» матрица момента инерции массы выглядит следующим образом [10]:

$$J^b = \begin{bmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где J^b — инерция квадрокоптера относительно каркаса кузова, кг·м²;

J_{xx} — инерция квадрокоптера относительно оси X, кг·м²;

J_{yy} — инерция квадрокоптера относительно оси Y, кг·м²;

J_{zz} — инерция квадрокоптера относительно оси Z, кг·м².

Из-за симметрии системы матрица является диагональной и будет идентичной для конфигурации «+» или «X». Диагональный вид матрицы удобен из-за необходимости инвертировать матрицу для использования в основном уравнении угловой скорости.

3.2 Коэффициент тяги

Тяги двигателей являются движущей силой всех маневров квадрокоптеров и являются неотъемлемой частью при моделировании управления. Тяга, обеспечиваемая одной системой двигателя и пропеллера, может быть рассчитана следующим образом [10]:

$$T = C_T \cdot \rho \cdot A_r \cdot r^2 \cdot \omega^2, \quad (4)$$

где C_T — коэффициент осевого усилия для конкретного ротора;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

A_r — площадь поперечного сечения винта, м²;

r — радиус ротора, м.

ω — угловая скорость вращения ротора, об/с.

Для простого моделирования полетов может быть использован для упрощения процесса подход с сосредоточенными параметрами:

$$T = c_T \cdot \omega^2, \quad (5)$$

где c_T — приведенный коэффициент осевой нагрузки;

ω — угловая скорость вращения ротора, об/с.

Приведенный коэффициент осевой нагрузки относится к отдельной системе двигатель и пропеллер. Тяга прикладывает силу, перпендикулярную плоскости X-Y рамы кузова в положительном направлении Z.

3.3 Коэффициент крутящего момента

Для того чтобы определить влияние двигателя на рыскание, необходимо также определить силу крутящего момента системы двигатель и пропеллер. Соответствующее уравнение с сосредоточенными параметрами показано ниже [10]:

$$Q = c_Q \cdot \omega^2, \quad (6)$$

где c_Q — коэффициентом крутящего момента для системы двигатель и пропеллер;

ω — угловая скорость вращения ротора, об/с.

Этот крутящий момент создает усилие, которое действует на рыскание системы относительно оси Z.

3.4 Начальная матричная конструкция

После выполнения ряда тестов с каждой из конфигураций, в программном обеспечении Matlab можно рассчитать коэффициенты характеристик системы. С помощью этой информации создается матрица,

описывающая тяги и крутящие моменты в системе двигатель и пропеллер, как показано ниже [10]:

$$\begin{bmatrix} \Sigma T \\ \tau_\varphi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_T & c_T & c_T & c_T \\ 0 & d_+ c_r & 0 & -d_+ c_r \\ -d_+ c_r & 0 & d_+ c_r & 0 \\ -c_Q & c_Q & -c_Q & c_Q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где d — расстояние между двигателями и соответствующими осями вращения, где находится рычаг, м;

d_+ — длина от центра главной консоли квадрокоптера до двигателя, м.

Матрица представлена для конфигурации «+».

$$\begin{bmatrix} \Sigma T \\ \tau_\varphi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_T & c_T & c_T & c_T \\ -d_x c_r & d_x c_r & d_x c_r & -d_x c_r \\ -d_x c_r & -d_x c_r & d_x c_r & d_x c_r \\ -c_Q & c_Q & -c_Q & c_Q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где d_x — расстояние между двигателями и соответствующими осями вращения, где находится рычаг, м.

Если используется «X» конфигурация эффект c_T будет распределяться между всеми четырьмя двигателями.

3.5 Связь дроссельной команды

Важным для целей управления является то, что коэффициенты тяги и крутящего момента основаны на соотношении с оборотами двигателей, а не на том, что прямо определяется системой управления (например, команда дроссельной заслонки). В связи с этим необходима линейная регрессия, которая будет транслировать команды дросселя (в процентах от дросселя) в значения RPM. Для этого был создан следующий регресс [10]:

$$\omega_{ss} = (Throttle\%)c_R + b, \quad (9)$$

где ω_{ss} — ожидаемая постоянная частота вращения двигателя, c^{-1} ;

$Throttle\%$ — процентная доля дросселя, %;

c_R — коэффициент конверсии процентной доли дросселя в RPM;

$b - Y$ - перехват отношения линейной регрессии.

Линейную регрессию можно выполнить, используя программу анализа данных, которая позволяет контроллеру использовать правильные коэффициенты, определенные при тесте двигателя, для максимальной точности и реалистичности.

3.6 Гироскопические силы

Гироскопические силы, возникающие на теле, определяются инерцией J_m вращающихся компонентов каждого двигателя, параметрами высоты и крена (P и Q), а также скоростью каждого двигателя ω_i . Гироскопический крутящий момент, создаваемый двигателями для тангажа и крена, показан ниже [10]:

$$\tau_{\phi_{gyro}} = J_m \cdot Q \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot (\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4), \quad (10)$$

$$\tau_{\theta_{gyro}} = J_m \cdot P \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4). \quad (11)$$

Член $\frac{\pi}{30}$ соответствует переходу к радианам, которые применяются для вычисляемой гироскопической силы.

3.7 Заключительная матричная конструкция

С учетом сил двигателя, определенных ранее, составляем уравнения в матричной форме для целей моделирования. Полученная матрица будет учитывать упомянутые аэродинамические, гироскопические и осевые моменты, создаваемые системами двигателей и винтов на квадрокоптере для конфигурации «+» [10]:

$$M_{A.T.}^b = \begin{bmatrix} d_+ c_T \omega_2^2 - d_+ c_T \omega_4^2 + J_m \cdot Q \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot (\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ -d_+ c_T \omega_1^2 + d_+ c_T \omega_3^2 + J_m \cdot P \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \\ -c_Q \omega_1^2 + c_Q \omega_2^2 - c_Q \omega_3^2 + c_Q \omega_4^2 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Здесь $M_{A.T.}^b$ относится к моментам, присутствующим в раме кузова в результате аэродинамики, толчков и крутящих моментов в системе двигатель и пропеллер. Тело квадрокоптера также испытывает напряжение, действующее на него из-за силы тяжести и силы подъема. Подъемная сила может быть выражена следующим образом [10]:

$$F_{A.T.}^b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ c_T(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

$F_{A.T.}^b$ — относится к силам, действующим в каркасе кузова на квадрокоптер вследствие аэродинамики и тяги (предполагается, что они ориентированы строго в положительном направлении Z). Дополнительные эффекты, такие как захлопывание лезвий, аэродинамическое сопротивление и т. д., могут быть добавлены в модель после дополнительных исследований и испытаний.

3.8 Основные уравнения

Для описания динамической модели полета квадрокоптера необходимо составить основные уравнения. Составим основное уравнение угловой скорости [10]:

$$\dot{\omega}_{bi}^b = (J^b)^{-1} [M_{A.T.}^b - \Omega_{bi}^b J^b \omega_{bi}^b] = \begin{bmatrix} \dot{P} \\ \dot{Q} \\ \dot{R} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где $\dot{\omega}_{bi}^b$ — угловое ускорение каждой оси тела по отношению к инерциальной системе отсчета, рад/с²;

Ω_{bi}^b — матрица промежуточных расчетов для скорости вращения;

$M_{A.T.}^b$ — заключительная матричная конструкция.

Это уравнение описывает изменение скоростей крена (P), тангажа (Q) и рыскания (R) для квадрокоптера с учетом инерции, угловой скорости и моментов, применяемых системами двигателя. Угловое ускорение каждой

оси тела по отношению к инерциальной системе отсчета, также может быть записано как:

$$\dot{\omega}_{bi}^b = \begin{bmatrix} \dot{P} \\ \dot{Q} \\ \dot{R} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Имея матрицу инерции и матрицы момента, переходим к записи матрицы промежуточных расчетов для скорости вращения. Форма этой матрицы показана ниже:

$$\Omega_{bi}^b = \begin{bmatrix} 0 & -R & Q \\ R & 0 & -P \\ -Q & P & 0 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где P – скорость вращения вокруг оси X , рад/с;

Q – скорость вращения вокруг оси Y , рад/с;

R – скорость вращения вокруг оси Z , рад/с;

$$\omega_{bi}^b = \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix}, \quad (17)$$

где ω_{bi}^b – это скорость вращения тела квадрокоптера, определяющая непосредственно P , Q и R , рад/с.

Следующим определяемым основным уравнением является кинематическое уравнение Эйлера, которое позволяет определить скорость изменения углов Эйлера в инерциальной системе координат [10].

$$\dot{\Phi} = H(\Phi)\omega_{bi}^b = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

В соответствии с последовательностью вращения в воздушном пространстве вращение летательного аппарата описывается как поворот вокруг оси Z (рысканье), затем поворот вокруг оси Y (тангаж) с последующим вращением вокруг оси X (крен).

Используя эти три вращения, можно создать составную матрицу поворота, которая может преобразовать движение летательного аппарата в

одну плоскость. Результирующая матрица вращения преобразует вращения относительно инерциальной системы координат и может быть найдена с использованием матричного умножения. Ниже s , c и t соответствуют синусам, косинусам и касательным функциям соответственно [10].

$$u^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c(\phi) & s(\phi) \\ 0 & -s(\phi) & c(\phi) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c(\theta) & 0 & -s(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ s(\theta) & 0 & c(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c(\psi) & s(\psi) & 0 \\ -s(\psi) & c(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot u^i. \quad (19)$$

В результате матричного умножения получается матрица вращения последовательности ZYX [10]:

$$C_{bi} = \begin{bmatrix} c(\theta)c(\psi) & c(\theta)c(\psi) & -s(\theta) \\ (-c(\phi)s(\psi) + s(\phi)s(\theta)c(\psi)) & (c(\phi)c(\psi) + s(\phi)s(\theta)s(\psi)) & s(\phi)c(\theta) \\ (s(\phi)s(\psi) + c(\phi)s(\theta)c(\psi)) & (-s(\phi)c(\psi) + c(\phi)s(\theta)s(\psi)) & c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Эта матрица вращения имеет особое значение при решении основных уравнений скорости и положения.

При использовании последовательных матриц поворота, угловая скорость квадрокоптера может быть связана с изменениями угла поворота, как показано ниже, где C - матрицы ϕ и θ от составной матрицы поворота u^b .

$$\omega_{bi}^b = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + C_\phi \left(\begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} + C_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \right). \quad (21)$$

Выполнив умножение и сложение матриц, взяв производную, можно найти кинематическое уравнение Эйлера[10]:

$$\dot{\Phi} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t(\theta)s(\phi) & t(\theta)c(\phi) \\ 0 & c(\phi) & -s(\phi) \\ 0 & s(\phi)/c(\theta) & c(\phi)/c(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix} = H(\Phi)\omega_{bi}^b. \quad (22)$$

Такой подход эффективен, хотя есть один очень важный недостаток. Особенность возникает, когда θ равно $\pm 90^\circ$. Из-за этого точность и численная стабильность моделирования могут быть скомпрометированы, если высота приближается или достигает $\pm 90^\circ$. Существует несколько подходов к решению этой проблемы, в том числе использование

кватернионов для моделирования. Поэтому можно выбрать иную модификацию моделирования для использования того или иного подхода к устранению этого недостатка.

Следующее основное уравнение это уравнение скорости, которое описывает ускорение центра масс модели квадрокоптера, основанное на силах и ускорениях, действующих на тело [10].

$$\dot{v}_{CM}^b = \left(\frac{1}{m}\right) F_{A.T.}^b + g^b - \Omega_{bi}^b \omega_{CM}^b = \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \\ \dot{W} \end{bmatrix}, \quad (23)$$

где $\dot{v}_{CM}^b$ – линейное ускорение центра масс по отношению к инерциальной системе отсчета, м/с²;

m – общая масса квадрокоптера, кг;

g^b – ускорение свободного падения, м/с².

Используя эти уравнения, можно найти линейное ускорение квадрокоптера в направлениях X , Y и Z рам кузова.

Последнее уравнение состояния это уравнение состояния позиции, которое описывает линейную скорость центра масс квадрокоптера в инерциальной системе координат.

$$\dot{P}_{CM}^i = C_{ib} \cdot v_{CM}^b = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix}, \quad (24)$$

где v_{CM}^b – скорость квадрокоптера, м/с;

C_{ib} – матрица вращения.

Это основное уравнение позволяет нам определить скорость квадрокоптера в направлениях X , Y и Z инерциальной системы отсчета.

4 Моделирование и управление

Программное обеспечение Matlab Simulink базируется на симуляторе квадрокоптера, помогающее изучить динамические характеристики исследуемого объекта. Моделирование представляет собой синтез нескольких подходов к моделированию поведения квадрокоптера. Для обеспечения простоты модели многие важные эффекты, учитываемые при создании и тестировании реального аппарата, (некоторые аэродинамические эффекты, такие как взмахи лезвий) игнорируются, или значительно корректируются. Для использования данного программного обеспечения не требуются специальные навыки или знания [11].

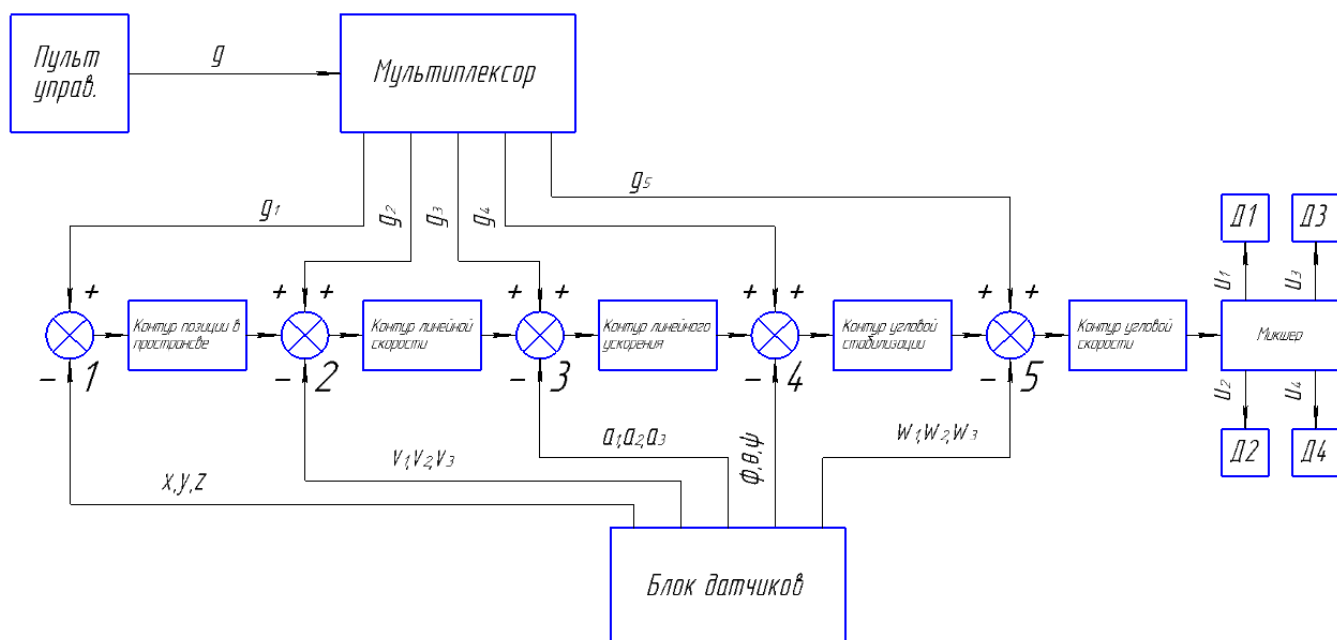


Рисунок 4.1 – Контуры управления параметрами беспилотного летательного аппарата

На рисунке 1 представлен общий вид структурной схемы управления параметрами беспилотного летательного аппарата. С помощью пульта управления задаются начальные координаты летательного аппарата g . На каждый контур поступают задаваемые параметры и параметры с датчиков, установленных на квадрокоптере, о текущем состоянии аппарата. В контурах формируются регулирующие воздействия, передаваемые на микшер,

который в свою очередь подает управляющие напряжения на каждый из двигателей.

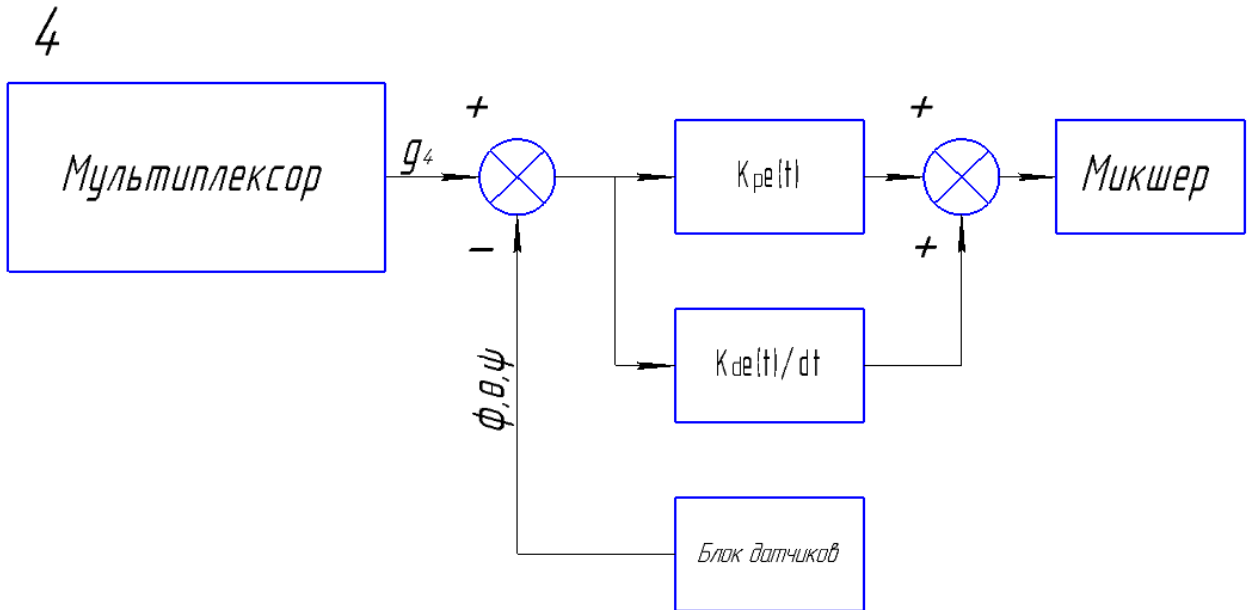


Рисунок 4.2 – Контур управления угловой стабилизации квадрокоптера

После того, как блоком датчиков были получены углы крена, тангажа и рысканья, необходимо применить поправку к мощностям двигателей, для устранения возможного отклонения. Для этой цели обычно применяется ПИД или ПД регулятор.

В данной системе применяется ПД регулятор. ПД (пропорционально-дифференциальный) регулятор - алгоритм, который на основе отклонения от величины, в которой необходимо стабилизироваться, выдает поправку на соответствующие моторы.

Будем считать отклонение от необходимой величины в момент времени t равным $e(t)$, тогда формула, приведенная ниже, выражает необходимую поправку. K_P , K_D – Пропорциональный и дифференциальный коэффициенты соответственно. В случае ПД регулятора инерциальная компонента обнуляется. Динамическая ошибка $e(t) = 0$.

$$u(t) = K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt}. \quad (25)$$

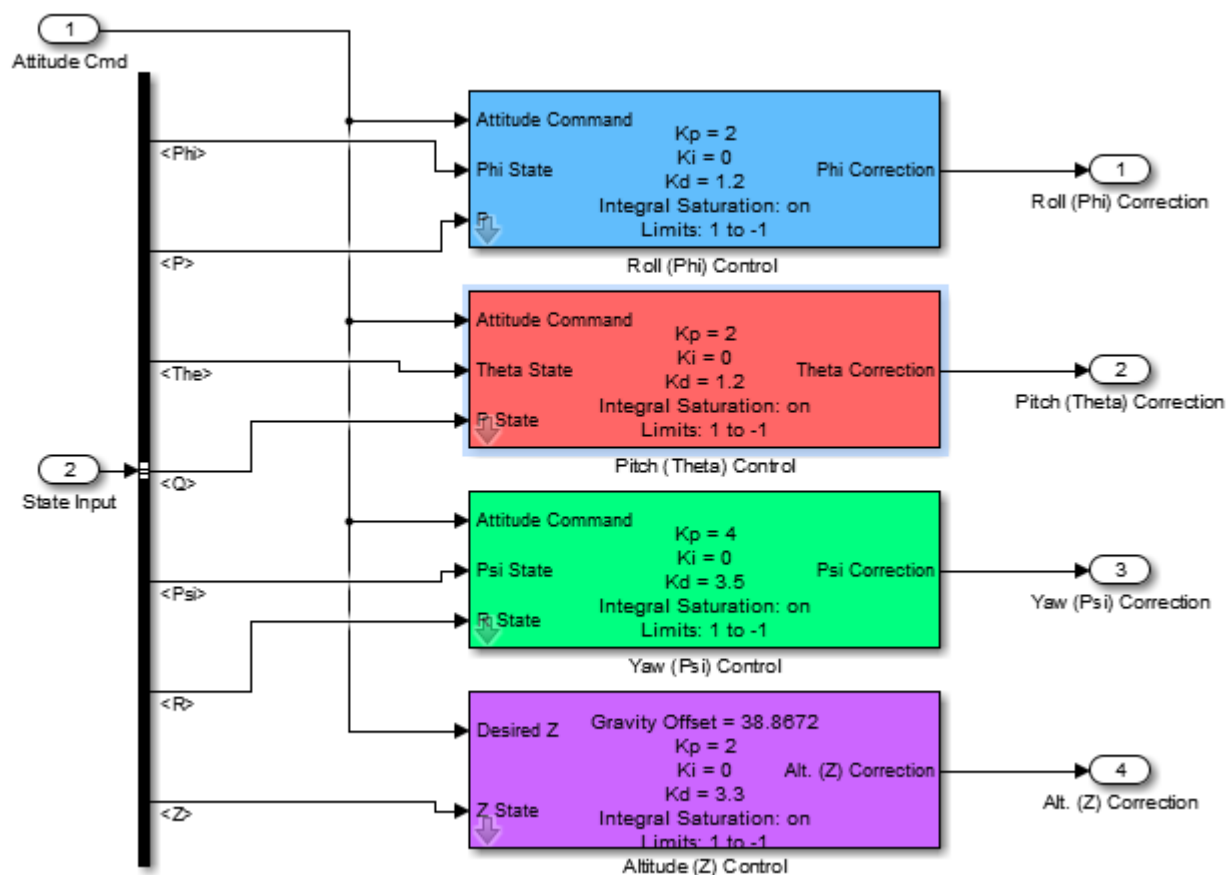


Рисунок 4.3 - Структура контура управления ориентацией

Рассмотрим блок управления ориентацией квадрокоптера в программном обеспечении Matlab Simulink. Контур состоит из четырех блоку, контролирующих крен, тангаж, рысканье и высоту. Текст на передней части этих блоков можно изменять, чтобы отразить значения коэффициентов усиления ПД регулятора [12].

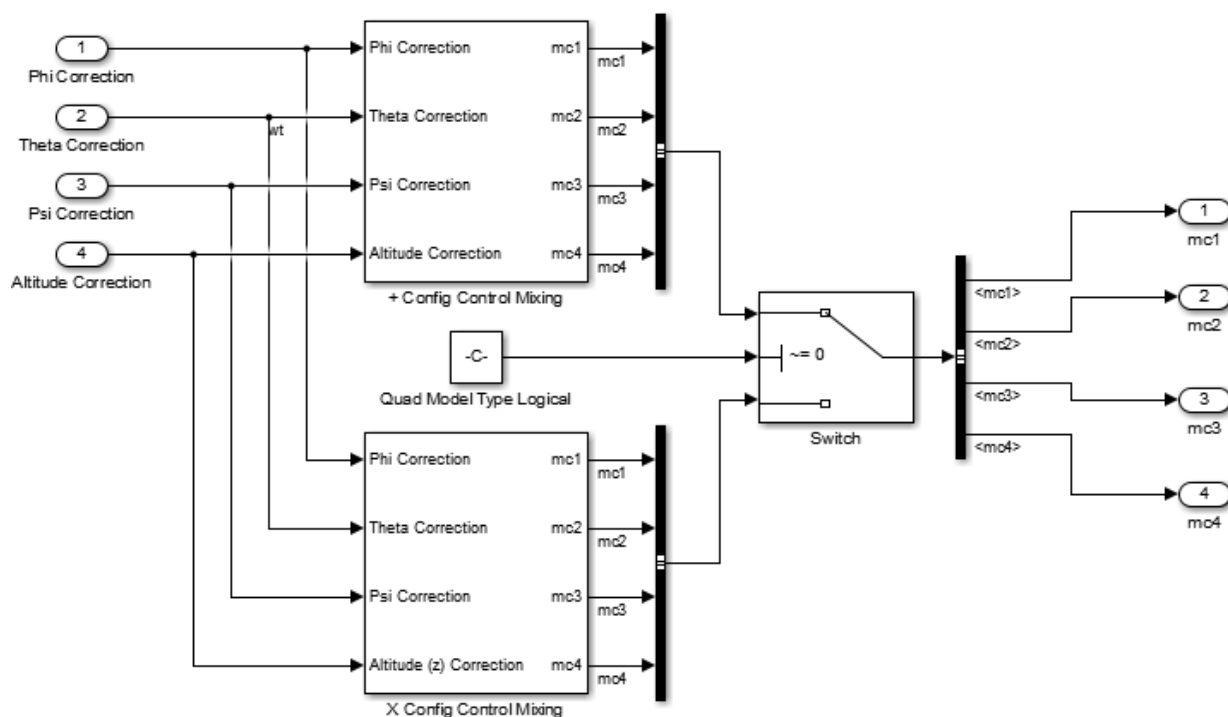


Рисунок 4.4 – Структура блока «смешивания» управления

Этот блок принимает команды коррекции для крена, тангажа, рысканья, высоты и «смешивает» их, отправляя каждую поправку на правильный двигатель. На передней панели представлена загруженная конфигурация «+». Назначение механизма переключения заключается в том, чтобы правильно управлять транспортными средствами «X» конфигурации и «+», не используя другой блок [12].

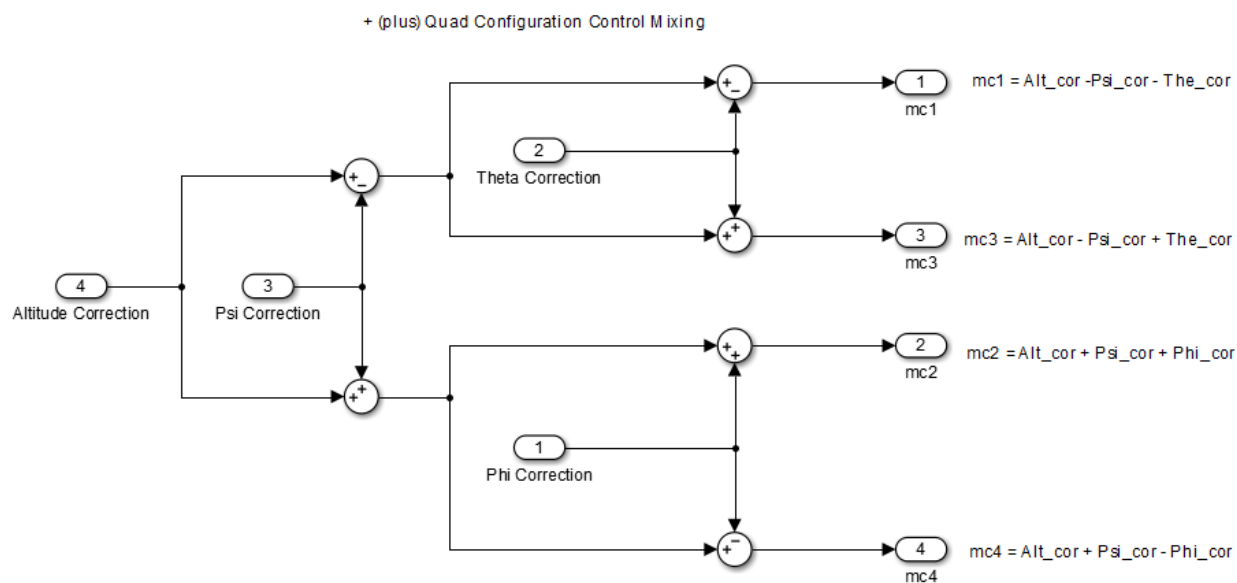


Рисунок 4.5 – Управление «+» конфигурацией

Уравнения записываются рядом с каждым выходом для справки. Следует отметить, что эти выходные сигналы выражены в процентах дросселя. Это очень важно, так как это позволяет настраивать контроллер и ожидать такой же производительности от моделируемого квадрокоптера для данной системы управления большим количеством коэффициентов усиления, которые можно получить от реальной системы управления [13].

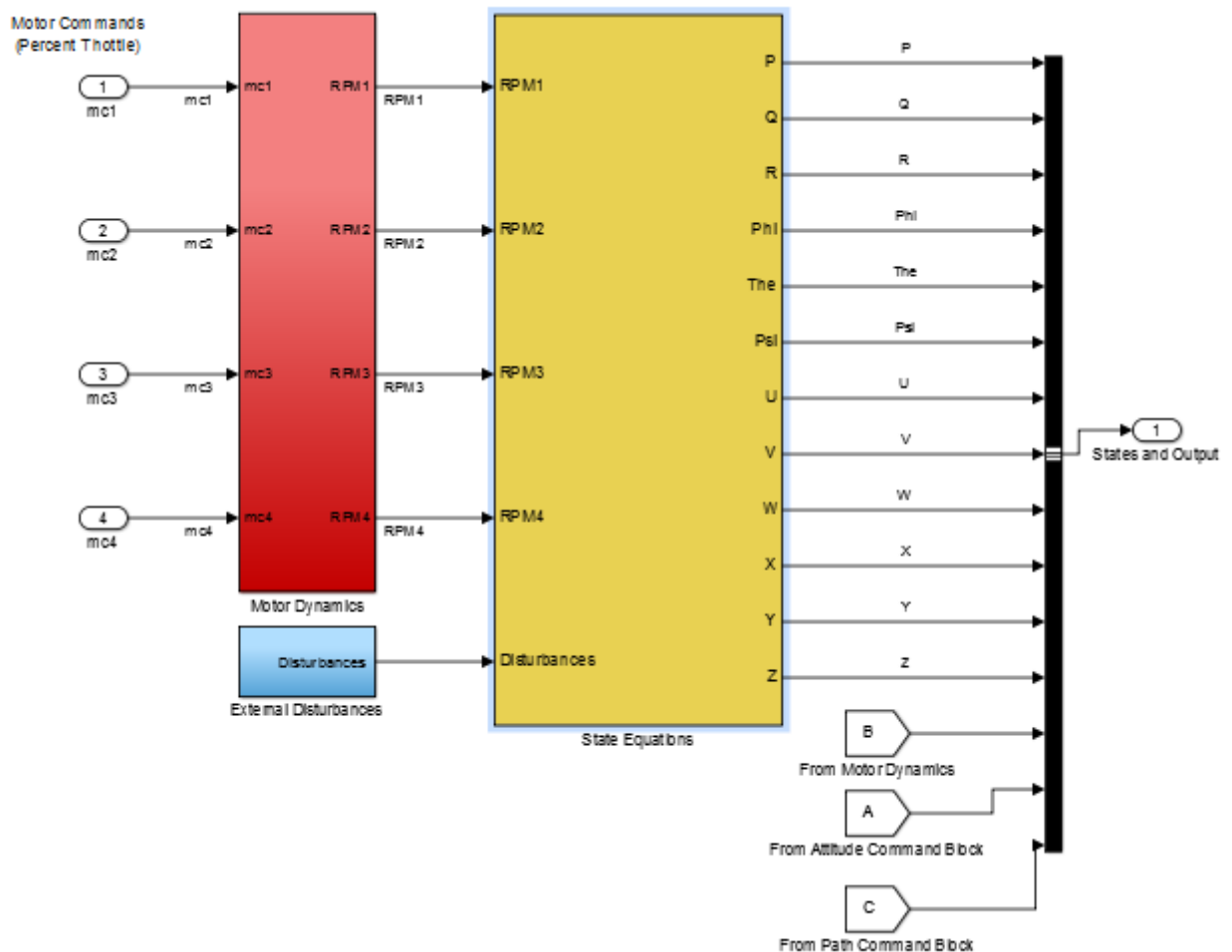


Рисунок 4.6 - Блок динамики двигателя

Блок динамики двигателя ограничивает входные команды от 0 до 100% дроссельной заслонки (что является максимально возможным диапазоном сигналов управления дроссельной заслонкой), имитирует поведение обрыва двигателя при очень низком дросселе и наиболее важно применяет линейную зависимость C_R и b к сигналу процента дросселя. Выход блока - это число оборотов в минуту для каждого двигателя в любой момент времени [12].

В блоке State Equations моделируются основные уравнения, описывающие динамическое поведение транспортного средства.

4.1 Настройка ПД - регулятора в среде Matlab

Синтез (процесс получения) математического описания объекта на основе экспериментальных данных на его входе и выходе называется идентификацией объекта. Результатом идентификации является графики импульсной или переходной характеристики объекта. Математическое описание идентификации может быть представлено в виде таблиц или в форме уравнений [14].

При помощи имитационной модели квадрокоптера был реализован режим полета «Зависание». Начальные условия данного режима полета приведены на рисунке 4.1.1

Field ▲	Value	
P	0	
Q	0	
R	0	
Phi	0	
The	0	
Psi	0	
U	0	
V	0	
W	0	
X	0	
Y	0	
Z	3	
w1	4000	
w2	4000	
w3	4000	
w4	4000	

Рисунок 4.1.1 – Начальные условия режима полета «Зависание»

Результаты процесса моделирования режима полета «Зависание» представлены на рисунке 4.1.2 и рисунке 4.1.3. На рисунке 4.1.2 показано как

изменяются параметры летательного аппарата при поддержании режима полета в течение 20 секунд [12].

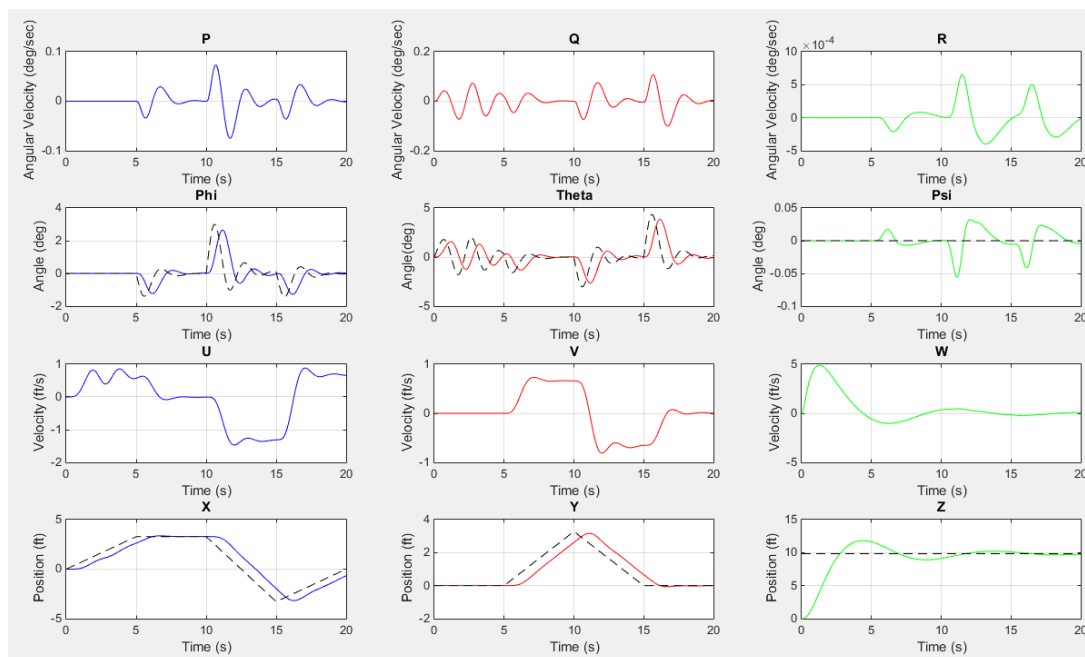


Рисунок 4.1.2 – Параметры мультикоптера в режиме полета
«Зависание»

На рисунке 4.1.3 показано как изменяется скорость двигателей при наборе и поддержании высоты 3 метра над землей.

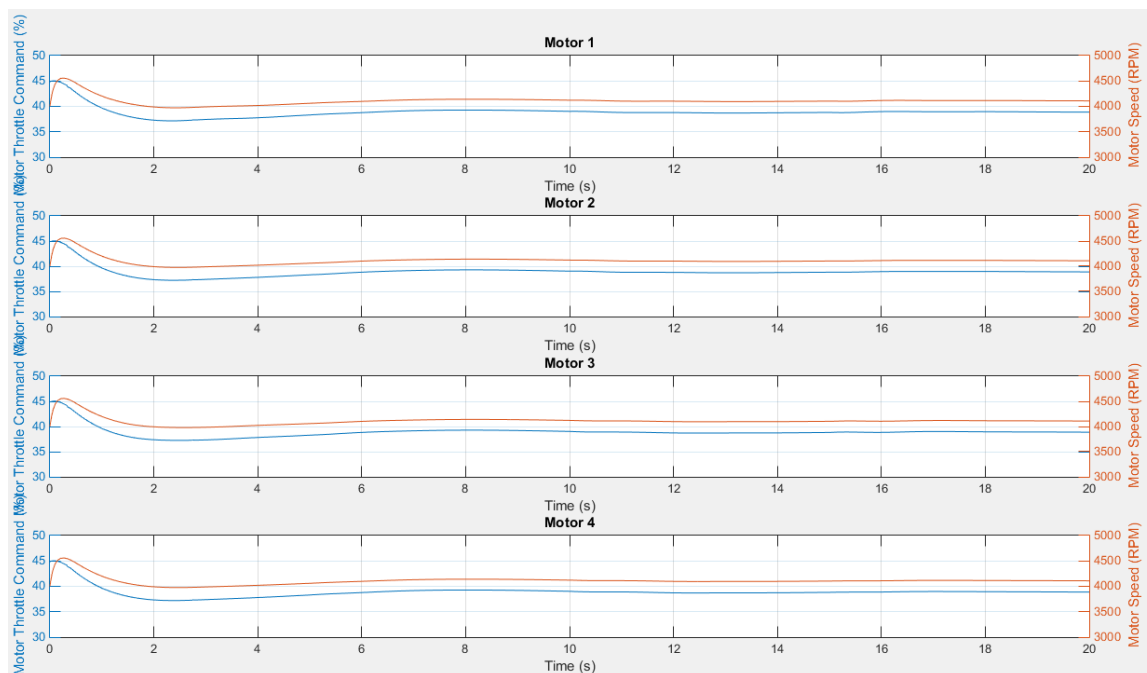


Рисунок 4.1.3 – Изменение скоростей двигателей в режиме полета
«Зависание»

С помощью приложения System Identification Toolbox, в которой проводилась идентификация, была получена переходная характеристика объекта. Эта характеристика используется для определения параметров ПД – регулятора [14].

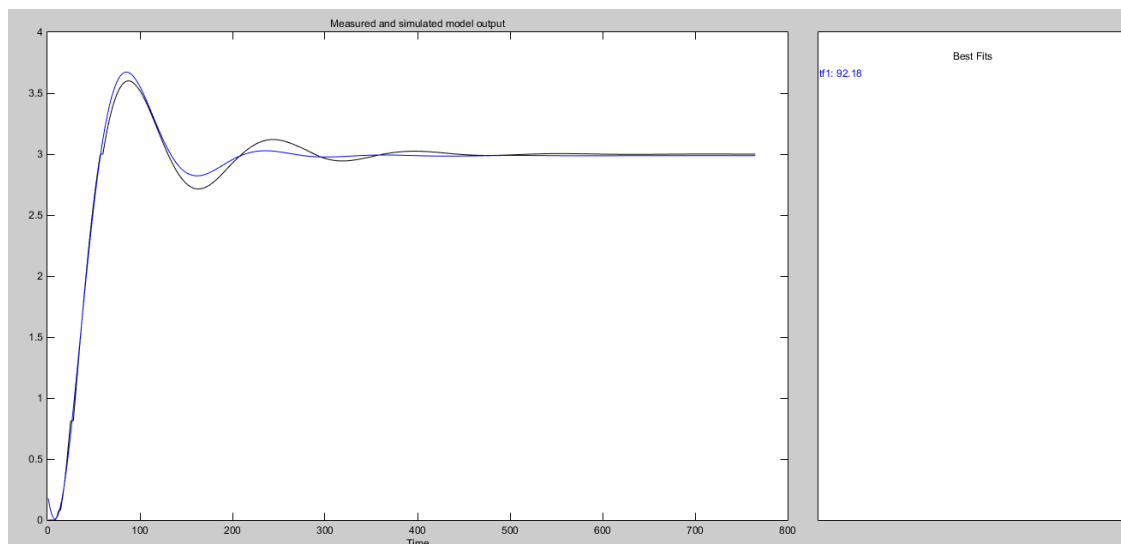


Рисунок 4.1.4 – Переходная характеристика системы

На рисунке 4.1.4 представлена переходная характеристика системы. Несмотря на разнообразие и сложность реальных объектов управления, в ПД - регуляторах используются, как правило, только две структуры математических моделей: модель первого порядка с задержкой и модель второго порядка с задержкой. Для летательных аппаратов используются модель второго порядка [12].

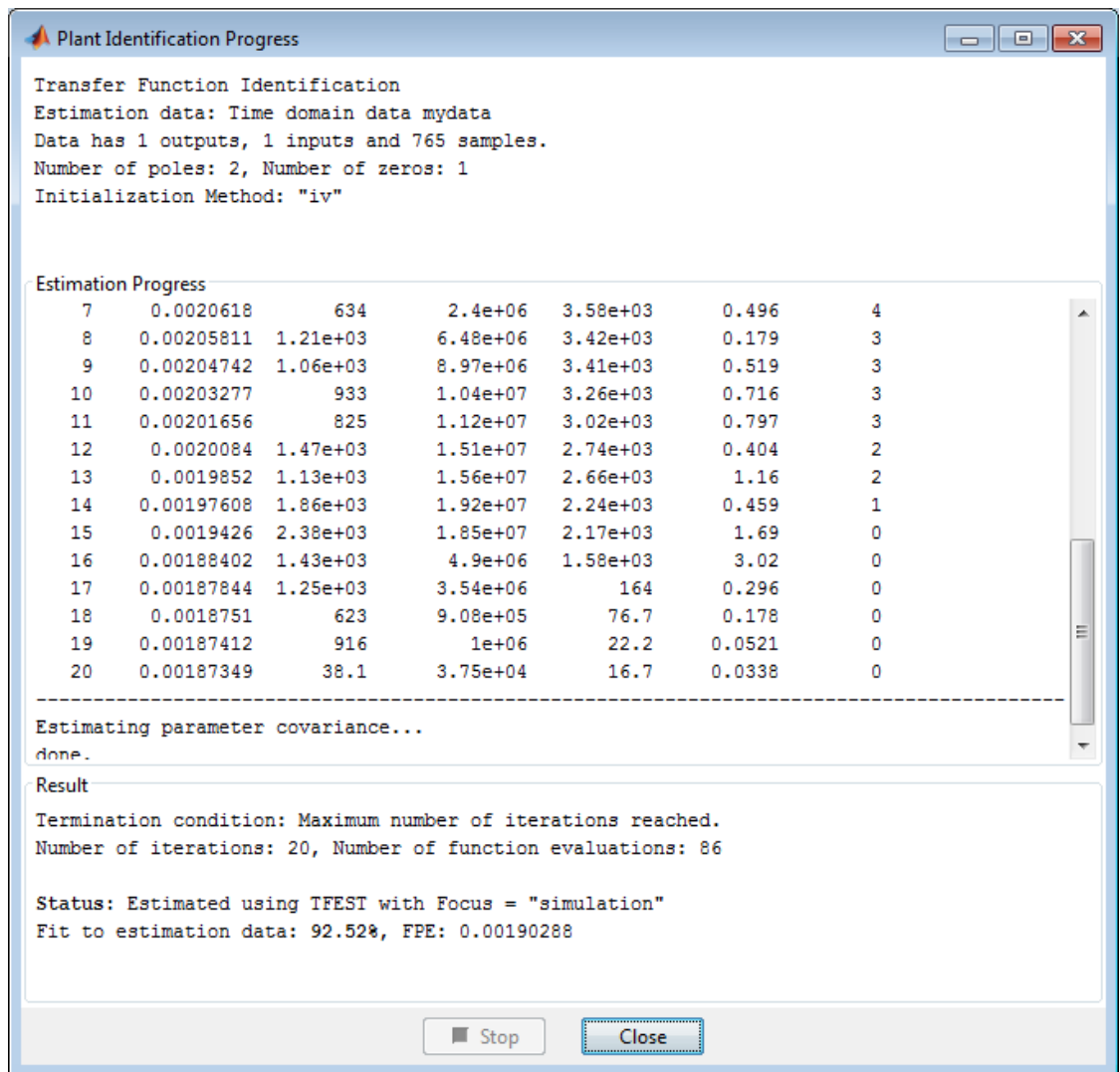


Рисунок 4.1.5 – Результаты идентификации

Анализируя результаты идентификации, можно сказать, что предлагаемая модель позволяет достаточно точно оценивать значения выхода исследуемой системы при различных входных воздействиях.

С помощью программного обеспечения Matlab по полученной переходной характеристике определяем коэффициенты настройки регулятора и его переходный процесс. При настройке регулятора необходимо задать допустимые границы параметров.

Допустимые границы параметров для ПД – регулятора:

- максимальная динамическая ошибка - не более 15%;
- время установления – не более 2,5с;
- статическая ошибка – 0.

Переходный процесс регулирования представлен на рисунке 4.1.6. Настроенный регулятор с оптимальными параметрами показан сплошной линией. Штриховой линией выделен ненастроенный регулятор с исходными параметрами.

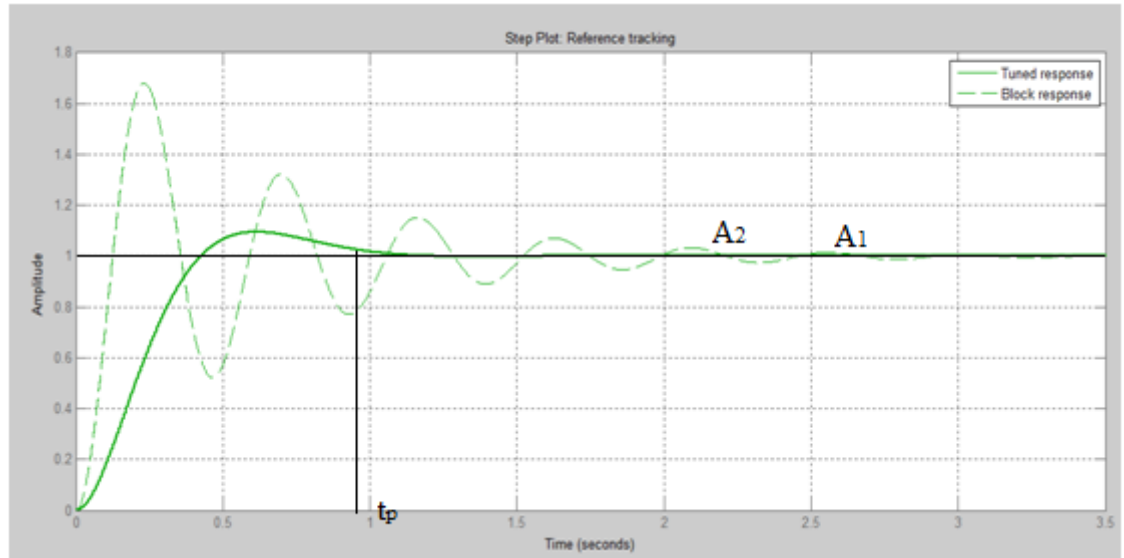


Рисунок 4.1.6 – Переходный процесс регулирования

Полученные коэффициенты регулятора представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оптимальные коэффициенты настройки регулятора

Регулятор	K_P	K_D
ПД	0.16731	0.057311

По полученным данным произведем оценку качества переходного процесса.

Прямые оценки качества:

- динамическая ошибка $A_1=0,085$;
- степень затухания переходного процесса $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1$;
- статическая ошибка $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$;
- время регулирования $t_p = 0,985$ с.

При анализе полученных вычислений сделан вывод, что результаты не превышают допустимых значений.

5 Разработка структуры АСР параметров беспилотного летательного аппарата

Квадрокоптер – это винтокрылый летательный аппарат с 4 роторами, расположенными на концах двух перпендикулярных осях. Каждый винт имеет свой собственный двигатель, который приводит его в движение. В квадрокоптерах одна половина винтов вращается по часовой стрелке, другая половина винтов против часовой стрелки. Это необходимо для компенсации крутящего момента. Так как квадрокоптер не обладает устойчивостью к внешним воздействиям, при полете возникает задача стабилизации квадрокоптера по трем углам относительно его центра: крену, тангажу и рысканию. Для эффективной стабилизации квадрокоптера необходима система автоматической стабилизации на основе показаний датчиков. Для работы достаточно установить следующие датчики: акселерометр, гироскоп, магнитный компас, барометр.

Данная система реализует следующие функции:

- сбор, обработку и анализ информации о текущей ориентации квадрокоптера в пространстве на основе данных с инерционных датчиков;
- измерение атмосферного давления и преобразование его в высоту;
- осуществление дистанционного управления посредством пульта управления;
- осуществление стабилизации квадрокоптера на основе комплексной обработки информации, получаемой от инерционных датчиков;
- реализацию и контроль выполнения управляющих воздействий.

Аэродинамический баланс квадрокоптера сохраняется постоянным считыванием показаний сенсоров и внесение соответствующих изменений в скорость вращения каждого ротора. Учитывая, что ручное управление четырьмя отдельными двигателями крайне затруднено, за поддержание баланса квадрокоптера отвечает соответствующая автоматическая контрольная система. Управление квадрокоптером осуществляется по 4-м

осям: рысканью по курсу, крену относительно продольной оси, тангажу, высоте полета. Структура системы контроля и регулирования полета беспилотного летательного аппарата представлена на рисунке 5 [15].

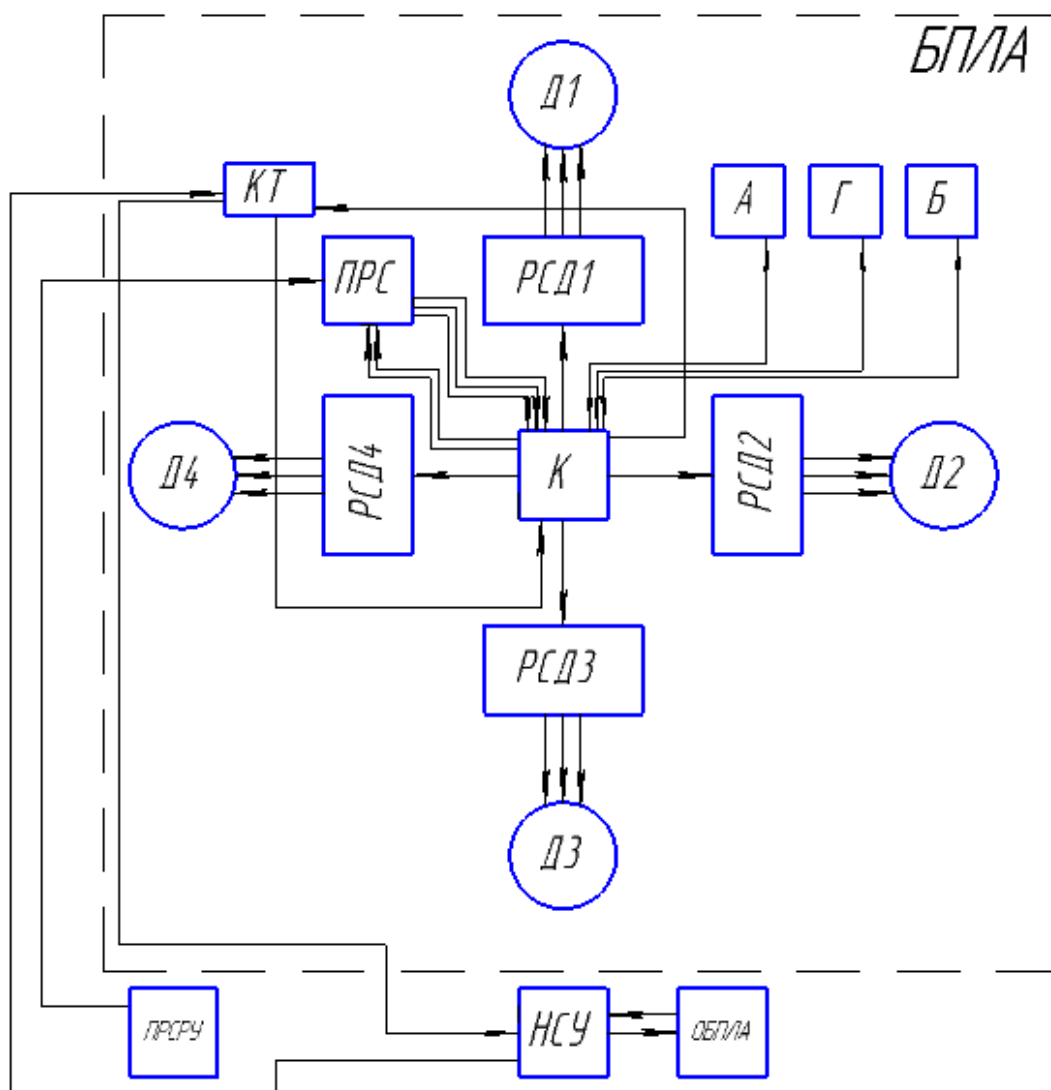


Рисунок 5 – Структурная схема БПЛА

Таблица 5 – Расшифровка обозначений на структурной схеме БПЛА

Условное обозначение	Расшифровка
Д1	Первый двигатель
Д2	Второй двигатель
Д3	Третий двигатель
Д4	Четвертый двигатель
К	Полетный контроллер
РСД1	Регулятор скорости вращения ротора первого двигателя

Продолжение таблицы 5

Условное обозначение	Расшифровка
РСД2	Регулятор скорости вращения ротора второго двигателя
РСД3	Регулятор скорости вращения ротора третьего двигателя
РСД4	Регулятор скорости вращения ротора четвертого двигателя
ПРС	Приёмник радиосигнала
ПРСРУ	Передатчик радиосигнала, ручное управление
НСУ	Наземная станция управления
ОБЛА	Оператор беспилотного летательного аппарата
БЛА	Беспилотный летательный аппарат
КТ	Канал телеметрии
А	Акселерометр
Г	Гироскоп
Б	Барометр

Для решения задач регулирования полета беспилотного летательного аппарата выбрана структура, которая включает в себя следующее оборудование:

1) нижний уровень:

- инерционные датчики;
- первичные средства измерения;
- приемник и передатчик радиосигнала;
- регуляторы скорости вращения ротора двигателей;

2) средний уровень:

- полетный контроллер;

3) верхний уровень:

- рабочее место оператора беспилотного летательного аппарата.

К разрабатываемой автоматической системе регулирования выдвинут ряд основных технических требований, которым она должна удовлетворять:

- на нижнем уровне осуществляется сбор информации об ускорении, угловой скорости и атмосферного давления для определения текущей ориентации технологического объекта в пространстве;
- передача и прием радиосигнала для осуществления дистанционного управления осуществляется при частоте 2,4 ГГц;
- на среднем уровне осуществляется обработка и преобразование данных, поступивших с низкого уровня;
- полетный контроллер должен выполнять алгоритм стабилизации квадрокоптера;
- использование интерфейса I2C.

6 Разработка функциональной схемы АСР параметров беспилотного летательного аппарата

Функциональные схемы систем автоматизации технологических процессов являются основным техническим документом, определяющим структуру и характер как системы в целом, так и отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения их приборами и средствами автоматизации

На функциональной схеме упрощенно изображены агрегаты, подлежащие автоматизации, приборы и средства автоматизации, которые изображаются условными обозначениями по действующим государственным стандартам, а также линии связи между ними [16].

Функциональная схема АСР беспилотного летательного аппарата представлена на чертеже с шифром ФЮРА.421000.018 С2.

Согласно теоретической механики положение твёрдого тела в пространстве задаётся шестью координатами (степенями свободы) — 3 поступательных и 3 вращательных. В данной работе под координатами вращения понимаются углы Эйлера, и они обозначаются как крен (поворот вокруг оси X), тангаж (поворот вокруг Y) и рысканье (поворот вокруг Z) [3].

Линейные степени движения квадрокоптера:

- марш по курсу;
- лаг;
- высота.

Угловые степени движения квадрокоптера [17]:

- рысканье по курсу (повороты влево, вправо без потери высоты): управляется добавлением оборотов роторам, которые вращаются в сторону поворота, и снижением оборотов у роторов противоположного вращения. Учитывая симметричное увеличение и убавления мощности на каждой паре моторов, набор высоты при повороте по курсу не

производится. Главная проблема управления рысканьем по курсу – выбор моторов, которым требуется увеличение и/или уменьшение мощности;

- крен (наклоны влево/вправо): управляется увеличением мощности одного из роторов с симметричным уменьшением противоположного;
- тангаж (наклоны вверх или вниз, угол поперечной оси квадрокоптера относительно поверхности): управляется подобно крену, но с использованием другой пары двигателей.

Таблица 6 – Перечень регулируемых параметров

№ п/п	Наименование параметра
1	Углы Эйлера (крен, тангаж, рысканье)
2	Высота

Надо отметить, что крен и тангаж для квадрокоптера являются понятием полностью относительным и зависят только от выбора направления движения и плеча крестовины. Например, для изменения угла крена/тангажа тяга одного из роторов должна быть снижена, в то время как тяга другого – увеличена. Результатом станет изменение продольного или поперечного угла наклона относительно горизонтальной поверхности. Когда квадрокоптер наклоняется, это приводит к разделению вектора силы (в идеальном состоянии проходящую через центр крестовины), на вертикальную и горизонтальную составляющие. Это приведет к изменению горизонтального и вертикального направлений движения – квадрокоптер начнет двигаться в сторону крена, теряя при этом высоту (вызвано силой земного тяготения, которая больше не компенсируется несущей силой винтов). Чтобы избежать падения квадрокоптера, для компенсации вертикальной составляющей, тяга на всех роторах должна быть соответственно увеличена.

Датчик давления используется для определения текущей высоты над уровнем моря. Несмотря на то, что сигналы GPS/ГЛОНАСС также могут передавать эту информацию, датчик давления обычно значительно точнее.

На высоте до 10 м датчик давления не способен выдавать точную высоту над уровнем моря. При низких полетах может задействоваться информация с дополнительного ультразвукового датчика, который встречается лишь у некоторых моделей

Барометр позволяет измерять давление в пределах от 30 до 110 кПа, что соответствует +9000 и -500 метрам относительно уровня моря. Разрешение составляет 3 Па (25 см) в высокоточном режиме и 6 Па (50 см) в обычном режиме.

Оператор беспилотного летательного аппарата с помощью пульта управления 1а подает радиосигнал на приемник 2а, команды с приёмника поступают на полётный контроллер АРМ 2.6, который выравнивает платформу по датчикам и управляет ей по командам с пульта. Управлять бесколлекторными двигателями 4а напрямую нельзя, нужно сформировать трёхфазные сигналы для каждого двигателя – это выполняют соответствующие регуляторы скорости вращения ротора двигателей 3а.

На регуляторы скорости вращения ротора двигателей 3а подаётся питание 5 В и 50 % ШИМ – сигнал с полетного контроллера АРМ 2.6.

Крен, тангаж, рысканье и высота определяются инерциальной навигационной системой 5а, состоящей из цифрового барометра GY – 65 и модуля MPU 9250.

Полученная информация о координатах квадрокоптера поступает в полетный контроллер АРМ 2.6.

С помощью канала телеметрии 6а данные с АРМ 2.6 передаются на наземную станцию ПК, помеченной позицией 7а.

7 Выбор технических средств и составление заказной спецификации

7.1 Выбор микропроцессорной системы

При выборе микропроцессорной системы учитывались такие критерии как:

- большая вычислительная мощность;
- возможность реализации системы без приобретения дополнительных модулей ввода/вывода и поддержка распространенных интерфейсов для передачи данных;
- программирование при помощи графического языка LabVIEW;
- поддержка множества режимов полета.

Контроллер NI MyRIO содержит двухъядерный программируемый процессор ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 667 МГц. И программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) Xilinx. Контроллер имеет три разъема (2 порта расширения NI MyRIO (MXP) и один порт NI miniSystems (MSP)). NI MyRIO содержит в общей сложности 40 цифровых линий ввода/вывода с поддержкой SPI, PWN выхода, входного импульсного датчика, UART и I2C [18].

Таблица 7.1 – Краткие характеристики контроллера MyRIO

Диапазон напряжения питания	6-16 В
Максимальная потребляемая мощность	14 Вт
ОЗУ	512 МБ
ПЗУ	256 МБ
Максимальная тактовая частота	667 МГц
Вес	193 г

Полетный контроллер ArduPilot Mega является полноценным решением для беспилотного летательного аппарата. Контроллер позволяет помимо

радиоуправляемого дистанционного пилотирования автоматическое управление по заранее созданному маршруту, а так же обладает возможностью двухсторонней передачей телеметрических данных с борта на наземную станцию (телефон, планшет, ноутбук, DIY) и ведение журнала во встроенную память. Контроллер основан на автопилоте APM 2.6 [19].

Особенности:

- система стабилизации с возможностью воздушной акробатики;
- удержание позиции по GPS, полет по точкам и возврат на точку старта;
- возможность использования инфракрасного датчика для обхода препятствий;
- автоматическое следование по маршрутным точкам;
- управление двигателями посредством ШИМ (PWM) с использованием регуляторов скорости вращения роторов двигателей (ESC);
- собственная система стабилизации для камеры;
- радиосвязь и телеметрия с борта;
- поддержка множества рам и конфигураций летающих аппаратов;
- поддержка датчика уровня заряда батареи;
- совместим со многими радиоуправляемыми приемниками PWM и PPM сигналов;
- передача в реальном времени телеметрических данных;
- бортовая флэш - память 16 Мбит для автоматической регистрации данных;
- возможна загрузка обновлений встроенного программного обеспечения и его конфигурация.

Поддерживаемые режимы полета:

- стабилизация (Stabilize) – удержание горизонта;
- удержание высоты (AltHold);
- Loiter – замри и слоняйся;
- RTL (Return-to-Launch) – вернуться на точку старта;

- Auto – выполнение заданного маршрута в автоматическом режиме;
- Acro – акробатика;
- Sport – для FPV;
- Circle – облет по кругу;
- Drift – полет как у самолета.

В качестве микропроцессорной системы был выбран полетный контроллер APM 2.6. Главными преимуществами являются относительно небольшая стоимость, поддержка множества режимов полета, поддержка распространенных интерфейсов для передачи данных, поддержка графического языка LabVIEW.

7.2 Выбор аппаратуры радиопередачи

При выборе пульта управления учитывались такие критерии как:

- дальность передачи данных;
- возможность обратной связи;
- поддержка существующих протоколов передачи данных;
- поддержка режима FailSafe.

Аппаратура радиопередачи Futaba 14 sg имеет протокол FASSTest (функция обратной связи), позволяющая летать даже в условиях зашумленного радио эфира, сохраняя идеально гладкое управление. Имеет восемь свободно переназначаемых каналов. Поддержка SBus и SBus 2, наличие встроенного программатора CIU 2 и встроенного программатора для SBus устройств. Имеется разъем подключения SD карты [20].

Передатчик Walkera DEVO 7 является классическим проводником с интегрированным видео дисплеем. Данный проводник схож с Futaba 14 sg. Проводник сконструирован для применения к беспилотному летательному аппарату, а также снабжается системой DSSS, кроме того содержит память на 15 модификаций, имеет 7 точечных каналов, которые дают возможность реализовывать обновление прошивки и обмен информацией через сеть

Интернет. Основная характеристика данной продукции является то, что контроль можно осуществлять корректно и без каких либо усилий.

Данная аппаратура имеет режим FailSafe. Режим FailSafe позволяет передать команду контроллеру полета квадрокоптера о том, что связь с передатчиком пропала и, соответственно, надо возвращаться в точку взлета. На квадрокоптер будет поступать последняя команда, которая передавалась перед потерей связи. Этот режим называется Hold.

Минусом данного пульта управления является то, что в комплект входит только передатчик без приемника. Для данного типа используется приемник Walkera RX701 2.4 G Transmitter.

Характеристики приемника Walkera RX701 2.4 G Transmitter [21]:

- тип: 2,4 G 7 каналов;
- чувствительность: - 105 dBm;
- вес: 11,6 г;
- размеры: 43·28·16 мм;
- рабочее напряжение: 4,8 – 6 В.

Для данного передатчика требуется дополнительная комплектация:

- 4 батарейки или аккумулятор 5 В, 1300 мА.

В качестве радиоаппаратуры радиопередачи был выбран передатчик Walkera DEVO 7. Главными преимуществами являются данной аппаратуры являются относительно небольшая стоимость, поддержка режима FailSafe, наличие системы DSSS, возможность обмена информацией через сеть Интернет.

7.3 Выбор регуляторов скорости двигателя

При выборе регуляторов скорости двигателей учитывались такие критерии как:

- малая стоимость;
- входное напряжение в пределах 5 - 11,1 В;

- вес регуляторов скорости вращения роторов двигателей;
- размер регуляторов скорости вращения роторов двигателей.

Таблица 7.3.1 – Краткая характеристика регуляторов скорости вращения ротора двигателей Hobbypower ESC-30A [22]

Входное напряжение	5,5-12,6 В
Выходной ток	30 А
Масса	25 г
Поддерживаемые батареи	2-3S

Таблица 7.3.2 – Краткая характеристика регуляторов скорости вращения ротора двигателей Hobbyking SS Series 18-20A ESC [23]

Входное напряжение	5,5-12,6 В
Выходной ток	20 А
Масса	19 г
Поддерживаемые батареи	2-3S
Размер	45·25·4 мм

Электронные регуляторы скорости отвечают за скорость вращения роторов двигателей, регулируемые полетным контроллером. Большинство регуляторов должны быть отрегулированы так, что бы знать минимальное и максимальное значение ШИМ, что посылает полетный контроллер.

Регуляторы хода Hobbyking SS Series – это серия недорогих регуляторов, которые изготавливаются из упрощенных деталей и имеют небольшое количество функций настройки. При этом настройки можно менять только с помощью карт настройки регуляторов.

Для беспилотного летательного аппарата был выбран электронный регулятор скорости Hobbyking SS Series 18-20A ESC.

7.4Выбор аккумуляторной батареи

Критерии выбора аккумуляторной батареи для квадрокоптера:

- малый вес;
- большая емкость;
- выдаваемое напряжение около 12 В;
- размер аккумулятора.

Таблица 7.4.1 – Характеристика аккумуляторной батареи Robiton [24]

Вес	200 г
Напряжение	11,1 В
Емкость	2600 мА·ч

Таблица 7.4.2 – Характеристика батареи Turnigy nano-tech [25]

Вес	69 г
Напряжение	11,1 В
Емкость	1300 мА·ч

В качестве аккумуляторной батареи была выбрана Turnigy nano-tech. Данный тип аккумуляторов значительно улучшает передачу мощности, делая реакции окисления - восстановления более эффективными.

Преимущества Turnigy nano-tech 1300mAh 3S 25C по сравнению с традиционными батареями LiPo:

- плотность мощности достигает 7,5 кВт/кг;
- минимум падения напряжения при высокой скорости разряда, что дает больше мощности под нагрузкой;
- внутреннее сопротивление может достигать 1,2 мОм;
- более высокая мощность при сильном разряде. Более 90 % при скорости 100 %;
- быстрая зарядка;

- увеличенный цикл жизни, почти вдвое больше, чем при стандартной технологии LiPoly.

7.5 Выбор двигателей беспилотного летательного аппарата

При выборе двигателей беспилотного летательного аппарата учитывались такие критерии как:

- малая стоимость;
- высокая развиваемая скорость;
- работа на постоянном токе;

Выбор двигателей также определяется размерами будущего аппарата. При оценке квадрокоптера, масса аппарат с учетом дополнительных модулей составила 2 кг. Поэтому необходимы двигатели с тягой не менее 1 кг.

Таблица 7.5.1 – Характеристика двигателей A2212/13T 1000KV [26]

КПД	80 %
Ток без нагрузки при 10V	0,5A
Максимальная эффективность при токах 4-10A	>75 %
Диаметр	27,5
Вес	47 г

Таблица 7.5.2 – Характеристика двигателей Emax RS2205-2300 [27]

КПД	80 %
Ток без нагрузки при 10 В	0,5A
Максимальная эффективность при токах 4-10A	>75 %
Диаметр	27,9
Вес	30 г

Исходя из условий тяги двигателей, был выбран набор Emax RS2205-2300.

Особенности Emax RS2205-2300:

- Race Spec исполнение;
- высокая прочность;
- охлаждение двигателя;
- легкий вес конструкции.

7.6 Выбор дополнительных модулей

Критерии выбора акселерометра и гироскопа для квадрокоптера:

- малая стоимость;
- рабочие диапазоны датчиков;
- совокупность датчиков реализованных на одной плате (акселерометр, гироскоп);
- малая погрешность измерений.

Модуль 3-х осевого гироскопа и акселерометра MPU 9250 позволяет определить положение и перемещение прибора в пространстве: углы крена, дифферента (тангажа) ориентируясь по вектору силы тяжести и скорости вращения. При перемещении определяет линейное ускорение и угловую скорость по трем осям, что дает полную картину положения.

Характеристики MPU 9250 [28]:

- максимальная частота интерфейса I2C составляет 400 кГц;
- формат данных: углы Эйлера, кватернионы, матрица поворота или необработанные данные;
- диапазон гироскопа: ± 250 , ± 500 , ± 1000 и ± 2000 градусов в секунду;
- диапазон акселерометра: ± 2 , ± 4 , ± 8 и ± 16 g;
- 16 бит вывода данных;
- резонансная частота 27 кГц;
- расстояние между контактами 2,54 мм;
- отверстия под винт 3 мм;
- размеры 20·16 мм.

Таблица 7.6.1 – Характеристика барометра ms5611 [29]

Точность измерения	0,1 м
Диапазон измерения	1..120 кПа
Рабочая температура	от -40 до +85 °С
Разрядность	24 бит
Питание	3-5 В

Таблица 7.6.2 – Характеристика барометра GY – 65 [30]

Точность измерения	0,25 м
Диапазон измерения	300..1100 гПа
Рабочая температура	от -40 до +85 °С
Время измерения	3 мс
Питание	1,6-3,6 В

В качестве датчика определения высоты выбран цифровой барометр GY – 65. В основе модуля - микросхема BMP085. Модуль представляет собой высокоточный цифровой датчик давления с ультранизким энергопотреблением.

Выбор цифрового датчика давления основан на малой погрешности (~10 см) при вычислении высоты на основании полученных данных о давлении.

Характеристики барометра GY – 65:

- измеряемое давление: от 300 гПа до 1100 гПа (от 9000 до -500 метров над уровнем моря);
- напряжение питания: от 1,8 до 3,6 В;
- рабочий ток: 5 мкА при 1 опросе в секунду;
- точность: 0.5 м в самом быстром режиме и 0.25 м в самом точном;
- время измерения: до 3 мс;
- встроенный термометр;
- интерфейс i2c.

7.7 Составление заказной спецификации

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации для реализации системы управления беспилотным летательным аппаратом.

В соответствии с функциональной схемой составляем заказную спецификацию технических средств автоматизации.

При составлении заказной спецификации был учтен ряд факторов метрологического и технического характера:

- допускаемая погрешность измерительных устройств составляет 0,5%;
- бесперебойная работа инерциальной навигационной системы обеспечивается ее степенью защищенности от внешних факторов (погодные условия, выбор ориентира);
- технические средства измерения выбраны согласно рассматриваемым в проекте критериям к беспилотному летательному аппарату.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации представлена в приложении А.

8 Разработка принципиальной электрической схемы АСР

С помощью принципиальных электрических схем определяется полный состав приборов, аппаратов, устройств и связей между ними, совместное действие которых обеспечивает решение задач регулирования, управления, измерения, защиты и сигнализации [31].

Принципиальная электрическая схема представлена на чертеже с шифром ФЮРА.421000.018 ЭЗ Лист 1.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического и текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо.

В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 99, для цепей питания 101 - 999.

Питание летательного аппарата производится аккумуляторной батареей GB. С аккумуляторной батареи GB питание 5 В и 11,1 В подается к полетному контроллеру А1 (ХТЗ, клеммы 1,2,3), приёмнику S1 и регуляторам скорости двигателей АЗ. С приемника S1 аналоговый сигнал поступает на аналоговый вход полетного контроллера А1 (ХТ2, клеммы 1,2,3,4,5), где происходит формирование ШИМ - сигнала на включение двигателей М1.

Управлять бесколлекторными двигателями напрямую нельзя, необходимо сформировать трёхфазные сигналы для каждого двигателя – это

выполняют соответствующие регуляторы скорости двигателей АЗ. В полетном контроллере А1 формируются управляющие импульсы PWN (ШИМ), поступающие на регуляторы скорости двигателей АЗ, (ХТ1, клеммы 3,5 и 6,9) . ШИМ (Широтно-Импульсная модуляция) это операция получения изменяющегося аналогового значения посредством цифровых устройств. Устройства используются для получения прямоугольных импульсов - сигнала, который постоянно переключается между максимальным и минимальным значениями. Данный сигнал моделирует напряжение между максимальным значением (5 В) и минимальным (0 В), изменяя при этом длительность времени включения 5 В относительно включения 0 В.

От модулей ВР и А2 аналоговый сигнал через мультиплексор поступает на аналоговый вход полетного контроллера А1 (клеммы 1,2). Передача данных об контролируемых параметрах производится с помощью передающей антенны или с помощью USB после окончания полета.

Обозначение устройств на принципиальной электрической схеме следующее:

А1 – Полетный контроллер APM 2.6;

А2 – Модуль MPU 9250;

АЗ – Регулятор скорости двигателя Hobbyking SS Series;

А4 – Плата разводки питания Hobbyking;

А5 – Мультиплексор 8 – канальный;

ВР – Цифровой барометр GY – 65;

GB – Аккумуляторная батарея Turnigy nano-tech 1300mAh 3S 25C;

М1 – Двигатель Emax RS2205-2300;

С1 – Приемник Walkera RX701 2.4 G Transmitter.

Перечень элементов принципиальной электрической схемы представлен на листе 2 с шифром ФЮРА.421000.018 ЭЗ.

9 Разработка монтажной схемы АСР

Все основное оборудование устанавливается на платформе, которая состоит из рамы. На «лучах» рамы монтируются бесколлекторные двигатели, каждым из которых управляет отдельный регулятор. На платформе расположена микропроцессорная система совместно с закрепленными датчиками, такими как: барометр и инерциальная навигационная система, включающая в себя акселерометр, гироскоп. На раме также монтируется приемник радиосигнала и аккумуляторная батарея [32].

Схема подключения приведена на чертеже с шифром ФЮРА.421000.018 С4 Лист 1.

В первую очередь устанавливается полетный контроллер АРМ 2.6. При этом размещают его как можно ближе к центру рамы. Для установки данного модуля можно использовать клей.

Производится подключение полетного контроллера к регуляторам скорости двигателей. Для этого четыре ШИМ выхода подключаются к Hobbyking SS Series, как это показано на чертеже.

После этого производится подключение моторов к источнику питания. В остальных местах необходима будет спайка. Затем все детали затягиваются на термоусадке, чтобы во время сильной вибрации не произошло отсоединение контактов. Полетный контроллер так же через регулятор напряжения подключается к источнику питания. В приведенном проекте использовался источник питания 11,1 В.

В качестве электрических проводов в системах автоматического регулирования применяются провода с медными жилами. В качестве электропроводок АСР регулирования полета беспилотного летательного аппарата выбраны силовые провода марок ПВ1.

Провод силовой ПВ1 служит для присоединения электрических установок при стационарной прокладке в осветительных и силовых сетях, а также для монтажа электрооборудования, машин, механизмов и станков на

номинальное напряжение до 450 В частотой до 400 Гц или постоянное напряжение до 1000 В. Силовой провод ПВ1 выпускается с медной однопроволочной или многопроволочной жилой класса 1 для сечений от 0,5 до 10 мм² и класса 2 для сечений от 16 до 95 мм² по ГОСТ 22483. Изоляция силового провода выполнена из ПВХ-пластиката разных цветов: белого, серого, желтого, оранжевого, красного, розового, голубого, зелёного, коричневого, черного, фиолетового (для одножильных проводов сечением до 6 мм²). Жила заземления имеет изоляцию жёлто-зелёного цвета [32].

В ходе работы была спроектирована рабочая рама квадрокоптера. Разработка велась в программном обеспечении САПР SolidWorks. Сначала были сняты все геометрические характеристики форм и размеров используемой на борту аппаратуры, разрабатывалась геометрия основных посадочных мест для нее и электродвигателей. Затем были выбраны крепежные элементы для скрепления листов материала между собой и для придания будущей конструкции дополнительной прочности. Была разработана центральная платформа, как наиболее важная часть для установки датчиков положения, камеры и т.д. Была спроектирована основная часть луча, на котором устанавливаются контроллеры оборотов и электродвигатели. Лучи воспринимают в полете наибольшие нагрузки, из-за чего было решено использовать конструкцию из четырех взаимно перпендикулярных листовых деталей.

На рисунке 6 представлена рабочая рама квадрокоптера с размещенной на ней аппаратурой.

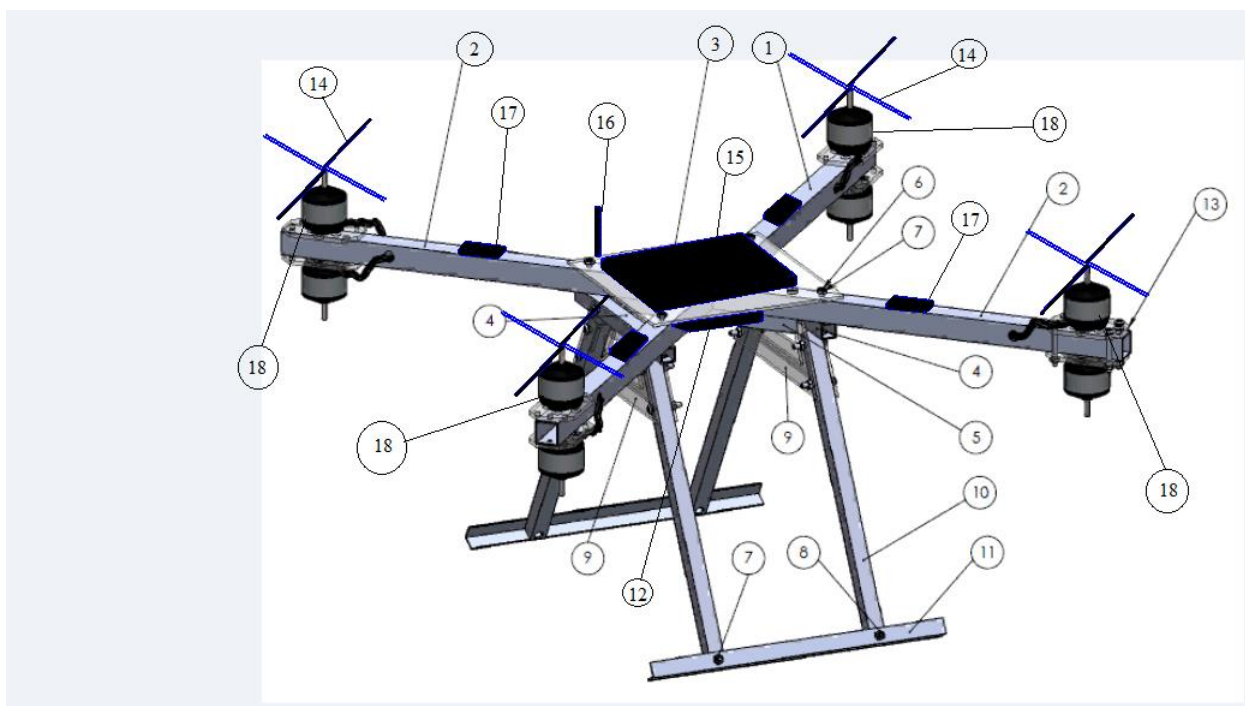


Рисунок 9 – Рама беспилотного летательного аппарата

Таблица 9 – Расшифровка позиций

Позиция	Обозначение
1	Луч квадрокоптера 430 мм
2	Луч квадрокоптера 430 мм
3	Пластина
4	Трубка 1
5	Шина
6	Болтовое соединение 1
7	Болтовое соединение 2
8	Болтовое соединение 3
9	Кронштейн
10	Трубка 2
11	Уголок
12	Аккумуляторная батарея
13	Мотормаунт
14	Несущие винты
15	Полетный контроллер
16	Канал телеметрии
17	Контроллеры скорости
18	Двигатели

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б3В	Таганов Александр Александрович

Институт	Энергетический	Кафедра	Автоматизации теплоэнергетических процессов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад инженера 10 разряда 17000 руб., научного руководителя (НР) – 30000 руб., районный коэффициент – 30%
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Отчисления на социальные нужды – 30 % от затрат на оплату труда, накладные расходы – 200 % от размера заработной платы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Перечень работ и оценка времени их выполнения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Смета затрат на оборудование и монтажные работы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

График проведения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.17
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. Менеджмент	Кузьмина Наталия Геннадьевна	ст. преподаватель		10.02.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б3В	Таганов Александр Александрович		10.02.17

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной выпускной квалификационной работе разработан и частично реализован алгоритм, позволяющий использовать инерциальную навигационную систему для автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа. Инерциальные навигационные системы – это дорогостоящие крупногабаритные сложные электромеханические системы. Инерциальная навигация является одним из наиболее перспективных методов автоматизации каких-либо действий с применением компьютерных технологий и робототехники. Достоинствами инерциальной навигации являются непрерывная выдача пользователю полного навигационного решения, возможность выдачи информации с высокой частотой, независимость от внешних источников информации.

10.1 Перечень работ и оценка времени их выполнения

Для определения материальных вложений, при разработке алгоритма позволяющего использовать инерциальную навигационную систему для автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа необходимо определить план продолжительности необходимых работ. Наиболее наглядным представлением стадий разработки проекта является построение графика Ганта [33].

Перечень и сроки выполнения работ представлены в таблице 10.

Таблица 10.1 – Перечень работ и их продолжительность по времени, распределение по исполнителям

Наименование работы	Исполнители		Кол-во дней
	Должность	Кол-во	
Выдача и получение задания	Инженер 10 р.	1	1

Продолжение таблицы 10.1

Анализ литературных данных	Инженер 10 р.	1	21
Обобщение результатов исследований, составление рекомендаций	Инженер 10 р.	1	9
	НР 16 р.	1	3
Описание объекта автоматизации, разработка структурной схемы	Инженер 10 р.	1	3
	НР 16 р.	1	1
Разработка функциональной схемы	Инженер 10 р.	1	8
Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации	Инженер 10 р.	1	11
Разработка принципиальной электрической схемы	Инженер 10 р.	1	6
	НР 16 р.	1	1
Разработка монтажной схемы внешних электрических проводок	Инженер 10 р.	1	6
	НР 16 р.	1	1
Разработка модели управления беспилотного летательного аппарата	Инженер 10 р.	1	9
	НР 16 р.	1	2
Финансовый менеджмент	Инженер 10 р.	1	12
Социальная ответственность	Инженер 10 р.	1	12
Составление пояснительной записки	Инженер 10 р.	1	21
Проверка пояснительной записки	НР 16 р.	1	3
Исправление ошибок и замечаний	Инженер 10 р.	1	3
Сдача проекта	Инженер 10 р.	1	1
Общее количество рабочего времени, потраченное каждым исполнителем	Инженер 10 р.	1	123
	НР 16 р.	1	11

График Ганта, приведенный на рисунке 1, строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-технического проекта на основе таблицы 1 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу [34].

Наименование работы	Исполнители	Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ														
			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Выдача и получение задания	Инженер 10 р.	1															
	НР 16 р.	1															
Анализ литературных данных	Инженер 10 р.	21															
Обобщение результатов исследований, составление рекомендаций	Инженер 10 р.	9															
	НР 16 р.	3															
Описание объекта автоматизации, разработка структурной схемы	Инженер 10 р.	3															
	НР 16 р.	1															
Разработка функциональной схемы	Инженер 10 р.	8															
Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации	Инженер 10 р.	11															
Разработка принципиальной электрической схемы	Инженер 10 р.	6															
	НР 16 р.	1															
Разработка монтажной схемы внешних электрических проводок	Инженер 10 р.	6															
	НР 16 р.	1															
Разработка алгоритма управления беспилотного летательного аппарата	Инженер 10 р.	6															
	НР 16 р.	2															
Финансовый менеджмент	Инженер 10 р.	12															
Социальная ответственность	Инженер 10 р.	12															
Составление пояснительной записки	Инженер 10 р.	21															
Проверка пояснительной записки	НР 16 р.	3															
Исправление ошибок и замечаний	Инженер 10 р.	3															
Сдача проекта	Инженер 10 р.	1															

Рисунок 10.1 – График проведения выпускной квалификационной работы

10.2 Материальные затраты

Материальные затраты принимаются в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

$$K_{\text{мат}} = 1000 \text{ руб.}$$

10.3 Амортизация компьютерной техники

Амортизация – это процесс переноса стоимости основных средств по мере их износа на создаваемую в процессе производства продукцию. Амортизация компьютерной техники $K_{\text{ам}}$ рассчитывается по формуле [36]:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (26)$$

где $T_{\text{исп.к.т}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

Календарное время принимается 365 дней. Срок службы компьютерной техники принимается 5 лет.

$$K_{\text{ам}} = \frac{123}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1684,93 \text{ руб.}$$

10.4 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату считается (для инженера и научного руководителя) по формуле:

$$K_{\text{з/пл}} = 3\Pi_{\text{инж}} + 3\Pi_{\text{НР}}, \quad (27)$$

где $3\Pi_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера;

$ЗП_{НР}$ – заработная плата научного руководителя.

$$K_{зп} = 138914,28 + 28514,28 = 168525,23 \text{ руб.}$$

Заработная плата в месяц считается по формуле:

$$ЗП_{мес} = ЗП_o \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (28)$$

где $ЗП_o$ – месячный оклад;

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск;

K_2 – районный коэффициент.

Месячный оклад для инженера принимается в размере 17 000 рублей, для профессора принимается в размере 30 000 рублей. Коэффициент, учитывающий отпуск принимается 1,1. Районный коэффициент принимается 1,3.

$$ЗП_{мес.инж} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{мес.НР} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 49900 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата – это плата, начисленная за отчетный период. Она рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n_{\phi}^{\phi}, \quad (30)$$

где $ЗП_{мес}$ – заработная плата в месяц;

21 – число рабочих дней в месяце;

n_{ϕ}^{ϕ} – фактическое число дней в работе.

$$ЗП_{ф.инж} = \frac{24310}{21} \cdot 123 = 142387,14 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{ф.инж} = \frac{49900}{21} \cdot 11 = 26138,09 \text{ руб.}$$

10.5 Социальные отчисления

Социальные отчисления – это обязательные отчисления предприятий во внебюджетные социальные фонды. К ним относятся отчисления [37]:

- 1) в пенсионный фонд;

- 2) в фонд социального страхования;
- 3) в фонд занятости;
- 4) в фонды обязательного медицинского страхования.

Социальные отчисления производятся предприятиями за счет себестоимости продукции (относятся к затратам на производство).

Затраты на социальные отчисления принимаются в размере 30 % от $K_{з/пл}$:

$$K_{с.о.} = 0,3 \cdot 168525,23 = 50557,57 \text{ руб.}$$

10.6 Прочие затраты

Прочие затраты – это элемент себестоимости продукта (работ, услуг), в котором отражаются налоги, сборы, платежи, включая необязательные виды страхования, отчисления в страховые фонды и другие обязательные отчисления [38]. Прочие затраты принимаются в размере 10 % от $K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о}$:

$$K_{пр} = (1000 + 1684,93 + 168525,23 + 50557,57) \cdot 0,1 = 22176,77 \text{ руб.}$$

10.7 Накладные расходы

Накладные расходы – это косвенные издержки предприятия, возникающие дополнительно к основным затратам предприятия по производству и реализации продукции, работ, услуг. Накладные расходы включают в себя [39]:

- 1) затраты на текущий ремонт зданий и сооружений, оборудования;
- 2) заработную плату, обучение и содержание административно-управленческого аппарата;
- 3) отчисления на уплату единого социального налога;
- 4) арендную плату за офис, склад продукции;

- 5) отчисления на социальное страхование и разного рода обязательные платежи;
- 6) затраты, связанные с эксплуатацией и содержанием основных средств;
- 7) содержание офиса, оплату коммунальных услуг;
- 8) расходы на услуги связи (телефон, интернет) и так далее.

Накладные расходы принимаются в размере 200 % от $K_{з/пл}$:

$$K_{накл} = 2 \cdot 168525,23 = 337050,46 \text{ руб.}$$

Таким образом, смета затрат составляет:

$$K_{\pi} = 1000 + 1684,93 + 168525,23 + 50557,57 + 22176,77 + 337050,46 = 580994,96 \text{ руб.}$$

Таблица 10.7 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1684,93
Затраты на заработную плату	168525,23
Затраты на социальные отчисления	50557,57
Прочие затраты	22176,77
Накладные расходы	337050,46
Итого	580994,96

10.8 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

Данные о стоимости оборудования, при внедрении инерциальной навигационной системы для автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа для диагностики оборудования приведены в таблице 12.

Таблица 10.8 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Полетный контроллер APM 2.6	1	2920	2920
Передатчик радиосигнала Walkera DEVO 7	1	1776	1776

Продолжение таблицы 10.8

Регулятор скорости вращения ротора двигателя Hobbyking SS Series18-20A ESC	4	450	1800
Приемник радиосигнала Walkera RX701 2.4 G Transmitter	1	1318	1318
Аккумуляторная батарея Turnigy nano-tech 1300mAh 3S 25C	1	830	830
Двигатели Emax RS2205-2300	4	848	3392
Модуль MPU 9250	1	720	720
Цифровой барометр GY – 65	1	638	638
Тепловизор FLIR C2	1	69900	69900
Зарядное устройство для Turnigy nano-tech 1300mAh	1	1120	1120
Персональный компьютер	1	25000	25000
Итого:	109414		

Затраты монтажные работы составляют 20 % от стоимости оборудования [35].

Тогда, затраты на работы по монтажу беспилотного летательного аппарата составляют 21882,8 рублей.

10.9 Определение экономической эффективности

В случае беспилотного летательного аппарата для диагностики оборудования предприятия об экономической эффективности говорить сложно, так как данная система является необязательной. Преимущества беспилотного летательного аппарата с системой инерциальной навигации состоят в автономности, помехозащищенности и возможности полной автоматизации всех процессов навигации. Благодаря малому размеру, беспилотные летательные аппараты выполняют полеты в труднодоступных местах, нахождение в которых представляет опасность для жизни человека.

Данная система особенно подходит для диагностики оборудования производств, имеющих дело с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, так как в случае аварии функционирование таких предприятий невозможно. Целью установки данной системы является не получение прибыли, а повышение безопасности станций и работающего на ней персонала.

Исходя из этого, рассчитаем объемы материальных затрат, необходимых для восстановления нефтепровода в случае крупной аварии, при условии, что данная система не будет установлена, и сравним данный показатель с затратами на создание проекта, которые включают в себя стоимость проведения научного исследования, затраты на оборудование и монтажные работы и составляют 686242,17 рублей.

В состав нефтепровода в общем случае входят:

- трубопровод с ответвлениями и лупингами, запорной арматурой, переходами через препятствия естественные и искусственные, узлами подключения нефтеперекачивающих станций, компрессорных станций, узлов замера расхода газа, пунктов редуцирования газа, узлами пуска и приема очистных устройств, конденсатосборниками, а также устройствами для ввода метанола;
- линии и сооружения технологической связи;
- здания и сооружения службы эксплуатации трубопроводов;
- пункты подогрева нефти и нефтепродуктов;
- противопожарные средства;
- ёмкости для хранения и разгазирования конденсата.

Примерные затраты на восстановление либо приобретение вышеперечисленных составляющих нефтепровода сведём в таблицу 10.9.

Таблица 10.9 – Смета затрат на восстановление нефтепровода в случае аварии

Статьи расходов	Сумма, руб.
Восстановление здания	3000000
Потеря нефти	2500000
Насосы в комплекте с приводами	500000
Узлы задвижек	200000
Детали трубопроводных коммуникаций	100000
Контрольно-измерительная аппаратура	1000000
Монтажные материалы	500000
Оплата труда работников	300000
Прерывание рабочей деятельности	1000000
Прочие затраты	200000
Итого	9300000

По примерным расчетам сумма затрат на восстановление нефтепровода в случае аварии превышает затраты на внедрение беспилотного летательного аппарата для диагностики оборудования в 13,5 раз. Данный показатель свидетельствует о целесообразности установки подобной системы, о ее необходимости и значимости.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗВ	Таганов Александр Александрович

Институт	Энергетический	Кафедра	Автоматизация теплоэнергетических процессов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования в данной работе является инерциальная навигационная система для автоматического управления мобильным транспортным средством, выполняющим диагностику теплоэнергетических объектов. Беспилотный летательный аппарат оснащен тепловизором и предназначен для тепловизионного обследования энергетического оборудования.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2 Анализ выявленных опасных факторов	В результате выполненной работы были выявлены следующие вредные факторы при разработке и эксплуатации системы: - электромагнитное излучение; - шумы и вибрации; - повышенная запыленность и загазованность; - повышенная концентрация углекислого газа в помещении. Возможные опасные факторы: - поражение электрическим током; - пожаро - и взрывоопасность. Для работы были использованы такие законодательные и нормативные документы, как: СанПин, СНиП, ГОСТ, НПБ.
2. Экологическая безопасность	Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие на атмосферный воздух (выбросы CO ₂ при работе оборудования). Для улучшения экологической обстановки будут разработаны методы минимизации ущерба окружающей среде.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	При описании опасных факторов, в данной работе указаны возможные ЧС, а также меры по предупреждению и оповещению о случившемся ЧС, приведены четкие регламентируемые требования по поведению персонала при возникновении ЧС и обязательной эвакуации.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	В данной работе также отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности (правильная компоновка рабочего места, вентиляция помещения, проведение инструктажей и прочее). рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.17
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экология и БЖД	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗВ	Таганов Александр Александрович		

11 Социальная ответственность

Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Это обязательство выходит за рамки установленного законом обязательства соблюдать законодательство и предполагает, что организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом.

Социальная ответственность — это объективная необходимость отвечать за нарушение социальных норм. Она выражает характер взаимоотношений между личностью и государством, обществом. Социальная ответственность — сложная научная категория, рассматриваемая многими общественными науками с разных точек зрения. В основе социальной ответственности — общественная природа поведения человека: поскольку он не может существовать вне общества, следовательно, его интересы и потребности могут быть реализованы только благодаря взаимодействию с обществом в целом и с отдельными его представителями в частности.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассмотрена и изучена инерциальная навигационная система для беспилотного летательного аппарата, выполняющего диагностику теплоэнергетических объектов. Инерциальная навигация является одним из наиболее перспективных методов автоматизации каких-либо действий с применением компьютерных технологий и робототехники. Достоинствами инерциальной навигации являются непрерывная выдача пользователю полного навигационного решения, возможность выдачи информации с высокой частотой, независимость от внешних источников информации.

В ходе работы был разработан алгоритм, позволяющий управлять беспилотным летательным аппаратом, определять необходимые

характеристики для управления объектом, такие как углы Эйлера, высота полета аппарата и передать эти данные системе, отвечающей за полет аппарата.

Разработанная система позволяет заблаговременно обнаружить неисправности и дефекты в оборудовании предприятия и принять меры по устранению потенциальной чрезвычайной ситуации. Данная разработка применяется для мониторинга оборудования, позволяет фиксировать даже незначительные очаги возгораний лесных массивов в пожароопасный период, используется при проведении спасательных операций для воздушной разведки, для аэрофотосъемки на заданной местности при составлении топографических карт высокой точности.

Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие на атмосферный воздух (выбросы CO₂ при работе оборудования).

К социальным вопросам на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и работы в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда — система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Одна из основных задач охраны труда заключается в обеспечении безопасности труда человека, т.е. создание таких условий труда, при которых исключается воздействие на людей опасных вредных производственных факторов.

Соблюдение правил и норм по безопасности жизнедеятельности необходимы для улучшения условий труда, а также позволяют обеспечить широкие возможности для высокой производительности.

Под техникой безопасности подразумевается комплекс мероприятий технического и организационного характера, направленных на создание безопасных условий труда и предотвращение несчастных случаев на производстве.

При разработке мер защиты от влияния вредных производственных факторов, необходимо дать описание применяемым мерам защиты с учетом требований нормативных документов.

Процесс изучения инерциальной навигационной системы и последующей работы с данной системой происходит за рабочим местом: персональным компьютером и беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа.

При работе с персональным компьютером и беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа выделяются следующие вредные и опасные факторы:

- электромагнитное излучение;
- воздействие шумов и вибраций;
- метеорологические условия работы в помещениях;
- уровень освещения в помещении;
- возникновения возгораний и пожаров;
- поражение электрическим током.

12 Производственная безопасность

12.1 Электробезопасность

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

Для обеспечения электробезопасности при работе с компьютером и беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа должны выполняться ряд требований.

Для обеспечения электропитания компьютеров должна быть смонтирована отдельная сеть электроснабжения. Периферийное оборудование компьютеров должно быть подключено только к линиям электроснабжения компьютерной сети.

Не допускается включение электропотребителей, неотносящихся к компьютерам (настольные лампы, вентиляторы и т. д.) в линии электроснабжения компьютерной сети.

Для обеспечения электропитания беспилотного летательного аппарата должна быть смонтирована отдельная сеть электроснабжения для зарядки аккумуляторной батареи аппарата.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током все оборудование на рабочем месте должно быть, согласно требованиям ПУЭ, подключено к защитному заземлению, если такое подключение предусмотрено конструкцией оборудования.

Не допускается использование оборудования с открытыми корпусами, если это не является основным режимом работы оборудования.

Обслуживание оборудования рабочих мест должно производиться подготовленным персоналом, имеющим квалификацию инженера (техника), или сторонней специализированной организацией.

Электрические розетки системы электропитания должны располагаться таким образом, чтобы кабели электропитания оборудования, расположенного на рабочем месте, не пересекали рабочее место (были направлены от места расположения пользователя).

12.2 Шум и вибрация

Шумом называют сочетанием звуков различной частоты и интенсивности. Длительное воздействие шума негативно сказывается на здоровье человека. Происходит снижение остроты слуха, повышение артериального давления, следствием чего может быть возникновение сердечнососудистых заболеваний. Так же приводит к понижению внимания и в результате всего перечисленного снижается производительность труда и ухудшается качество работы.

Основные источники шума в комнатах, где расположено рабочее место, - плоттеры, принтеры, множительная техника и оборудование для

кондиционирования воздуха и вентиляции помещений, винты беспилотного летательного аппарата, а так же трансформаторы.

Для того чтобы снизить уровень шума и вибрации в помещениях вычислительных центров, необходимо вычислительное оборудование и аппараты располагать на амортизирующие прокладки и специальные фундаменты, которые предусмотрены нормативными документами.

На рабочем месте уровень шума не должен достигать 50 дБА. Нормируемый уровень шума обеспечивается путем применения малоз шумного оборудования, использования звукоизолирующих материалов (специальные перфорированные плиты, минераловатные плиты, панели).

Более того, рекомендуется использовать подвесные акустические потолки. Если уровень шума оборудования превышает нормированное значение, то шумящее оборудование должно находиться вне помещения с вычислительной техникой.

Если в производственных помещениях для работы используются преимущественно персональные компьютеры (диспетчерские, операторские, расчетные и др.), то эти помещения не должны быть рядом с помещениями, в которых превышаются нормируемые значения уровня шума и вибрации [40].

12.3 Пожарная безопасность

Противопожарная защита — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Система предотвращения пожара и система пожарной защиты обеспечивают пожарную безопасность. В каждом служебном помещении обязательно должен находиться «План эвакуации людей при пожаре», предусматривающий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения техники пожаротушения.

Пожары представляют особую опасность, так как несут за собой большие материальные потери.

Горючими компонентами в вычислительных центрах являются: перегородки, двери, полы, изоляция кабелей, строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений и т. д.

Источниками зажигания в вычислительных центрах могут быть электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, в которых в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Для большинства помещений вычислительных центров установлена категория пожарной опасности В.

12.4 Метеорологические условия работы в помещениях

Под метеорологическими условиями понимаются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха. Для этих параметров для рабочей зоны устанавливаются оптимальные и допустимые параметры.

Метеорологические условия на рабочих местах в помещениях с вычислительной техникой должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 12.4.

Таблица 12.4 – Микроклимат производственных помещений

Период года	Температура а воздуха, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	22...24	до 0,1	40...60
Теплый	23...25	0,1...0,2	40...60

Воздух, который поступает в рабочее помещение операторов ЭВМ, очищается от загрязнений от микроорганизмов и пыли. Патогенной микрофлоры быть не должно.

При кондиционировании воздуха необходимо обеспечить поддержание параметров микроклимата в требуемых пределах в течение каждого сезона года, максимально очистить воздух от пыли и вредных веществ, создать необходимое избыточное давление в чистом помещении для того, чтобы исключить поступление неочищенного воздуха. При этом подаваемый воздух должен иметь температуру не ниже 19 °С.

Температура воздуха в помещении должна регулироваться, учитывая наличие тепловых потоков от различного оборудования. При выборе оборудования предпочтение должно отдаваться оборудованию с меньшей электрической мощностью. Его необходимо устанавливать таким образом, чтобы тепловые потоки от него не были направлены в сторону операторов. Также рекомендуется уменьшать число вычислительных машин в помещении и избегать установки напольных систем отопления [41].

Пол в помещениях должен обладать ровной, нескользкой поверхностью, удобной для очистки и влажной уборки, без выбоин. Покрытия рабочих столов и пола должны обладать антистатическими свойствами и сохранять их в процессе эксплуатации. В помещениях ежедневно должна проводиться влажная уборка.

Важное место в комплексе мероприятий по созданию условий труда, работающих с ПЭВМ, занимает создание оптимальной световой среды, т.е.

рациональная организация естественного и искусственного освещения помещения и рабочих мест.

Помещения, предназначенные для размещения рабочих мест пользователей персональных компьютеров, должны иметь естественное и искусственное освещение.

Естественное освещение помещений, предназначенных для размещения рабочих мест, должно осуществляться через световые проемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток [41].

В случае иной ориентации световых проемов, необходимо предусматривать эффективные средства регулирования интенсивности естественного освещения.

Оконные проемы в помещениях, предназначенных для использования компьютеров, необходимо оборудовать устройствами регулирования интенсивности естественного освещения типа жалюзи, внешних козырьков и др.

Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Для использования в качестве источников местного освещения пригодны светильники, позволяющие избежать возникновения ослепления и бликов (с возможностью регулирования пространственного положения) [41].

Местное освещение на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана.

В качестве источников света, при искусственном освещении, должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп мощностью до 250 Вт. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения.

Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении рабочих мест. При периметральном расположении рабочих мест линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к пользователю [41].

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

12.5 Электромагнитное излучение

Повышенный уровень электромагнитных излучений и его оценка проводится при выполнении работ с любым электрическим оборудованием.

Персональный компьютер является источником широкополосных электромагнитных излучений:

- мягкого рентгеновского;
- ультрафиолетового 200-400 нм;
- видимого 400-750 нм;
- ближнего ИК 750-2000 нм;
- радиочастотного диапазона 3кГц;
- электростатических полей.

Беспилотный летательный аппарат мультироторного типа является источником электромагнитных излучений:

- радиочастотного диапазона 2,4 кГц;
- электростатических полей.

Таблица 12.5 – Требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера

Параметр	ПДУ
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 5 см от монитора	100 мкР/час
Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 0,005...2 кГц 2...400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность потока магнитной индукции на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 0,005...2 кГц 2...400 кГц	250 нТл 25 нТл
Эквивалентный поверхностный электростатический потенциал экрана монитора	500 В

Требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения беспилотного летательного аппарата такие же, как требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера, потому что основная работа с аппаратом проводилась в непосредственной близости.

Основную опасность для здоровья пользователя (и находящихся вблизи от ПК лиц) представляет электромагнитное излучение в диапазоне 20...400 кГц, создаваемое отклоняющей системой кинескопа и видеомонитора. Многочисленные экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии

ЭМП на живой организм (на молекулярном и клеточном уровне) – нервную, эндокринную, иммунную и кроветворную системы организма.

Самой опасной является низкочастотная составляющая ЭМП (до 100 Гц), способствующая изменению биохимической реакции крови на клеточном уровне. Это приводит к возникновению у человека симптомов раздражительности, нервного напряжения и стресса, вызывает осложнения в течение беременности и увеличение в несколько раз вероятности выкидышей, способствует нарушению репродуктивной функции и возникновению рака.

Видеомонитор создает вокруг себя ЭМП как низкой, так и высокой частоты, что способствует появлению электростатического поля и ведет к деионизации воздуха вокруг, а это влияет на развитие клеток тканей организма, увеличивает вероятность возникновения катаракты.

В целях предосторожности следует обязательно использовать защитные экраны, а также рекомендуется ограничивать продолжительность работы с экраном ВДТ, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если на них не работают.

Наряду с этим нужно устанавливать в помещении с ВДТ ионизаторы воздуха, чаще проветривать помещение и хотя бы один раз в течение рабочей смены очищать экран от пыли.

12.6 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды на промышленном предприятии может произойти в результате аварии или повреждения оборудования. Изучаемая инерциальная навигационная система предназначена для автоматического управления робототехническим комплексом, выполняющим диагностику энергооборудования. Беспилотный летательный аппарат, оснащенный тепловизором, позволяет обследовать такие соединения, как трансформаторы, автоматы, выключатели, и др. Также тепловизор позволяет

оценить целостность труб, что помогает предотвратить возможные аварии [42].

На электростанции есть вероятность утечек токсичных веществ, как в окружающую среду, так и внутри самого предприятия. Токсичное вещество может нанести серьезный отравляющий вред персоналу и окружающей среде.

Обладая описанными возможностями, данный аппарат может быть использован на электростанции или другом промышленном предприятии. Использование аппарата позволяет улучшить контроль над технологическим процессом, что сокращает аварии на предприятии. Вследствие этого уменьшаются риски загрязнения окружающей среды, что уменьшает напряженность в ОС [42].

Каждое предприятие имеет корпоративную социальную ответственность, а значит обязано следить за экологической ситуацией не только на занимаемой территории, но и в располагающемся городе, а так же во всем мире.

12.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Конституция РФ обладает высшей юридической силой в Российской Федерации. Прежде всего, Конституция РФ содержит нормы, закрепляющие основные права участников трудовых отношений[43]. Так, в статье 37 закрепляются:

- 1) принцип свободы труда и запрет принудительного труда;
- 2) право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены;
- 3) право на вознаграждение за труд, а также на защиту от безработицы;
- 4) право на индивидуальные и коллективные трудовые споры, включая право на забастовку;

- 5) право на отдых, которое включает гарантии продолжительности рабочего времени, установленной законом, выходные и праздничные дни, оплачиваемый ежегодный отпуск.

Кроме того, статья 30 Конституции РФ закрепляет право на свободу объединения в профессиональные союзы.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рассматривают следующие пункты:

- 1) специальные правовые нормы трудового законодательства;
- 2) организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования.

12.7.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Каждый работник имеет право на:

- 1) рабочее место;
- 2) обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве;
- 3) отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для жизни и здоровья;
- 4) обеспечение средствами индивидуальной защиты;
- 5) обучение безопасным методам и приемам труда.

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом – формирование у индивида социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира.

Как итог работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятий (корпоративная социальная ответственность) и указаны задачи по сохранению и улучшению окружающей среды;
- рассмотрена личная социальная ответственность индивида;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;
- отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

12.7.2 Законодательное регулирование проектных решений

В целях общего поддержания безопасности на объекте организовываются следующие мероприятия:

- планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне предприятия;
- создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;
- выявление угроз пожара и оповещение персонала;
- подготовка работающих к действиям в условиях ЧС;
- подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

Предприятие эксплуатируется и оборудуется согласно основными правовыми нормами:

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

- ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92);
- ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89);
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12. 2. 003 - 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 17. 4. 3. 04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

В соответствии с нормами был проведен анализ вредных и опасных факторов рабочего места и способах их устранения. Для благоприятной работы уровень шума не должен превышать 60дБА. В помещении должно быть установлено оборудование, поддерживающие микроклимат рабочей зоны (вентиляторы, обогреватели, вентиляция и т.п.). Для предотвращения поражения электрическим током используется изоляция токопроводящих частей. Для предотвращения ЧС рабочее помещение должно быть оборудовано средствами сигнализации возникновения чрезвычайных ситуаций, а также средствами пожаротушения: пожарные краны, система автоматического пожаротушения, огнетушители.

Заключение

Беспилотные летательные аппараты типа мультикоптер являются перспективным направлением использования в теплоэнергетике. БПЛА нашли широкое применение в мониторинге больших площадей или определенных территорий, применение беспилотных летательных аппаратов в теплоэнергетических расчетах, имеющих в своем распоряжении тепловизоры, и способных выполнять мониторинг объектов для фиксации утечек тепла, для визуального контроля любых труднодоступных высотных объектов, линий электропередач и утечек токов. Основными достоинствами БПЛА является маневренность и доступность мониторинга на труднодоступных объектах.

Для адекватной работы мультикоптера необходимо оптимально настроить регуляторы в системе автоматического управления летательным аппаратом.

Список использованных источников

- 1 Эффективность автоматизации производственных процессов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://vunivere.ru/work13427>.
- 2 Инерциальная навигационная система [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/90559>.
- 3 Квадрокоптеры и дроны [Электронный ресурс]. Википедия электронная энциклопедия. / Режим доступа: <http://kvadrokoptyery.com>.
- 4 Области применения беспилотников [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia>.
- 5 Виды квадрокоптеров [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://bazaar.ru/blog>.
- 6 Базовые принципы полета квадрокоптера [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://kvadrokoptyery.com>.
- 7 ДРОНСТРОЙ: Квадрокоптеры [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://dronestroy.ru>.
- 8 Применение БПЛА в энергетике [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.slideshare.net/phoenixbk/ss-23021219>.
- 9 Теплоснабжение в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
- 10 Quad-Sim [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/48053-quad-sim/all_files.
- 11 Моделирование динамики полета квадрокоптера [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-dinamiki-poleta-kvadrokoptyera>.
- 12 Quadcopter Project [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/aeroblks/examples/quadcopter-project.html>.
- 13 Разработка алгоритмов управления квадрокоптером в MATLAB [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://matlab.ru/webinars/razrabotka-algorimtov-upavreniya-kvadrokopterom-v-matlab-i-simulink>.

14 Разработка и реализация ПИД - регуляторов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://matlab.ru/solutions/application/control-systems/pid-control>.

15 Обзор квадрокоптеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quadrocoptery.ru>.

16 А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие.– Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета, 2011.–108 с.

17 Метод стабилизации положения и управления квадрокоптером в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39288>.

18 Техническая документация и сертификаты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russia.ni.com/datasheet>.

19 Полетный контроллер APM 2.6, обзор и инструкция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mysku.ru/blog/china-stores/26614.html>.

20 CopterTime: Аппаратура управления Futaba 14SG. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coptertime.ru/rx-tx/transmitters/futaba-14sg>.

21 WALKERA DEVO - 7 2.4 ГГц 7 - канальный передатчик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rcmax.ru/index.php?route=product/product&product_id=561.

22 Hobbypower ESC-30A. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ebay.com/itm/Hobbypower-SimonK-30A-ESC-Brushless-Speed-Controller-for-Multi-rotor-Quadcopter-/331410375460>.

23 Регулятор оборотов Hobbyking SS Series 18-20A ESC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.parkflyer.ru/ru/product/6457>.

24 Аккумуляторы ROBITON. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robiton.ru/product/13118>.

25 TURNIGY NANO-TECH 1300MAH 3S 25~50C LIPO AIRSOFT PACK. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hobbyco.ru/lipo-life-nimh-akkumulyatory/25c-razryada/turnigy-nano-tech-1300mah-3s-2550c-lipo-airsoft-pack-ng1300a3s25>.

26 A2212 1000KV Brushless Motor For RC Airplane Quadcopter. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.banggood.com/Wholesale-XXD-A2212-1000KV-Brushless-Motor-For-RC-Airplane-Quadcopter-p-57432.html>

27 Emax rs2205-2300 2205 2300kv гоночное издание CW / CCW двигатель для FPV Multicopter. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.banggood.com/ru/Emax-RS2205-2300-Racing-Edition-CWCCW-Motor-For-FPV-Multicopter-p-1028793.html>.

28 Терраэлектроника: MPU-9250, INVENSENSE INC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.terraelectronics.ru/catalog_info.php.

29 Датчик атмосферного давления ms5611. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.farpost.ru/vladivostok/tech/electronics/ms5611-modul-datchik-atmosfernogo-davleniya-vysoty-arduino-g120086778.html>.

30 Техническое описание GY-65 датчика давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/gy-65-datchik-davleniya_84550.html.

31 Описание принципиальной электрической схемы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.kazedu.kz/referat/84576/8>.

32 Проектирование монтажной схемы [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studbooks.net/proektirovanie_montazhnoy_shemy.

33 Финансовый менеджмент [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.grandars.ru/student/fin-m/finansovyy-menedzhment.html>.

34 Ресурсосбережение [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/resursosberezhenie/>.

35 Назначение, типы и порядок разработки смет [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/4_154948_naznachenie-tipi-i-poryadok-razrabotki-smet.html.

36 Амортизация основных средств [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/2_589_amortizatsiya-osnovnih-sredstv.html.

37 Финансовый анализ. Социальные отчисления [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://1-fin.ru/?id=281&t=1374>.

38 Прочие затраты [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://gufo.me/content_eco/prochie-zatraty-51471.html.

39 Финансовый анализ. Накладные расходы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://1-fin.ru/?id=281&t=320>.

40 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/1_96428_vidi-i-sistemi-osveshcheniya.html.

41 ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913>.

42 Экологическая безопасность [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/4_177998_ekologicheskaya-bezopasnost.html.

43 Источники трудового права [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/15_125854_tema--istochniki-trudovogo-prava.html.

Приложение А Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во
1	2	3	4
1а	Семиканальный передатчик, рабочая частота 2.4 ГГц. «Walkera Technology Co», Китай	Walkera DEVO 7-2.4 G	1
2а			1
2.4 ГГц	Приемник радиосигнала, рабочая частота 2.4 ГГц. «Walkera Technology Co», Китай	Walkera RX701 2.4 G	
3а			4
5 В			
4а	Регулятор скорости двигателей, максимальный рабочий ток: 18 А, максимальный допустимый ток: 20 А. «Hobbyking», Китай	Hobbyking SS Series 18-20A ESC	4
		Emax RS2205-2300	
5а	Мотор для мультикоптера, мощность 114 Вт, максимальная тяга: 1024 гр. «EMAX USA Inc», США		1
10 м		RKP MPU 9250	
6а	Модуль 3-х осевого гироскопа и акселерометра, диапазон измерения гироскопа $\pm 250... \pm 2000$ градусов в секунду, класс точности 0,015, диапазон измерения акселерометра $\pm 2... \pm 16$ g, класс точности 0,25.		1
2.4 ГГц			
7а	«RobotShop Inc», Канада		1
	Канал телеметрии		
	Персональный компьютер		
ФЮРА.421000.018 СО1			

<i>Исполн.</i>	<i>Таганов А.А.</i>			<i>Спецификация приборов и средств автоматизации</i>	<i>Ста</i>	<i>Лист</i>	<i>Листо</i>
<i>Пров.</i>	<i>Медведев</i>				<i>ТРП</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
					<i>ТПУ ЭНИН</i>		