

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Куанышбаев Абылай Галымжанович

«Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов
мощностью 4,0 кВт»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ,
канд. техн. наук

 Таштай Е.Т.

« 31 » / 05 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка привязных беспилотных летательных аппаратов
мощностью 4,0 кВт»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering


Выполнил

Куанышбаев А.

Рецензент:

доктор PhD, доцент

АУЭС им.Г.Даукеева

 Сагындыкова А.Ж.

« 27 » / 05 2024 г.

Научный руководитель:

доктор техн.наук, профессор

каф.ЭТиКТ

 Исембергенов Н.Т.

« 27 » / 05 2024 г.

Алматы 2024

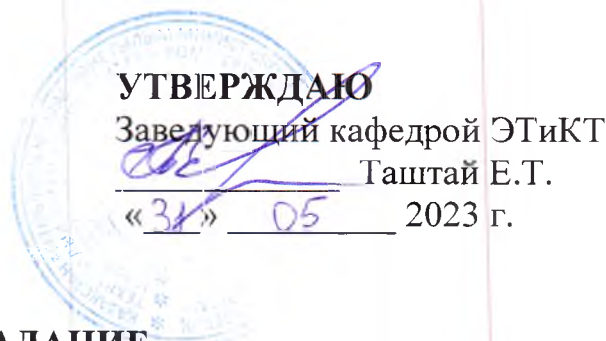
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

Гаштай Е.Т.

«31» 05 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Куанышбаев Абылай Галымжанович

Тема: «Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов
мощностью 4,0 кВт».

*Утверждена приказом Ректора Университета № 548 П/О от «4»
декабря 2023 года.*

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

- а) Суммарная мощность двигателей – 4 кВт;
- б) Рама дрона 680 мм;
- в) Полетный контроллер SpeedyBee f405 V3;

Краткое содержание к дипломной работе:

- а) Подбор комплектующих для будущей модели БПЛА;
- б) Проектирование многофункционального БПЛА для видеозаписи и наземной дрон станции для него;
- в) Программирование БПЛА на работу от дистанционного пульта с режимом аварийной посадки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 10-15 слайдов презентации работы.

- 1. Компьютерное моделирование БПЛА.
- 2. Чертежная схема многофункционального БПЛА.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

4. Структура и программная часть проектирования БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee.

Список литературы:

1) Tethered UAV Systems and Swarm Robotics - в этом всеобъемлющем систематическом обзоре рассматриваются последние достижения в области привязных беспилотных систем, освещаются различные сферы применения, методы приведения в движение и решения по передаче энергии. В обзоре подчеркивается использование высоковольтной передачи энергии постоянного тока в качестве преобладающего метода и обсуждаются последствия различных методов управления, таких как схема пропорционально-интегрально-дериwативного (ПИД) управления (MDPI).

2) Reference Generator for a System of Multiple Tethered UAVs - В этой статье рассматривается использование модельного прогнозирующего контроллера для оптимизации траекторий БПЛА при привязке к наземной станции, в частности, для инспекционных приложений. В нем описывается, как привязные системы могут повысить операционные возможности, обеспечивая безопасную и контролируемую навигацию на больших площадях (MDPI).


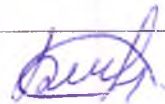
3) The Tethered Multi-Rotor UAV and Its Application in Tactical Communication - Эта публикация посвящена использованию привязных многороторных БПЛА в тактической связи. В ней подчеркивается, что привязная конструкция способствует устойчивому и стабильному полету, что является преимуществом при создании беспроводных ретрансляционных платформ для тактической связи, анализируя расширение зоны покрытия связи с помощью тактических радиостанций (Directory of Open Access Journals - DOAJ).


ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Компьютерное моделирование режимов работы беспилотных летательных аппаратов	10.01.2024 - 20.01.2024 г.	Выполнено
Проектирование многофункционального дрона для видеозаписи и наземной дрон станции	20.01.2024-10.03.2024 г.	Выполнено
Проектирование БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee f405 v3	11.03.2024 - 28.04.2024 г.	Выполнено
Заключение	01.04.2024 - 10.05.2024 г.	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Ассоциированный профессор, доктор технических наук Исембергенов Н.Т.	20.05.2024	
Нормоконтролер	Ассистент каф. ЭТиКТ, маг. техн. наук Акылжан П.	31.05.2024	

Научный руководитель  Исембергенов Н.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся  Куанышбаев А.

Дата «30» 05 2024 г.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается процесс разработки привязанных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с мощностью двигателя 4,0 кВт. Привязанные БПЛА представляют собой тип дронов, которые подключены к источнику питания через кабель, что позволяет им длительное время находиться в воздухе без необходимости перезарядки аккумуляторов. Основное внимание в работе уделено аспектам конструкции, выбору компонентов и систем управления, обеспечивающих оптимальную стабильность и управляемость аппаратов.

Во введении описывается направление, актуальность, цель и задачи работы. В 1 главе описывается обзор существующих привязных беспилотных летательных аппаратов. Во 2 главе рассмотрены компьютерное моделирование и подбор комплектующих для БПЛА, а так же особенности построения многофункционального дрона и дрон станции. В 3 главе рассмотрено конструктивное и программное построение БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee. В заключительной части подводятся итог по всей проведенной работе.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста қозғалтқыштың қуаты 4,0 кВт болатын ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ұшқышсыз ұшу аппараттарын) әзірлеу процесі қарастырылады. Байланыстырылған БПЛА-бұл кабель арқылы қуат көзіне қосылған дрондардың бір түрі, бұл оларға батареяларды қайта зарядтамай-ақ ұзақ уақыт ауада болуға мүмкіндік береді. Жұмыстың негізгі бағыты дизайн аспектілеріне, құрылғылардың оңтайлы тұрақтылығы мен басқарылуын қамтамасыз ететін компоненттер мен басқару жүйелерін таңдауға бағытталған.

Кіріспеде жұмыстың бағыты, өзектілігі, мақсаты мен міндеттері сипатталған. 1-тарауда қолданыстағы ұшқышсыз ұшу аппараттарына шолу сипатталған. 2-тарауда компьютерлік модельдеу және ұшқышсыз ұшу аппараттарына арналған компоненттерді таңдау, сондай-ақ көпфункционалды дрон мен станция дрон құрылысының ерекшеліктері қарастырылған. 3 тарауда SpeedyBee ұшу контроллері негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының конструктивті және бағдарламалық жасақтамасы қарастырылған. Қорытынды бөлімде жүргізілген барлық жұмыстар бойынша қорытынды шығарылады.

ANNOTATION

This thesis examines the development process of tethered unmanned aerial vehicles (UAVs) with a 4.0 kW engine power. Tethered UAVs are a type of drone that are connected to a power source via a cable, which allows them to stay in the air for long periods of time without the need to recharge their batteries. The focus of the paper is on design aspects, component selection and control systems to ensure optimal stability and controllability of the vehicles.

The introduction describes the direction, relevance, goal and objectives of the work. Chapter 1 describes a review of existing tethered unmanned aerial vehicles. Chapter 2 considers computer modeling and selection of components for UAV, as well as the features of the construction of multifunctional drone and drone station. Chapter 3 deals with structural and software construction of UAV based on SpeedyBee flight controller. The final part summarizes the results of the work.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Обзор и применение привязных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)	4
2 Техническая разработка и интеграция систем БПЛА	9
2.1 Компьютерное моделирование режимов работы беспилотных летательных аппаратов	9
2.2 Конструирование многофункционального дрона для высококачественной аэросъемки и видеозаписи и наземной дрон станции для привязных беспилотных летательных аппаратов	17
3 Проектирование БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee f405 v3	23
Заключение	31
Список используемой литературы	32

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БПЛА) занимают особое место в арсенале технологических решений, предлагаемых для широкого спектра применений — от сельского хозяйства до оборонной промышленности. Особый интерес представляют привязанные БПЛА, которые обеспечивают устойчивую работу в пределах определенной территории благодаря физическому соединению с землей. Такая привязь позволяет использовать более мощные источники энергии и системы управления, что значительно расширяет их функциональные возможности по сравнению с традиционными БПЛА.

Целью данной дипломной работы является разработка привязанного беспилотного летательного аппарата с электрической мощностью 4,0 кВт. Эта мощность обеспечивает значительные преимущества в плане продолжительности полета и полезной нагрузки, что делает такой аппарат идеальным для выполнения задач, требующих высокой энергетической емкости и стабильности положения в воздухе — например, длительное наблюдение или мониторинг территорий.

Для достижения поставленных задач были определены следующие основные этапы работы:

- Исследование теоретических аспектов аэродинамики, механики полета и энергетических систем привязных БПЛА.
- Анализ существующих технологий и разработок в данной области для выявления наиболее эффективных решений и компонентов.
- Проектирование и создание прототипа БПЛА, включая выбор материалов, конструкцию и систему управления.
- Проведение серии испытаний для оценки эффективности и надежности разработанного аппарата.

Эта работа способствует дальнейшему развитию технологий в области БПЛА, расширяя возможности их применения в различных сферах деятельности и способствуя техническому прогрессу.

1 Обзор и применение привязных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

История беспилотных летательных аппаратов уходит своими корнями в конец 19 и начало 20 века, когда Никола Тесла представил миру своё изобретение — маленькое радиоуправляемое летательное средство. Сегодня дроны находят применение во множестве областей, включая доставку, картографию и инспекцию инфраструктур.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), известные также как дроны, стали одним из ключевых элементов современных технологических разработок. Их применение охватывает широкий спектр областей от военных операций и мониторинга окружающей среды до сельскохозяйственных операций и доставки товаров. Развитие БЛА способствовало возникновению новых подходов в многих отраслях, включая гражданскую авиацию, геодезию, киноиндустрию и многие другие. Прогресс в материаловедении, электронике и искусственном интеллекте привел к значительному снижению стоимости и улучшению функциональности дронов, делая их доступными для широкого круга пользователей и различных задач.

Проведем некоторую классификацию беспилотных летательных аппаратов по конструктивным особенностям с указанием их влияния на спектр решаемых этими аппаратами задач:

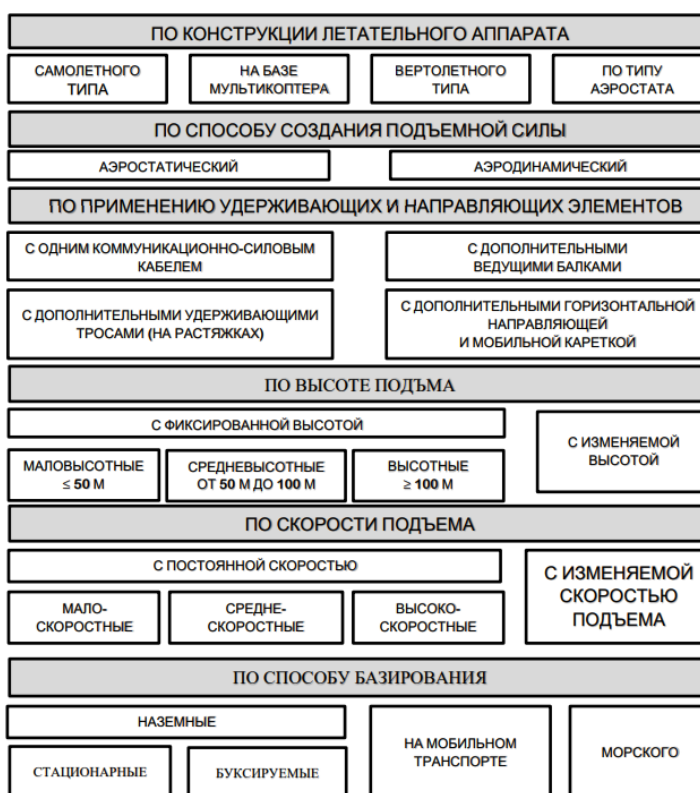


Рисунок 1.1 – Классификация беспилотных летательных аппаратов

Самолеты — эти БПЛА имеют одно или несколько крыльев, закрепленных на корпусе, что обеспечивает высокие аэродинамические свойства и высокую скорость и дальность полета. Однако они менее маневренны по сравнению с другими типами БЛА и требуют опытного оператора из-за сложности управления, что увеличивает риск аварии.

Мультикоптеры — эти коптеры произвольной формы оснащены разным количеством пропеллеров (обычно от 2 до 8), что обеспечивает простое управление и высокую маневренность. Однако они обладают низкой скоростью и продолжительностью полета.

Вертолеты — эти БПЛА имеют один или несколько пропеллеров и обеспечивают возможность длительного пребывания в воздухе и подвешивания.

Конвертопланы — эти БПЛА могут вертикально взлетать и садиться, а затем летать как обычные самолеты, опираясь на крыло.

Планеры — это БПЛА, которые либо не имеют двигателя, либо имеют маломощный двигатель, что не обеспечивает самостоятельный взлет и полет, но позволяет корректировать траекторию и курс движения.

Тейлситтеры — это БПЛА, который меняет свое положение на горизонтальное в воздухе и продолжает летать как самолет. При приземлении аппарат снова принимает вертикальное положение.

Привязные беспилотники - этот тип БПЛА разработан для отделения от него аккумулятора, что позволяет им оставаться в воздухе неделями. Они не способны перемещаться на большие расстояния, но могут висеть в воздухе, что делает их незаменимыми в задачах наблюдения или ретрансляции сигналов.

Развитие технологии привязных беспилотных летательных аппаратов стало значительным прорывом в этой области. Привязные дроны особенно полезны в ситуациях, когда необходимо осуществлять постоянное наблюдение за территорией на протяжении длительного времени.

Привязные дроны устраняют необходимость в постоянной подзарядке, поскольку они напрямую соединены с наземным источником питания или аккумулятором. Станция питания может быть размещена в труднодоступных или удаленных местах, а дрон связан с этим блоком питания кабелем, который удерживает аппарат на фиксированной позиции. Привязные дроны обычно находятся в воздухе над станцией питания и не перемещаются в воздушном пространстве. Они могут быть оснащены следующим оборудованием:

1. Наблюдение за территорией: Современные камеры с возможностью вращения на 360 градусов позволяют осуществлять тщательный осмотр местности, что идеально подходит для долгосрочного мониторинга и оценки ситуации в труднодоступных районах.

2. Телекоммуникация: Привязные дроны могут также выполнять роль антенн, ретрансляторов или базовых станций для сотовой связи, обеспечивая связь в условиях, когда земные средства оказываются неэффективными из-за топографических ограничений планеты. Это особенно актуально для восстановления связи в районах, пострадавших от стихийных бедствий или

техногенных аварий, а также для обеспечения связи в местах поисковых операций при пропаже людей.

Привязные БПЛА предоставляют ряд преимуществ, упрощающих их эксплуатацию такие как:

-Безопасность: ограниченный радиус перемещения или полная статичность аппарата уменьшает риск столкновения с другими объектами в воздушном пространстве.

-Упрощенное управление: управление привязным дроном не требует сложного обучения, так как беспилотник фиксирован тросом и имеет ограниченные возможности маневрирования.

-Продолжительное время полета: в отличие от автономных БПЛА, которые могут находиться в воздухе до 40 минут, привязные дроны могут летать теоретически неограниченное время, ограничиваемое только работоспособностью пропеллеров и коммуникационного оборудования.

-Качество связи: связь с дроном может осуществляться через кабель, что обеспечивает стабильное и высококачественное соединение с наземным оператором, в отличие от возможных помех при беспроводной связи.

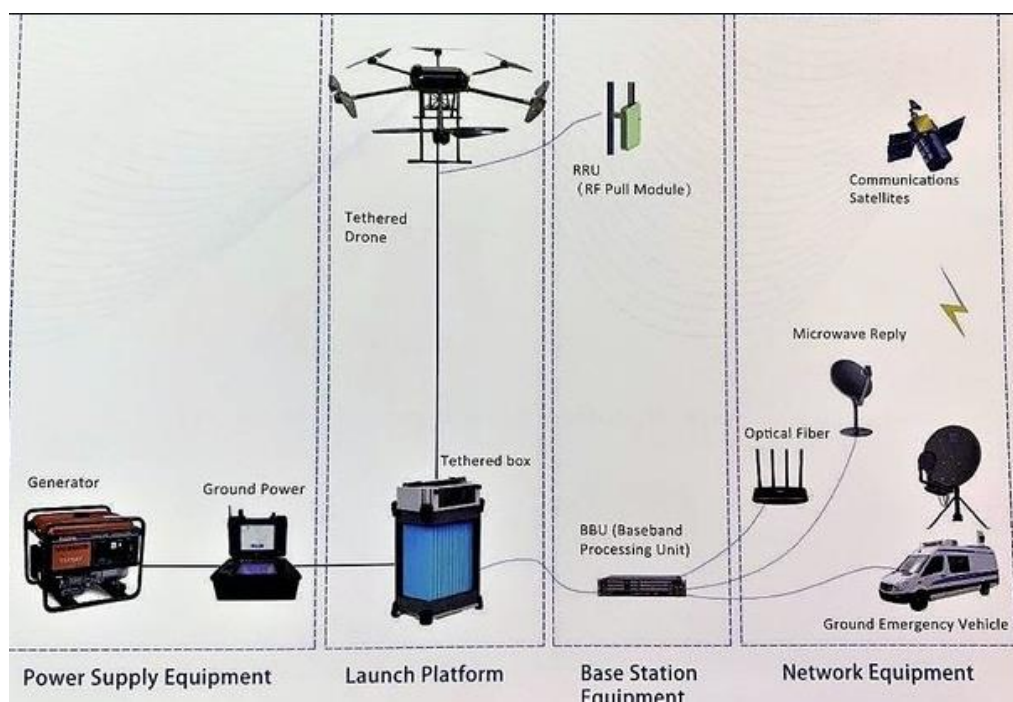


Рисунок 1.2 – Пример конструкции летающей базы привязного летающего аппарата

Привязанные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой устройства, которые ограничены в своей области действия географическими или программными ограничениями. Это может включать в себя гео-фенсинг (ограничение полетов по географическим координатам), программные ограничения на высоту полета или другие методы контроля.

Такие ограничения обычно используются для обеспечения безопасности и соблюдения законодательства в отношении полетов, а также для предотвращения возможных проблем, связанных с приватностью и безопасностью.

Обзор таких БПЛА должен включать оценку их эффективности в контроле их полетов в соответствии с установленными правилами и нормативами, а также их способности к выполнению задач в рамках установленных ограничений. Также важным аспектом является анализ надежности и безопасности системы управления такими БПЛА.

Поскольку технологии в этой области постоянно развиваются, обзор привязанных БПЛА должен учитывать последние достижения в области автономных систем, их программного обеспечения и аппаратного обеспечения, а также изменения в законодательстве и нормативных актах, регулирующих их использование.

На текущий момент существует несколько привязанных беспилотных летательных аппаратов, которые предназначены для различных целей и задач. Вот несколько примеров:

-DJI Geofencing System: Компания DJI, один из крупнейших производителей дронов в мире, внедрила систему гео-фенсинга в свои дроны. Эта система ограничивает доступ к полетам в определенных зонах, таких как аэропорты, запретные зоны или места, где полеты запрещены по законодательству. Она используется для обеспечения безопасности и соблюдения законов в различных регионах.

-AirMap: AirMap предоставляет сервисы для управления и контроля полетами дронов, включая гео-фенсинг. Их платформа позволяет пользователям создавать и настраивать географические зоны, где дроны могут или не могут летать, что полезно для обеспечения безопасности и соблюдения регулятивных требований.

-Skycatch Command: Skycatch Command представляет собой программное обеспечение для управления и контроля полетами дронов в рабочих условиях. Оно включает в себя возможности гео-фенсинга, а также инструменты для планирования и выполнения полетных миссий в ограниченных областях.

-Kittyhawk Dynamic Airspace Platform: Этот сервис предоставляет решения для управления и контроля динамического воздушного пространства, включая системы гео-фенсинга для дронов. Он позволяет пользователям создавать и обновлять полетные ограничения в реальном времени в зависимости от изменяющихся условий и требований.

Эти примеры демонстрируют разнообразие привязанных беспилотных летательных аппаратов и сервисов, которые помогают контролировать и управлять их полетами в соответствии с законодательством и требованиями безопасности.



Рисунок 1.3 – Привязной БПЛА Dji Phantom 4/4 PRO

Исходя из всего изложенного и подводя итоги, можно заключить, что для реализации выбранной темы дипломной работы наилучшим решением станут стационарные дроны средней высоты. Такой выбор обусловлен тем, что предполагаемый для разработки полетный контроллер идеально подходит для данной задачи. В последующих разделах дипломной работы будут тщательно исследованы компьютерное моделирование рабочих режимов БПЛА, проектирование многофункционального БПЛА и наземной станции для него. Особое внимание будет уделено выбору компонентов для БПЛА, структурному составу дрона и системе привязанного беспилотного летательного аппарата в целом. Кроме того, будут рассмотрены аспекты тестирования БПЛА на этапе разработки и его функционирование в различных режимах.

2 Техническая разработка и интеграция систем БПЛА

2.1 Компьютерное моделирование режимов работы беспилотных летательных аппаратов

После предоставленного обзора существующих моделей привязных беспилотных летательных аппаратов, описания их работы и механизмов позиционирования, а также детального сравнительного анализа различных БПЛА, следует уделить внимание более подробному изложению процесса создания привязанных беспилотных летательных аппаратов с мощностью 4,0 кВт.

Для начала стоит определить, что входит в состав аппаратно-программного комплекса БПЛА. Данный комплекс включает в себя следующие элементы: рама, ESC (Electric Speed Controller), полетный контроллер, бесщеточные двигатели, пропеллеры, камера UltraHD, кабель, пульт управления и наземная дрон станция.

- Рама: основная структура дрона, к которой крепятся все остальные компоненты. Рамы бывают разных форм и размеров, в зависимости от типа и назначения дрона. Они обычно изготавливаются из легких и прочных материалов, таких как карбоновое волокно или алюминий.

- ESC (Electric Speed Controller): электронный регулятор скорости, который контролирует скорость вращения каждого бесщеточного двигателя. ESC получает сигналы от полетного контроллера и регулирует мощность, подаваемую на моторы, что позволяет управлять направлением и стабилизацией полета.

- Полетный контроллер: "мозг" дрона, который собирает данные с различных датчиков (например, акселерометров, гироскопов) и управляет полетными операциями. Полетный контроллер обрабатывает входные сигналы от пульта управления и автоматически регулирует ESC и двигатели для поддержания устойчивости и управляемости дрона.

- Бесщеточные двигатели: двигатели обеспечивают необходимую тягу для подъема и маневрирования дрона. Бесщеточные двигатели известны своей эффективностью и продолжительным сроком службы по сравнению с щеточными двигателями.

- Пропеллеры: устанавливаются на моторы и создают тягу, вращаясь. Размер и форма пропеллеров могут сильно варьироваться в зависимости от требований к производительности и назначения дрона.

- Камера UltraHD: высококачественная камера, которая может записывать видео в разрешении Ultra HD. Такие камеры часто используются в аэрофотосъемке и видеосъемке с дронов благодаря их способности захватывать очень детализированные изображения.

- Пульт управления для дронов: устройство, которое позволяет оператору управлять полетом дрона, его ориентацией и другими функциями, такими как камера и датчики.

- Наземная станция для привязных дронов: наземная станция обеспечивает энергоснабжение, стабильную связь и управление для дронов, которые ограничены в движении кабелем.

С 20-х годов, сфера мультикоптеров наблюдает ускоренное развитие благодаря растущему интересу, доступности компонентов и множеству возможностей их использования — от развлечений до промышленных приложений. С ростом этой отрасли, на рынке появляется множество комплектующих, что усложняет их выбор для конкретных моделей. В свете эволюции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и дронов, точные инструменты для проектирования и анализа становятся критически важными. Одним из таких инструментов выступает eCalc — мощный онлайн-калькулятор для дронов и других многомоторных устройств. Несмотря на простоту, eCalc предоставляет полный спектр данных и моделирует различные аспекты полета дрона, делая его незаменимым как для новичков, так и для профессионалов.

Программа, существующий с 2004 года, — это программа для расчета силовых установок различных летательных аппаратов, включая самолеты, вертолеты и мультикоптеры. Этот инструмент предлагает рекомендации по подбору силовых установок и возможность оценить планируемые компоненты. База данных программы содержит около 9 000 различных двигателей, включая как общеизвестные, так и редкие модели. Если необходимого двигателя нет в списке, пользователи могут добавить его, предоставив соответствующие спецификации. Важно отметить, что расчеты ограничены электроприводами и не включают турбинные или бензиновые двигатели.

Что касается коммерческой модели eCalc, данная платформа предлагает платные пакеты, период использования которых варьируется от одного месяца до года. Клиенты могут выбрать из различных пакетов, включая возможность использования на нескольких устройствах. Также доступна покупка отдельных калькуляторов, таких как "xcopterCalc" и "propCalc". Разнообразие доступных калькуляторов можно увидеть на рисунке 2.1.

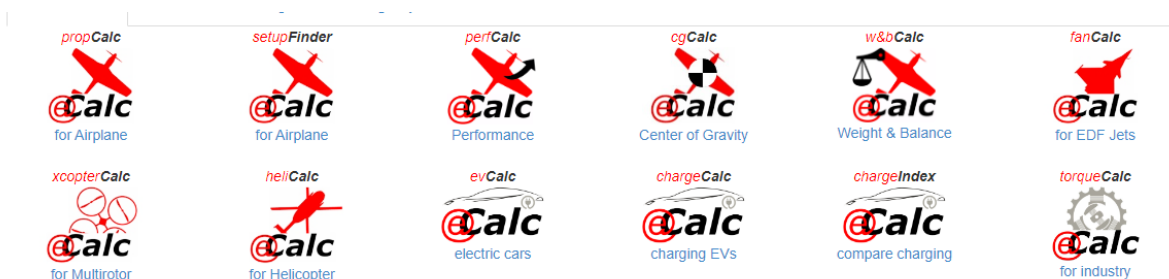


Рисунок 2.1 – Варианты пакетов в программе в измерительной программе

После нажатия на кнопку `хсopterCalc` вы попадаете в интерфейс расчета, который предлагает множество вариантов ввода данных, и не только на первый взгляд. Логично, что чем точнее информация, тем точнее можно рассчитать подходящий привод. Но сначала о главном. Для начала вам следует выбрать имя чтобы назначить свой проект (рис. 2.2). Это делается в левом верхнем углу. Затем заполните область "Основное", в которой указывается вес, площадь крыла и такие параметры, как высота аэродрома и т. д. В следующих строках необходимо ввести данные об используемой батарее. К сожалению, производители редко предоставляют точные данные об аккумуляторах, поэтому вам придется ориентироваться на общие типы батарей в выпадающем списке. Также необходимо ввести данные о контроллере, но они задаются относительно универсально (рисунок 2.3). Строки ниже (рисунок 2.4) более точны, поскольку здесь указывается используемый двигатель и пропеллер.

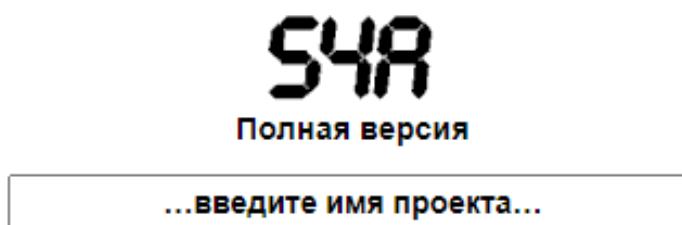


Рисунок 2.2 – Введение названия модели

Основное	Вес модели: 850 г <input type="checkbox"/> Включая ВМГ	Кол-во винтов: 4 <input type="checkbox"/> одиночных	Размер рамы: 400 мм 15.75 дюйм	Ограничение угла хрена: Нет	Высота над уровнем моря: 500 м 1640 футов	Температура воздуха: 25 °C 77 °F	Давление воздуха (QNH): 1013 гПа 29.91 дюйм.рт.ст.	
Аккумулятор	Тип (ток разряда / макс. ток С) - состояние заряда: LiPo 300mAh - 80/120C - Номинал	Сборка: 3 S 1 P	Емкость банки: 300 мАч 300 мАч ч всего	Макс. разрядка: 85%	Сопротивление: 0.0433 Ом	Напряжение: 3.7 В 120 С макс.	Ток отдачи(С): 80 С постоянная 120 С макс.	Вес: 9 г 0.3 унций
Регулятор	Тип: max 40A	ток: 40 А пост. 40 А макс.	Сопротивление: 0.006 Ом	Вес: 50 г 1.8 унций	Навесное оборудование		Потребление: 0 А 0 унций	

Рисунок 2.3 – Поле ввода данных наружный скелет

Мотор	Производитель - Тип (KV) - Охлаждение: (г = переключено) T-Motor - MN605-S KV320 (320)	KV (без нагрузки): 320 об/В	Ток без нагрузки: 2.2 А @ 17 В	Предел (до 15с): 1400 Вт	Сопротивление: 0.021 Ом	Длина корпуса: 34 мм 1.34 дюйм	Кол-во магнитов: 28	Вес: 316 г 11.1 унций
Пропеллер	Тип - угол кручения: Genetic - thin - 0°	Диаметр: 10 дюйм 254 мм	Шаг: 4.7 дюйм 119 мм	Кол-во лопастей: 2	Мощ. пост./Тяга пост.: 1.08 / 1.0	Передающее число: 1 : 1	<input type="button" value="Рассчитать"/>	

Рисунок 2.4 – Поле ввода данных внутренний скелет

Если в базе данных уже есть необходимый двигатель, его можно выбрать из выпадающего списка, и все необходимые поля заполнятся автоматически. Вы также можете использовать функцию поиска, чтобы найти и выбрать нужный двигатель, введя его название в поле и выбрав

подходящий тип во всплывающем окне (рисунок 2.5). Это позволит легко получить всю информацию о двигателе и найти соответствующие опции в разделе приводов базы данных. Для передачи данных о двигателе в программе для расчета используйте стрелку влево, которая отмечена красным цветом. После этого, выберите подходящий пропеллер и, если требуется, проведите проверку, используя различные данные, связанные с приводом.

Подбор-винт-об/в

Полетный вес: г

Кол-во винтов:

Размер рамы: мм

Аккумулятор - Номинальное напряжение: В

Пропеллер - Диаметр: дюйм max. 18.8"

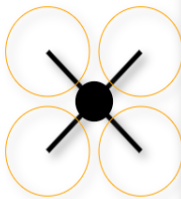
Пропеллер - Шаг: дюйм max. 11.2"

Пропеллер - Кол-во лопастей:

Рекомендуемые об/в: **380 ... 560 об/В**

Мин. Мощность двигателя: **1070 ... 1875 Вт+**

Мин. Регулятор: **55 ... 95 А+**



Производитель:

Модель:

кВ: ... об/В

предел мощности: ... Вт

Вес: ... г

Сортировка:

Совпадений: 183

Производство этих моторов прекращено

←	Производитель	Модель	кВ (об/В)	Мощность (Вт)	Вес (г)
←	Aeolian	C4250-KV500	500	1080	205
←	Aeolian	C4260-KV500	500	1400	270
←	Avrto	LIFT 35120-520KV	520	1150	190
←	AXI	4120/18 V2	515	1500	315
←	AXI	4120/18*	515	1221	320
←	AXI	4120/20 V2	465	1160	315

Рисунок 2.5 – Поле поиска двигателя

Затем, для начала модуляции, используйте кнопку "Расчитать", которая расположена немного скрыто в правой части экрана под настройками пропеллера. Под визуальными индикаторами, в секции "Примечания", находится область, где представлены результаты расчетов, сделанные на основе введенных спецификаций. Определить, находится ли ваш аппарат в основном в полете, можно по зеленой зоне на тахометрах. Однако, не стоит игнорировать раздел примечаний, где содержится множество полезной информации, такой как расчет статической тяги и тяги при висении, а также время полета на полном газу или в смешанном режиме. Подробно перечислять все значения нецелесообразно, так как большинство из них интуитивно понятны и должны быть знакомы моделистам. На рисунке 2.6 представлены диаграммы, визуализирующие данные во время полета. Если в расчетах возникают ошибки, вы можете сразу увидеть их в комментариях, где будет указана конкретная проблема.

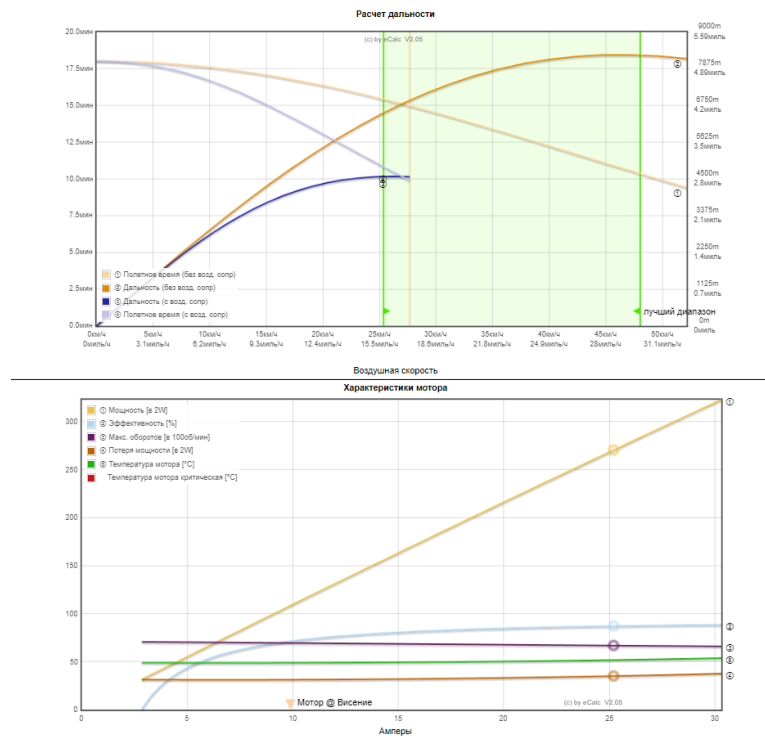


Рисунок 2.6 – Моделирование диаграмм данных беспилотного летательного аппарата во время полета

Основные настройки, которые были указаны мной:

- Полный вес модели в моем случае я выбирал без ВМГ и просто вводил вес конструкции дрона
- Количество винтов – 2 винта
- Размеры рамы - 680 мм
- Аккумулятор (АКБ) – Lipo 6s 3300 мАч
- Регулятор (ESC) – SpeedyBee f 405 v3 stack ESC 4 in 1 50A
- В навесном оборудовании использовали камеру с потреблением 2А и приемник с потреблением 8В
- Мотор – T-motor MN5008 340KV
- Пропеллер – T-motor 17 дюймовый

Основное	Вес модели: 850 г <input type="checkbox"/> Включая ВМГ	Кол-во винтов: 4	Размер рамы: 400 мм	Ограничение угла крена: Нет	Высота над уровнем моря: 500 м	Температура воздуха: 25 °C	Давление воздуха (QNH): 1013 гПа
Аккумулятор	Тип (ток разряда / макс. ток С) - состояние заряда: выбрать... - Номинал	Сборка: 3 S 1 P	Емкость банки: мАч	Макс. разрядка: 85%	Сопротивление: Ом	Напряжение: В	Ток отдачи (С): С постоянная
Регулятор	Тип: выбрать...	ток: А пост.	Сопротивление: Ом	Вес: г	Навесное оборудование		Потребление: А
Мотор	Производитель - Тип (KV) - Охлаждение: (п = прохладнее)	КV (без нагрузки): об/В	Ток без нагрузки: А @ В	Предел (до 15с): Вт	Сопротивление: Ом	Длина корпуса: мм	Кол-во магнитов: 0
Пропеллер	Тип - угол кручения: выбрать... - 0°	Диаметр: 10 дюйм	Шаг: 4.7 дюйм	Кол-во лопастей: 2	Мощ. пост./Тяга пост.: 1.2 / 1.0	Передаточное число: 1 : 1	<input type="button" value="Расчитать"/>

Нагрузка (в С): 0.0

Время висения: 0.0

Электр. мощность: 0

Температура: 0

Тяговооруженность: 0.0

Удельная тяга: 0.00

Конфигурация

Рисунок 2.7 – Поле моделирования БПЛА

В ходе моделирования с помощью программы eCalc я получил данные о разработанном мной БПЛА. К ним относятся параметры аккумулятора, такие как нагрузка, минимальное время полёта при максимальной мощности двигателя, время висения и общий вес аккумуляторов. Также были рассчитаны три режима работы мотора: оптимальный, максимальный и режим висения.

Задача состоит в том, чтобы, собрать дрон с максимальной мощностью 3 кВт и определенной рамой 680мм и пропеллером с диаметром 17 дюйма. Имея уже данные характеристики, можно будет собрать дрон в данном приложении. Для этого сначала нужно определить полный взлетный вес (как вес БПЛА, так и полезную нагрузку), затем выбрать нужные нам параметры напряжения (лучше всего выбирать от 3-6s так как на них самые распространенные комплектующие к БПЛА). В моем же случае я выбрал напряжение 6s подаваемые на полетный контроллер, esc и на моторы. Самым подходящим мотором в поиске оказался мотор T-motor (с максимальной мощностью на моторе 730 Вт и скоростью вращения ротора 340 KV). Далее вводим все данные, которые у нас есть в интерфейс расчета БПЛА и с помощью моделирования программа определяет какой esc и аккумулятор нам лучше всего взять. Аккумулятор же можно выбрать индивидуально, но программа дает нам знать какой минимальной емкости нам нужен аккумулятор для оптимальной работы. Так с помощью моделирования онлайн калькулятором eCalc мы смогли собрать дрон с рамой 680 мм общей максимальной мощностью 3 кВт с пропеллерами 17 дюйма (все данные можно увидеть на рисунке 2.8 и 2.9). Дрон имеет взлетный вес 3,6 кг (при этой имея 12 кг полезной нагрузки), минимальное время полета этого дрона 3,7 минут, но так как максимальный режим затрачивается только на взлет смешанное время будет составлять 16 минут, а на практике 18 минут.

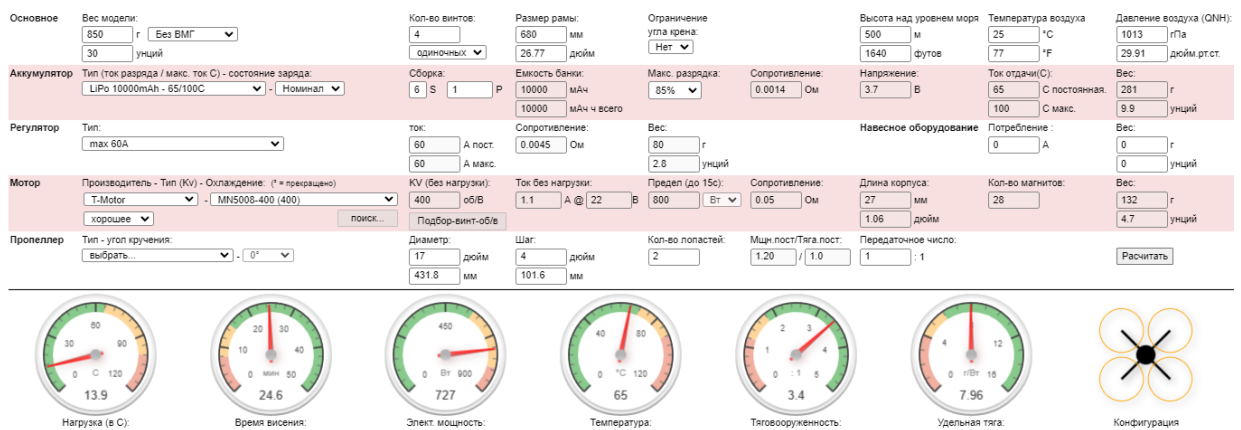


Рисунок 2.8 – Расчет БПЛА в онлайн калькуляторе для дронов

Примечания:		Мотор @ Оптимальный режим	Мотор @ Максимальный режим	Мотор @ Висение	Параметры ВМГ	Коптер:
Аккумулятор		Ток: 20.03 A	Ток: 34.84 A	Ток: 5.19 A	Вес ВМГ: 2787 г	Коптер:
Нагрузка (в С):	13.94 С	Напряжение: 21.44 В	Напряжение: 20.87 В	Напряжение: 22.00 В	Тяговооруженность: 3.4 : 1	Полетный вес: 3637 г
Напряжение под нагрузкой:	21.03 В	Обороты*: 8140 об/мин	Обороты*: 7592 об/мин	Обороты*: 3648 об/мин	Ток @ Висение: 20.76 А	128.3 унций
Номинальное напряжение:	22.20 В	Элект. мощность: 429.3 Вт	Элект. мощность: 727.2 Вт	Газ (лог.): 27 %	Мощность(вых.) @ Висение: 460.8 Вт	7079 г
энергия:	222 Wh	Механ. мощность: 386.7 Вт	Механ. мощность: 643.0 Вт	Газ (линейный): 44 %	Мощность(вых.) @ Висение: 402.8 Вт	249.7 унций
Общая емкость:	10000 мАч	Эффективность: 90.1 %	Удельная мощность: 799.7 Вт/кг	Элект. мощность: 114.2 Вт	Эффективность @ Висение: 87.4 %	Крен макс: 70 °
Использованная емкость:	8500 мАч		Эффективность: 88.4 %	Механ. мощность: 100.7 Вт	Ток @ макс: 139.36 А	65 км/ч
Мин. Полетное время:	3.7 мин		Температура: 65 °C	Удельная мощность: 126.7 Вт/кг	Мощность(вых.) @ макс: 3093.8 Вт	Скорость макс: 40.4 миль
Смешанное полетное время:	16.1 мин		149 °F	Эффективность: 88.2 %	Мощность(вых.) @ макс: 2572.1 Вт	предполагаемый диапазон: - м
Время висения:	24.6 мин		Показания ваттметра	Температура: 31 °C	Эффективность @ макс: 83.1 %	Макс. скоропідъемность: 7.4 м/с
Вес:	1686 г		Сила тока: 139.36 А	Удельная тяга: 7.96 г/Вт		1457 футов
	59.5 унций		Напряжение: 21.03 В			58.58 дюйма
			Мощность: 2930.7 Вт			907.99 дюйма
						Отказ двигателя:

Рисунок 2.9 – Полученные параметры квадрокоптера при моделировании

Так же не стоит забывать о самой распространённой ошибке всех новичков, это брать двигатели в притык к максимально заданной мощности. Возьмем что нам нужен БПЛА с общей максимальной мощностью 3кВт и 4 двигателя Т-motor MN5008 340KV у которых максимальная мощность 730 Вт. По графику 1 и 2 можно увидеть зависимость мощности и силы тока от линейного газа (по-другому от состояния мотора). График начинается с 40 процентов так как, мы раскручиваем двигатели перед выходом на полную тягу. Если мы сразу же перейдем с холостого хода на полную мощность, есть большая вероятность, что один двигатель раскрутится быстрее, чем другой. Это вызвало бы тонну асимметричной тяги, которая толкала бы дрон в противоположную сторону от двигателя, который раскрутился первым. Это часть стандартной процедуры, называемой поэтапным или прогрессивным опережением газа. Самой распространённой ошибкой является то, что, при внесении данных в eCalc надо указывать точный вес своего дрона а не только вес коптера. Это сказывается на смешанное полетное время и мощности мотора при весении. Так же распространённой ошибкой является работать с газом превышающим 80 процентов. Это сказывается на маневренности дрона и его стабилизации, так как ему будет нечем парировать отклонения. Так же это говорит о том, что нагрузка на пропеллеры довольно ощутимы и происходит недостаток тяги. Поэтому в графике видно, что это компенсируется большим потреблением электроэнергии что сказывается на удельной тяге БПЛА. Это связано с аэродинамикой и с ростом паразитных токов Фуко (электрическим КПД мотора). Самым оптимальным будет работать на 40–60 процентов линейного газа. Поэтому при выборе двигателя лучшим решением будет взять двигатель с максимальной мощностью 1000 Вт чтобы иметь полную максимальную мощность 3кВт без последствий нестабильности работы дрона.

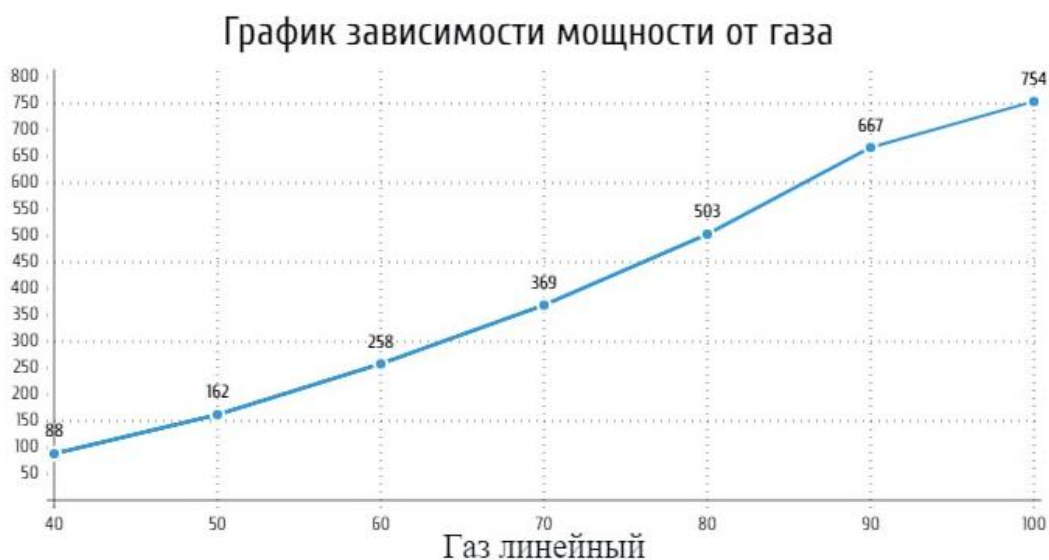


График 1 – Зависимость мощности двигателя дрона от линейного газа

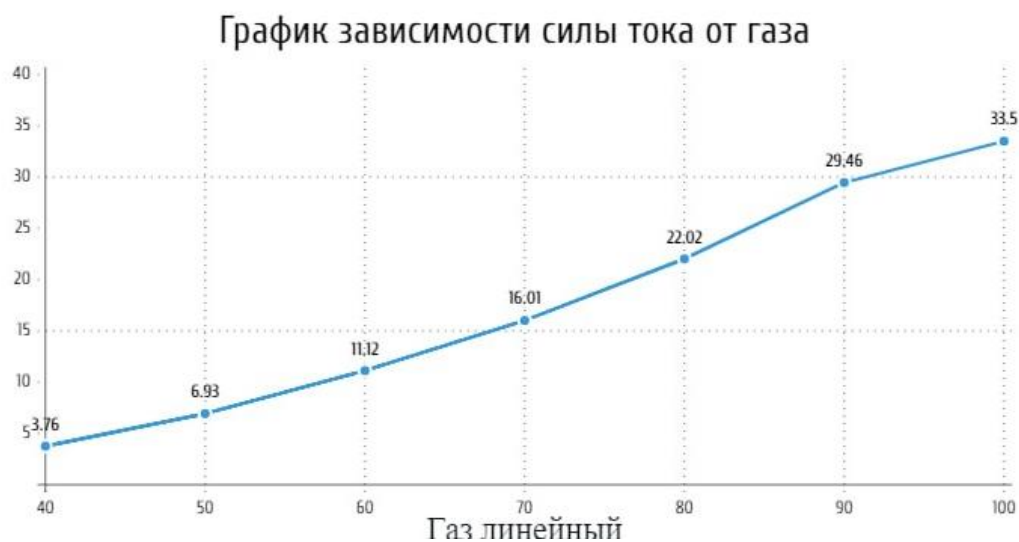


График 2 – Зависимость силы тока двигателя дрона от линейного газа

Как было упомянуто ранее, в данном разделе основательно анализировался вопрос компьютерного моделирования БПЛА. Опираясь на представленные данные, были исследованы перспективы разработки собственных БПЛА, просмотр расчетных параметров, отклонения при различных погодных условиях а так же моделирование при различных режимах работы. Программа eCalc идеально подходит для проектирования дрона на этапе разработки так как помогает с выбором большинства комплектующих для БПЛА. В следующем разделе будет рассмотрено более подробное проектирование многофункционального дрона и наземной дрон станции для него. Также в данном разделе будут приведены возможности и основные характеристики многофункционального БПЛА, который впоследствии будет

использоваться для создания модели проекта и расчет кабеля питания для привязного БПЛА.

2.2 Конструирование многофункционального дрона для высококачественной аэросъемки и видеозаписи и наземной дрон станции для привязных беспилотных летательных аппаратов

БПЛА представляет собой квадрокоптер с четырьмя пропеллерами, оснащенный усовершенствованными аэродинамическими характеристиками для стабильного полета и точной навигации.

Основные компоненты:

Карбоновый корпус с встроенными алюминиевыми стержнями для увеличения прочности и снижения веса.

Четыре бесколлекторных двигателя типа Brushless DC, модель T-Motor MN5008 KV340

Четыре двухлопастных пропеллера диаметром 18 дюймов (457 мм), материал - нейлон.

Три литий-полимерных батарей емкостью 3300 мАч, напряжение 22,2 В.

Камера UltraHD с разрешением fhd и гибридной системой стабилизации изображения.

-Размеры и вес:

-Длина (с учетом пропеллеров): 570 мм

-Высота: 480 мм

-Вес (с батареями): 3.5 кг

Технические характеристики:

-Максимальная скороподъемность: 6 м/с

-Максимальное время полета: 10 минут

-Минимальное время полета: 3.3 минуты

Максимальная высота полета: 100 м

Особенности конструкции:

-Складная рама для удобства транспортировки.

-Встроенные светодиодные индикаторы для ночного полета.

-Автоматическая система возврата на базу в случае потери связи.

Безопасность:

Защита пропеллеров с помощью специальных амортизирующих материалов.

Встроенная система автоматического экстренного приземления в случае обнаружения неисправностей.

Схема и обозначения: (Прилагается чертеж с обозначениями основных компонентов и соединений.)

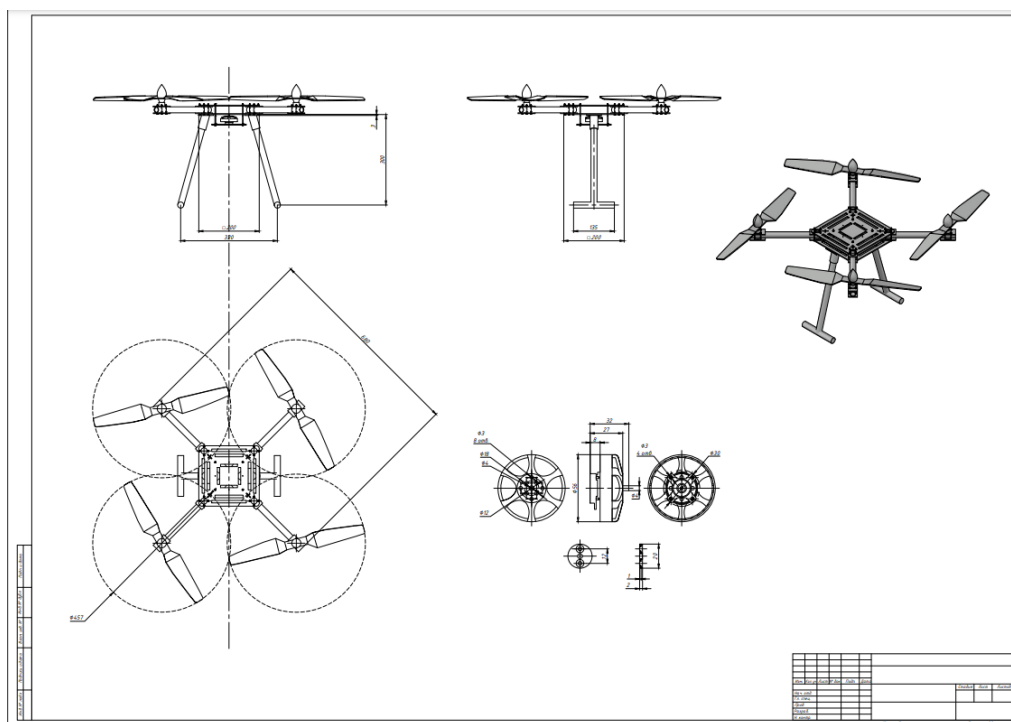


Рисунок 2.10 – Чертеж дрона и составляющих его компонентов.

Легенда:

A1: Карбоновый корпус

A2: Бесколлекторные двигатели

A3: Пропеллеры

Наземная дрон-станция для привязных дронов с использованием электрической схемы, состоящей из выпрямителя, инвертора и снова выпрямителя, представляет собой инновационное решение для обеспечения бесперебойного энергоснабжения беспилотным летательным аппаратам (БПЛА). Давайте рассмотрим эту схему подробнее:

-Выпрямитель (Rectifier):

В этой конфигурации выпрямитель преобразует переменный ток (AC), поступающий от источника энергии (например, электросети или генератора), в постоянный ток (DC).

Постоянный ток используется для подачи энергии на другие компоненты системы, такие как инверторы.

-Инвертор (Inverter):

Инвертор в данной схеме преобразует постоянный ток (DC) обратно в переменный ток (AC).

Этот переменный ток переменного напряжения может быть согласован с требуемыми спецификациями зарядных систем для аккумуляторов дронов.

-Второй выпрямитель:

Повторный выпрямитель, как и первый, используется для преобразования переменного тока (AC), возникающего после инвертора, обратно в постоянный ток (DC).

Этот постоянный ток направлен на зарядные устройства для аккумуляторов дронов или на другие потребители энергии.

Связь между этими компонентами обеспечивает непрерывное электропитание для дронов, привязанных к станции, что позволяет им продолжать свои операции длительное время без необходимости возвращаться на зарядку.

Такая система может быть важной частью инфраструктуры для беспилотных летательных аппаратов, применяемых в различных сферах, включая наблюдение, доставку, агрокультуру и т. д. Это позволяет значительно увеличить время полета дронов и эффективность их использования.

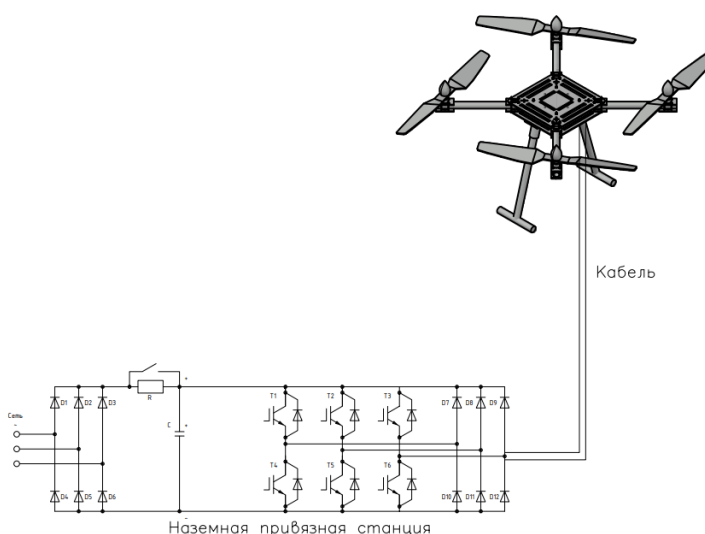


Рисунок 2.11 – Чертеж наземной привязной станции

Осталось только рассчитать вес кабеля БПЛА. Номинальная суммарная мощность всех двигателей привязанных БПЛА определяется следующим образом:

$$P_{\text{суммар}} = k \cdot P_{\text{ном}}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя, в Вт;
 k – количество двигателей в БПЛА.

Однако при эксплуатации БПЛА приходится учитывать допустимые кратковременные перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики движения, а также допустимой мгновенной пульсации тока, кроме того КПД и коэффициент мощности $\cos \phi$ двигателя.

Полная электромагнитная мощность двигателя привязанных БПЛА будет равна задач:

$$P_{ЭМ} = k \frac{P_{НОМ} \cdot k_1 \cdot k_2}{\eta_{НОМ} \cdot \cos \phi} \quad (2.2)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность на валу двигателя, Вт;
 k – количество двигателей в БПЛА,
 $k_1 = 1,2-1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики движения;
 $k_2 = 1,1-1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;
 $\eta_{НОМ}$ – номинальный КПД двигателя; коэффициент мощности $\cos \phi_1$.

Двигатели привязанных БПЛА имеют трехфазное питание, поэтому фазный ток будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{P_{ЭМ}}{m \cdot U_{\phi}} \quad (2.3)$$

где $m = 3$ – количество фаз, U_{ϕ} – номинальное напряжение двигателя, В.

Расчетное сечение кабеля определяется через плотность тока следующим образом, в мм

$$S_{РАСЧ} = \frac{I_{\phi}}{j} \quad (2.4)$$

где j – плотность тока в кабеле, которая зависит от способа охлаждения кабеля, от количества жил (одножильный, двухжильный, трехжильный) в кабеле, а также от напряжения, мощности и от материала провода (медь или алюминий) и т. Д.

Реальное сечение кабеля определяется через ток и материала провода. Так как, реальное сечение кабеля имеет дискретное значение, то следует соблюдать условие $S_{РАСЧ} > S_{РЕАЛ}$.

При определении сечения кабеля учитывается значение тока фазы согласно ГОСТу.

При питании привязанных БПЛА однофазным напряжением, ток будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{P_{ЭМ}}{U_{\phi}} \quad (2.5)$$

Таким образом, вес кабеля привязанного БПЛА при трехфазном питании определяется следующим образом, в кг

$$G_K = m \cdot L \cdot S_{РЕАЛ} \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (2.6)$$

где $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$ – плотность меди, L – длина кабеля, в м, $S_{РЕАЛ}$, – площадь сечения кабеля, в мм^2 .

Естественно, кабель будет иметь активное сопротивление, которое зависит от длины кабеля и сечения. Активное сопротивление медного кабеля, в Омх будет равен

$$R_{\phi} = \rho_{МЕДИ} \frac{L}{S_{РЕАЛ}} \quad (2.7)$$

где $\rho_{\text{МЕДИ}} = 0,017 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$ – удельное сопротивление медного кабеля.

Тогда падение напряжение на медном кабеле, в Вольтах, будет равен

$$\Delta U = I_{\phi} \cdot R_{\phi} = I_{\phi} \cdot \rho_{\text{МЕДИ}} \frac{L}{S_{\text{РЕАЛ}}} \quad (2.8)$$

Потери мощности, в Ваттах:

$$\Delta P = I_{\phi}^2 \cdot R_{\phi} = I_{\phi}^2 \cdot \rho_{\text{МЕДИ}} \frac{L}{S_{\text{РЕАЛ}}} \quad (2.9)$$

При питании привязанных БПЛА однофазным напряжением, ток будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{U_{\phi}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{U_{\phi}} \quad (2.10)$$

Сделаем расчет кабеля. БПЛА выполнен в виде **квадрокоптера** с количеством двигателей $k = 4$. Мощность синхронного двигателя с постоянными магнитами T-motor MN5008 равен $P_{\text{НОМ}} = 0.73$ кВт, а длина кабеля составляет 20 метров.

Электромагнитная мощность двигателей привязанных БПЛА будет равна

$$P = k \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot k_1 \cdot k_2}{\eta_{\text{НОМ}} \cdot \cos \phi} = 4 \frac{0.73 \cdot 1.2 \cdot 1.1}{0.75 \cdot 0.85} = 6,04 \text{ кВт}$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность двигателя, Вт; k – количество двигателей в БПЛА, для **квадрокоптера** $k = 4$, $k_1 = 1,2 - 1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики; $k_2 = 1,1 - 1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока; $\eta_{\text{НОМ}} = 0,75$ – номинальный КПД двигателя; коэффициент мощности $\cos \phi_1 = 0,85$.

Фазный ток будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{m \cdot U_{\phi}} = \frac{6040}{3 \cdot 22.2} = 90.6 \text{ А}$$

где $m = 3$ – количество фаз, U_{ϕ} – номинальное напряжение двигателя, В.

Из таблицы 1 видно, что площадь сечения медного кабеля при токе $I_{\phi} = 12,5$ А и при трехжильном проводе в воздухе равен

$$S_{\text{РЕАЛ}} = 10 \text{ мм}.$$

Тогда общий вес кабеля привязанного БПЛА при питании трехфазным напряжением будет равен

$$G_{\text{К}} = m \cdot L \cdot S_{\text{РЕАЛ}} \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 8900 = 8 \text{ кг}$$

Этот общий вес кабеля носит ориентировочный характер, так как изоляция кабелей могут иметь разный химический состав. Поэтому в реальности вес кабеля взвешивают на весах и определяют истинный вес.

Естественно, кабель будет иметь активное сопротивление, которое зависит от длины кабеля и сечения. Активное сопротивление медного кабеля будет равен

$$R_{\phi} = \rho_{\text{МЕДИ}} \frac{L}{S_{\text{РЕАЛ}}} = 0,017 \frac{30}{10} = 0,0510\text{м}$$

где $\rho_{\text{МЕДИ}} = 0,017 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$ – удельное сопротивление медного кабеля.

Тогда падение напряжение на медном кабеле будет равно

$$\Delta U = I_{\phi} \cdot R_{\phi} = 90.6 \cdot 0,0510\text{м} = 4,62\text{В}$$

Потери мощности, в Ваттах

$$\Delta P = I_{\phi}^2 \cdot R_{\phi} = 90,6^2 \cdot 0,051 = 418\text{Вт}$$

Как видно из расчета, падение напряжения на медном кабеле незначительно, но при возрастании длины кабеля в два раза падение напряжения на медном кабеле составляет существенное значение.

В данном разделе было подробно описано создание модели многофункционального дрона и соответствующей наземной станции для управления им. Основная функция дрона заключается в проведении качественной аэросъемки и видеозаписи, а также в обеспечении длительных полетов за счет энергопитания от наземной станции. Наземная станция обеспечивает непрерывное питание дрона через схему выпрямитель-инвертор-выпрямитель. Рассмотрены три ключевых блока этой модели, функции которых были детально изложены ранее. Дрон оснащен функцией аварийной посадки при потере сигнала от полетного контроллера и имеет защиту пропеллеров с использованием амортизирующего материала. В разделе также проведен расчет веса кабеля питания дрона и анализ потерь энергии при передаче. В следующем разделе будет представлена реализация модели БПЛА, включая код и схемы подключения, а также структурные и программные аспекты полетного контроллера SpeedyBee F405 V3, используемые для реализации данной модели дрона.

3 Проектирование БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee f405 v3

Проектируемая нами далее модель БПЛА состоит из непосредственно полетного контроллера SpeedyBee f405 v3, так же к нему в стоке идет ESC 4in1 50a, рама ZD680, 4 бесщеточных двигателя модели T-motor MN-5008 340 KV, пульт дистанционного управления FS-I6 и приемник в его комплекте, 3 аккумулятора Lipo 6s 3.3 А/ч 50с(отдача) 5с(зарядка), регулируемое зарядное устройство и пропеллеры диаметром 18 дюймов(457 мм). На рисунке 3.1 предоставлен модель БПЛА.



Рисунок 3.1 – Проектируемая модель БПЛА

После сборки основной конструкции дрона стоит приступить к программированию полетного контроллера программой SpeedyBee и Betaflight. Лучше всего использовать программу Betaflight на которой будет показан пример прошивки и программирования контроллера.

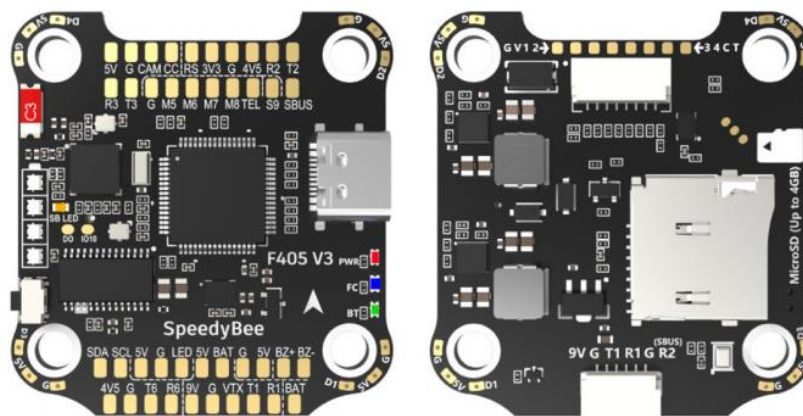


Рисунок 3.2 – Полетный контроллер SpeedyBee f405 V3

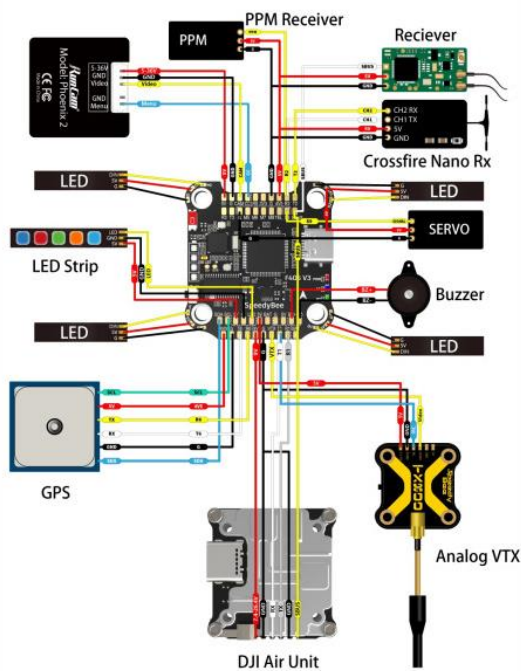


Рисунок 3.3 – Электрическая схема подключения полетного контроллера SpeedyBee f405 V3

В самом начале начнем с прошивки полетного контроллера. На рисунке 3.4 показан интерфейс программатора, на котором происходит прошивка полетного контроллера. Для этого надо выбрать модель программируемого контроллера в нашем же случае это SPEEDYBEEF405V3 и выбрать прошивку, для своего БПЛА я выбрал версию 4.5.0 который включает в себя работу Bluetooth-a, большинства регуляторов (таких как GPS, барометр, акселерометр и тд), открытые порты для приемников(антенны для пульта и osd платы для

камеры). После чего надо загрузить прошивку (Online) и потом прошить прошивку.

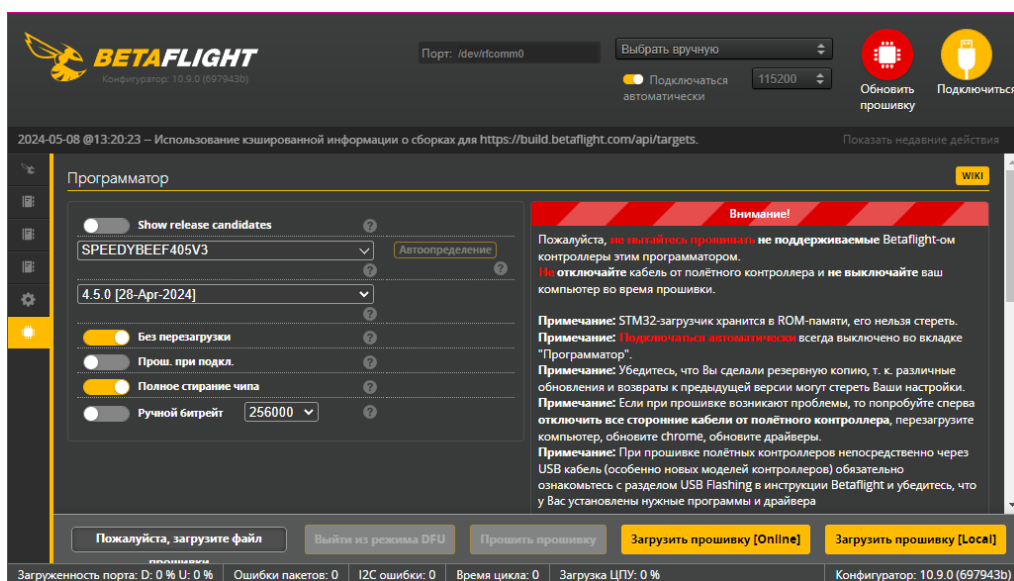


Рисунок 3.4 – Интерфейс программатора Betaflight

После этого подключаемся к полетному контроллеру и настраиваем его уже внутри. В первой вкладке Setup мы калибруем наш акселерометр чтобы в воздухе дрон понимал в каком положении от центра он находится. На рисунке 3.5 изображен интерфейс настройки акселерометра.

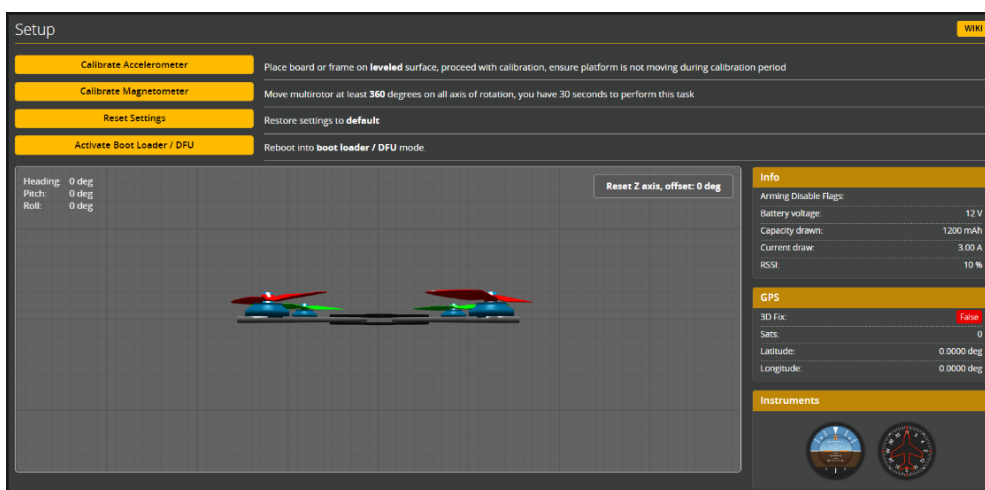


Рисунок 3.5 – Интерфейс настройки акселерометра

Следующая вкладка Ports. Тут происходит настройка портов полетного контроллера, в нашем же случае у нас открыт порт 4 для Bluetooth-а, порт 2 для антенны пульта и порт 3 для камеры.

Во вкладке Configuration производятся персональные настройки для удобства в полете и интерфейсом программы.

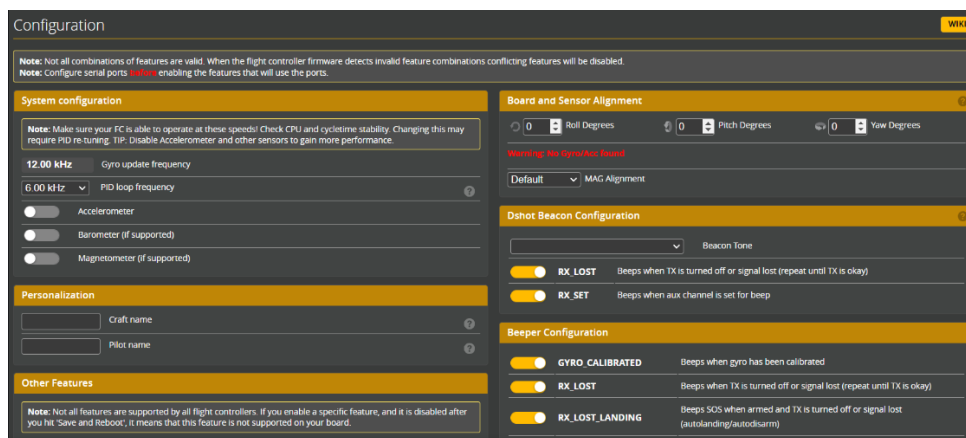


Рисунок 3.6 – Интерфейс персональных настроек полетного контроллера

Одной из главных вкладок будет вкладка Motors, тут происходит проверка и настройка двигателей. На рисунке 3.7 можно увидеть настройки для мотора. Для начала убираем ограничитель и включаем по одиночке моторы и проверяем их направления оборотов. Если же он крутится не в ту сторону, то просто меняем направление. Следующим действием будет проверка всех мотор через мастер режим. Он нужен для проверки подключения и работы всех моторов одновременно. После проверки моторов мы переходим к следующей настройке это Receiver. Для начала настройки самого приемника надо припаять его по инструкции к полетному контроллеру. Дальше надо будет настроить пульт на сигнал I-bus/S-bus, чтобы пульт мог управлять данным приемником. После чего во вкладке Receiver проверяем подключение пульта и работы самого ресивера. Для этого надо нажать кнопку BOOT и включить пульт, после того как кнопка на ресивере не будет моргать (что означает подключение пульта к антенне) надо будет покрутить стики пульта.

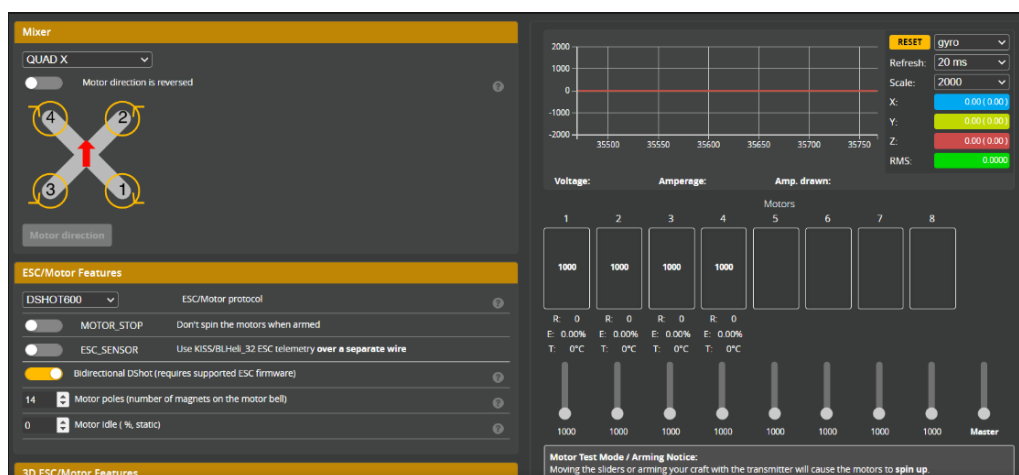


Рисунок 3.7 – Интерфейс настройки моторов БПЛА

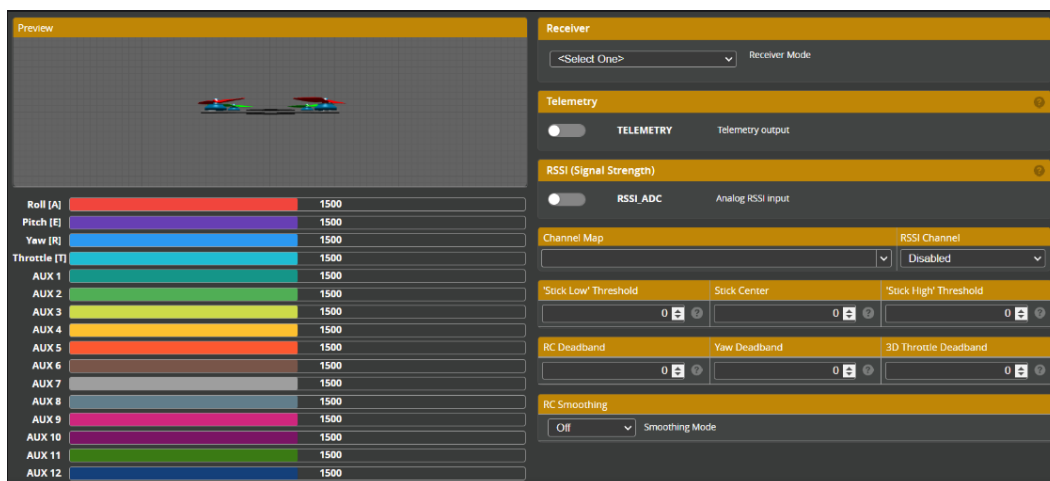


Рисунок 3.8 – Интерфейс настройки ресивера

Дальше нужны включить режимы работы во вкладке Modes. Чтобы подключить режим работы на включение мотор выставляем режим ARM на первый канал(первый переключатель на пульте). Чтобы отключить моторы нужно вернуть состояния переключателя на исходное положение. Следующий режим ANGLE нужен для стабилизации дрона в пространстве чтобы он не переворачивался в воздухе. Выставляем его на второй канал(второй переключатель на пульте). На этом заканчиваем настройку полетного контроллера и проверяем работу дрона.

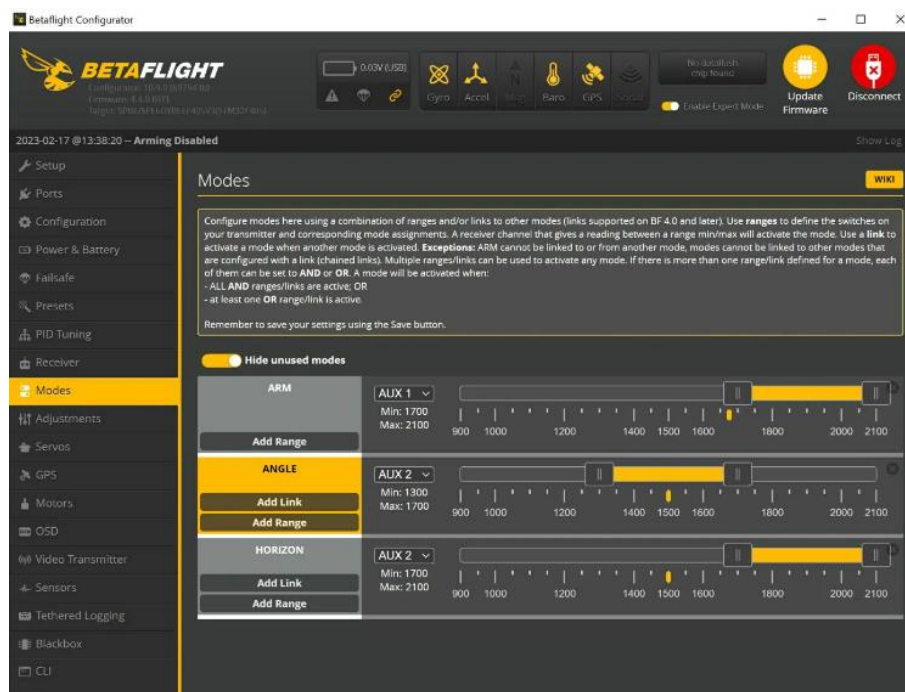


Рисунок 3.9 – Интерфейс настройки режимов работы мотора

Последнее что остается это настройка видеокамеры. Для этого переходим во вкладку Video Transmitter и проверяем работоспособность нашей камеры на БПЛА. На рисунке 3.10 можно заметить интерфейс видеонаблюдения.

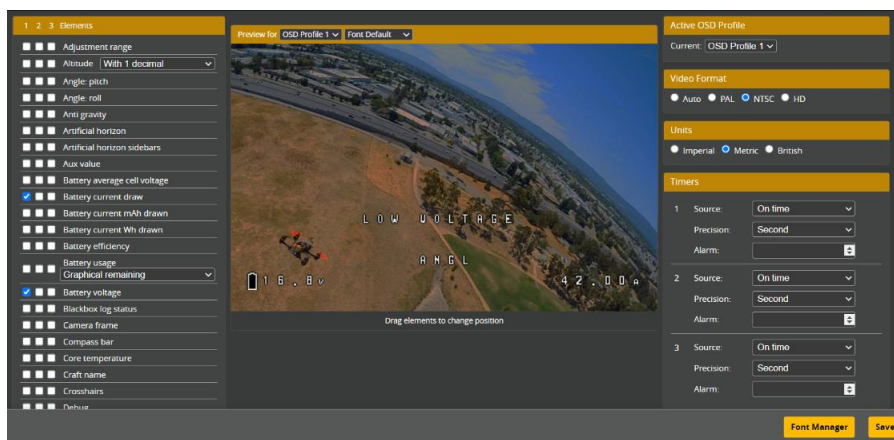


Рисунок 3.10 – Интерфейс настройки видеокамеры БПЛА

Тестирование является ключевым этапом разработки привязанных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), поскольку позволяет оценить работоспособность системы и выявить возможные недостатки. В процессе тестирования были проведены всесторонние проверки всех компонентов системы, включая аппаратное и программное обеспечение, для обеспечения их правильной и стабильной работы.

Сначала были проведены лабораторные испытания отдельных компонентов системы. Эти испытания включали проверку всех электрических соединений, тестирование работы двигателей и других ключевых компонентов. На этом этапе были выявлены и устранены несколько незначительных неисправностей, что позволило улучшить общую надежность системы.



Рисунок 3.11 – Экспериментальная модель БПЛА

Затем было проведено интеграционное тестирование, целью которого было проверить взаимодействие всех компонентов системы в условиях, максимально приближенных к реальным. В ходе этого тестирования были протестированы различные сценарии полета, чтобы убедиться в стабильности и надежности работы системы. Особое внимание было уделено проверке работы системы в условиях высокой нагрузки и при экстремальных температурах, чтобы гарантировать ее устойчивость к внешним воздействиям.



Рисунок 3.12 – Проверка БПЛА на тяговооруженность и длительный режим работы

После успешного завершения лабораторных и интеграционных испытаний, были проведены полевые испытания. Эти испытания включали запуск БПЛА в реальных условиях эксплуатации для проверки его поведения в различных сценариях. В процессе полевых испытаний была проверена стабильность полета, эффективность управления, а также способность системы к выполнению поставленных задач. Полевые испытания показали, что система способна работать стабильно и эффективно в различных условиях, что подтверждает ее готовность к реальной эксплуатации.



Рисунок 3.13 – Полевые испытания БПЛА

На заключительном этапе тестирования была проведена оценка эффективности и производительности системы. Были проанализированы данные, собранные в ходе полевых испытаний, чтобы определить, насколько успешно система выполняет поставленные задачи и соответствует ли она установленным требованиям. Результаты анализа показали, что система обладает высокой производительностью и надежностью, что подтверждает успешность разработанных решений и технологий.

Тестирование выявило несколько областей, требующих доработки и оптимизации, что позволит внести необходимые изменения и улучшить общую производительность системы. В результате проведенных тестов была создана эффективная и надежная система, способная выполнять поставленные задачи в наблюдении на постоянной основе.

Таким образом, процесс тестирования подтвердил работоспособность разработанной системы привязанных беспилотных летательных аппаратов, выявил потенциальные области для улучшения и продемонстрировал готовность системы к дальнейшему использованию и развитию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы была проведена разработка привязанного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с мощностью 4,0 кВт. Исследование охватывало широкий спектр аспектов, начиная от теоретического обоснования и проектирования, до создания прототипа и его тестирования.

В процессе работы были определены основные требования к конструкции и системам БПЛА, что позволило разработать эффективные и безопасные решения для стабилизации и управления полётом. Важной частью работы стало проектирование и оптимизация энергетической системы, что обеспечило надёжное и продолжительное функционирование аппарата при полной мощности.

Экспериментальная часть подтвердила высокую эффективность выбранных решений. Были проведены успешные летные испытания, в ходе которых аппарат демонстрировал стабильность и управляемость. Полученные данные показали, что привязанный БПЛА может быть использован в различных областях, таких как наблюдение, безопасность и в областях, где необходима высокая степень контроля и стабильности полёта.

В заключение работы подчёркивается, что разработанный БПЛА с мощностью 4,0 кВт обладает значительным потенциалом для дальнейшего усовершенствования и адаптации под специфические задачи. Дальнейшие исследования могут включать разработку усовершенствованных систем автономного управления, интеграцию с дополнительными датчиками и расширение функциональных возможностей для работы в разнообразных условиях эксплуатации.

Таким образом, дипломная работа не только достигла поставленных целей, но и открыла новые перспективы для применения привязанных БПЛА в промышленности и других сферах, что может способствовать инновациям и технологическому прогрессу в области беспилотных летательных аппаратов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 UAV Systems and Swarm Robotics (MDPI).
- 2 Reference Generator for a System of Multiple Tethered UAVs (MDPI).
- 3 The Tethered Multi-Rotor UAV and Its Application in Tactical Communication (Directory of Open Access Journals - DOAJ).
- 4 Официальный сайт компании DJI: www.dji.com
- 5 В.А. Боднер. «Система управления летательных аппаратов» М.: Машиностроение, 1973 г.
- 6 О.С. Салычев, В.В. Воронов, ООО "ТеКнол", М.А. Ильина «Системы управления, стабилизации, навигации, ориентации и наведения» <http://www.teknol.ru/pdf/BLA A4.pdf>

Отзыв

На дипломную работу

Куанышбаев Абылай Галымжанович

специальность_6B07112 – Electronic and Electrical
Engineering

На тему: Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов мощностью 4,0 кВт»

В ходе работы над проектом студент демонстрировал исключительные знания и навыки в областях аэродинамики, электроники и программирования. Эти компетенции были критически важны для разработки и реализации технически сложного проекта. Особенно отмечу вклад студента в разработку уникальной системы привязи, которая обеспечивала аппарату максимальную безопасность и устойчивость в полете.

Прототип беспилотного летательного аппарата был успешно создан и испытан, показывая отличные результаты в выработке мощности и надежности конструкции. Эти результаты подтвердили, что поставленные перед началом работы цели были достигнуты полностью.

В первой главе описывается обзор и применение привязных беспилотных летательных аппаратов. Во второй главе рассмотрено компьютерное моделирование и подбор комплектующих для БПЛА, а также особенности построения многофункционального квадрокоптера и наземной дрон станции. В третьей главе рассмотрено конструктивное и программное построение БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee, а так же тестирование и вид самой модели привязного беспилотного аппарата мощностью 4 кВт.

Дипломная работа Куанышбаева Абылая Галымжановича может быть рекомендована к защите с присвоением ему академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07112 «Electronic and Electrical Engineering» и оценивается на оценку 95 (отлично).

Научный руководитель:
ассоц.профессор каф.ЭТиКТ
к.т.н.



Исембергенов Н.Т.

Исембергенов Н.Т.

« 30 » 05 2024 г.

РЕЦЕНЗИЯ
На дипломную работу

Куанышбаев Абылай Галымжанович

специальность_6B07112 – Electronic and Electrical
Engineering

На тему: Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов мощностью 4,0 кВт»

ЗАМЕЧАНИЕ К РАБОТЕ

В работе студента Куанышбаева Абылая Галымжановича дается построение привязного беспилотного летательного аппарата мощностью 4 кВт для видеонаблюдения, выделяющегося особенностью работы, а так же проектирование собственной модели БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee.

В первой главе описывается обзор и применение привязных беспилотных летательных аппаратов.

Во второй главе рассмотрено компьютерное моделирование и подбор комплектующих для БПЛА, а также особенности построения многофункционального квадрокоптера и наземной дрон станции.

В третьей главе рассмотрено конструктивное и программное построение БПЛА на основе полетного контроллера SpeedyBee, а так же тестирование и вид самой модели привязного беспилотного аппарата мощностью 4 кВт.

Оценка работы

Студент показал хорошее знание теоретического материала, работа выполнена согласно заданию к ДР, соблюдены все стандарты университета по написанию дипломных работ.

Считаю, что дипломная работа выполнена на отлично (А,95%), а дипломант, Куанышбаев Абылай, заслуживает присвоения академической степени бакалавра специальности 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering.

Рецензент
доктор PhD, ассоц.проф.,
Алматинского университета
энергетики и связи им. Г.Даукеева



Сағындыкова А.Ж.

« 27 » 05 2024 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Куанышбаев Абылай Галымжанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов мощностью 4,0 кВт

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 8.7

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 13

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-31

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Куанышбаев Абылай Галымжанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов мощностью 4,0 кВт

Научный руководитель: Налик Исембергенов

Коэффициент Подобия 1: 8.7

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 13

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-31

Дата

Сүңғат Марксұлы

проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Куанышбаев Абылай Галымжанович

Тақырыбы: Разработка привязанных беспилотных летательных аппаратов мощностью 4,0 кВт

Жетекшісі: Налик Исембергенов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 8.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.5

Дәйексөз (35): 1.2

Әріптерді ауыстыру: 13

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 3

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2024-05-31

Күні

Кафедра меңгерушісі

