

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»**

регистрационный номер

Секция: Робототехнические системы (СМ7)

название секции

Разработка аппаратно-технического комплекса двухсредного дрона

название работы

Автор:

Кудрявцев Александр Георгиевич

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа №1517, 11И

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

Худайдатова Роза Рафисовна

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа №1517

место работы

Преподаватель

звание, должность



подпись научного руководителя

АННОТАЦИЯ

Целью работы является разработка аппаратно-технического комплекса двухсредного дрона. Двухсредный дрон представляет собой аппарат способный к перемещению и сбору информации в водной и воздушной средах.

Для разработки аппаратно-технического комплекса потребовалось составить общую схему размещения электронных компонентов, включающую бортовой вычислитель, исполнительные механизмы и датчики. Также были проведены расчеты, на основании которых были подобраны соответствующие электронные компоненты. Затем была составлена общая электрическая схема и произведен монтаж компонентов. В результате серии испытаний, проводимых как в наземной, так и водной среде, были определены особенности работы электронных компонентов в двух различных средах. Тем самым была подтверждена работоспособность всей схемы и дана возможность разработать оптимальную электрическую схему для двухсредного дрона. В область применения данного аппарата входят: научные исследования, спасательные операции, обслуживание подводных структур и экологический мониторинг.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Анализ существующих аналогов.....	5
1. Loon Copter.....	5
2. EagleRay.....	7
3. TJ-FlyingFish.....	8
Определение компонентной базы.....	9
Расположение электроники.....	12
3.1 Разработка схемы электрической принципиальной.....	12
3.2 Компоновка.....	12
Разработка двухсредного аппарата.....	13
Заключение.....	14
Список использованных источников.....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Океанологические исследования не представляются возможными без использования подводных аппаратов. Однако аппараты каждого класса имеют ряд недостатков, которые существенно ограничивают область их применения. В подводной робототехнике отмечается тенденция проектирования гибридных подводных роботизированных комплексов, состоящих из двух аппаратов различных классов.

Беспилотные системы находят свое применение в большом количестве областей нашей жизни. Доставка и транспортировка, геодезия, съёмка медиа-материалов - всё это те задачи, которые выполняют беспилотные летательные аппараты. Особо актуальными направлениями развития беспилотных летательных аппаратов являются повышение степени их автономности и переход к работе в различных средах.

Разработка аппарата способного к двухсредному перемещению, является значительным шагом в области автономных носителей, предназначенных для исследования и мониторинга окружающей среды. Он имеет потенциал для применения в таких областях, как научные исследования, спасательные операции, обслуживание подводных структур и экологический мониторинг, обеспечение морской безопасности. Выполнения таких миссий как проведение анализа отдаленных акваторий и обследование труднодоступных водоёмов — это те задачи, для которых гибридные аппараты подходят лучше всего.

Цель - разработка аппаратно-технического комплекса автономного двухсредного аппарата.

Задачи:

- Анализ существующих аналогов.
- Определение компонентной базы.
- Разработка схемы размещения электронных компонентов.
- Проведение расчетов для точного выбора подходящих компонентов.
- Разработка общей электрической схемы и осуществление монтажа компонентов.

Для создания таблиц и схем были использованы excel и Miro соответственно.

Монтаж схемы был осуществлён пайкой и разъёмными соединениями. Для подключения внешней электроники к полетному контроллеру также использовалось разъёмное соединение, так как оно позволяет быстро отсоединять и подсоединять элементы системы.

Провода от АКБ в свою очередь были запаяны, это было необходимо для обеспечения максимальной надежности и бесперебойности контакта.

Для подтверждения потребляемого тока используемых компонентов, указанного в тех. документации на компоненты, использовались такие инструменты и оснастка, как осциллограф, мультиметр и лабораторный источник питания.

Анализ существующих аналогов

1. Loon Copter.

Дрон представляет собой квадрокоптер, все двигатели бесколлекторные. Для погружения в воду дрон использует блоки плавучести. При приводнении с помощью насоса блоки плавучести заполняются водой, увеличивая массу дрона, что приводит к его погружению. Для передвижения используются обычные бесколлекторные двигатели с возможностью поворота, для изменения функций, выполняемых ими в воде. Управление осуществляется за счет контроллера, расположенного на суше. Напряжение 14,6 В. Скорость под водой без течения 0,5 м/с. Скорость в воздухе 3,6 м/с. Средняя скорость при гибридном испытании 1,0 м/с. Время работы исключительно под водой 22 минуты. Время исключительно полета 11 минут. Гибридное испытание 15 минут, из которых 8 минут полета. Максимальное расстояние подключения 3 метра в глубину и 10 метров в длину. Вес - 2,7 кг.

Использование гидравлического насоса и поршневого бака, облегчает переход воздух-вода и вода-воздух. Эта система погружения достаточно удобна для

установки на раму дрона, а также дает нам возможность поворота на 90 градусов по дифференту и контроля глубины погружения. Сама система состоит из нескольких деталей: корпус транспортного средства, водяной цилиндр, подвижный поршень (раньше упоминается как поршневой бак), двухходовой клапан и водяной насос. Водяные цилиндры могут содержать в себе до 150 мл. воды. Для погружения используется только 100мл. Остальное используется для утяжеления устройства, для увеличения устойчивости устройства и облегчения управления. Двусторонний клапан необходим для удержания воды в водяном цилиндре, поскольку сжатый воздух внутри корпуса будет пытаться вытеснить воду из цилиндра, когда он находится под водой. На рисунке №1 можно увидеть, как аппарат перемещается в подводной среде, за счёт наклона всей конструкции.

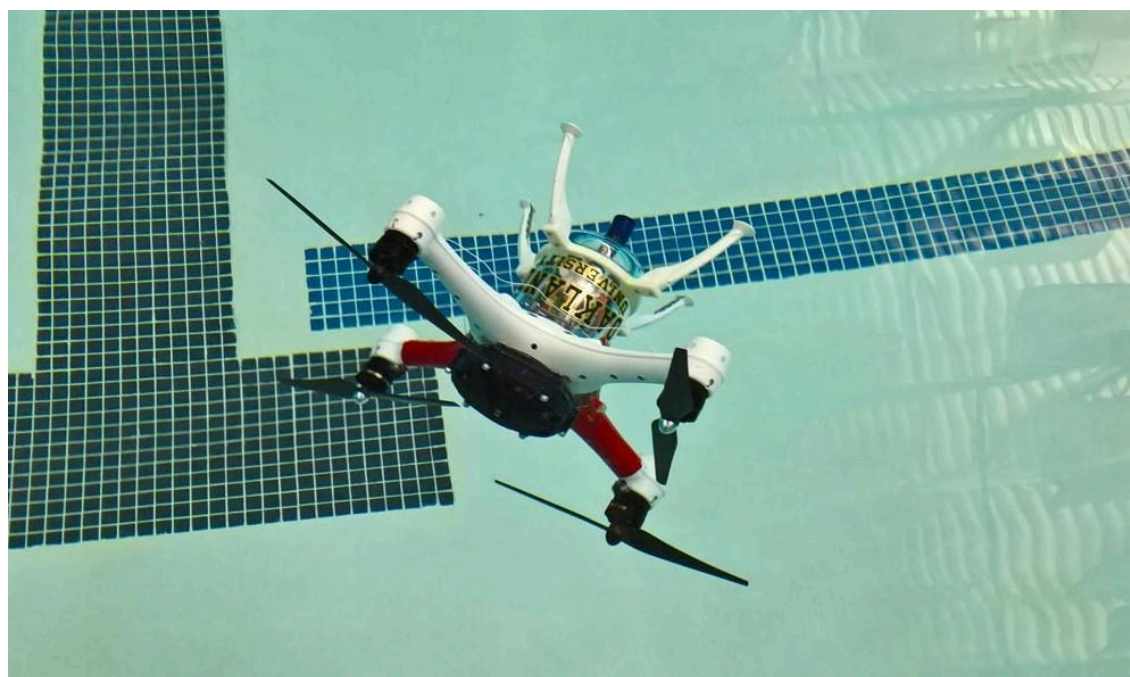


рис. № 1 - Loon Copter под водой

Использование блоков плавучести, заполненных водой, ухудшает устойчивость двухсредного дрона. Расчеты с определением центра тяжести, метацентрической высотой приведены в Приложении А.

Использование бесколлекторных двигателей для гибридного движения помогает облегчить вес устройства в отличие от других устройств (они упоминают существование гибридных аналогов фразой *aerial/aquatic vehicles* как

таковых, однако не прикрепляют название и ссылки на них или на исследование, возможно имеются в виду такие виды дронов по отдельности: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/am-pdf/10.1002/rob.21777>). Для контроля всех двигателей имеются драйверы, в свою очередь управление которыми происходит с помощью Arduino.

Помимо драйверов для работы бесколлекторных двигателей, аппарат также оснащен драйвером гидравлического насоса и низкочастотным передатчиком(72Mhz), который используется для общения дрона с землей. Контроль происходит с помощью контроллера полета Multiwii pro с открытым исходным кодом. Аппаратное обеспечение Multiwii состоит из одного микроконтроллера ATmega2560 и блока инерциальных измерений.

Критика технической реализации устройства:

Скорость устройства крайне мала, в воде она составляет 1,8 км/ч, что в 7 раз медленнее скорости в воздухе, сама же скорость в воздухе лишь в 2 раза превышает человеческую и заметно проигрывает в скоростных характеристиках другим дронам (Качественный дрон легко может достичь скорости 10 м/с, что почти в 3 раза быстрее). Дрон имеет проблемы с автономностью, из-за отсутствующей системы самостоятельного управления, квадрокоптер не может удаляться на большое расстояние от источника команд. Блоки плавучести и насосы значительно утяжеляют конструкцию, а также уменьшают ее маневренность (с другой стороны, дополнительная масса придает стабильности положению дрона в воде). Сама по себе система слишком сильно зависит от работы водяных насосов, работа которых навряд-ли может быть легко оптимизирована. Внешний вид дрона является его слабой стороной, несмотря на грамотное расположения центра масс и плавучести во всех его положениях, слабая обтекаемость не является плюсом устройства.

2. EagleRay

EagleRay представляет собой дрон с жестким крылом. Благодаря особой конструкции, EagleRay способен летать, нырять в воду, плавать по поверхности воды и проводить подводную разведку. EagleRay, помимо всего прочего, имеет на

поверхности солнечные панели, которые позволяют ему подзаряжаться, пока он плавает по поверхности воды или летает в воздухе. Перед тем, как нырнуть, дрон не складывает крылья, как большинство существующих аналогов. Размах крыльев дрона составляет 150 сантиметров, а длина дрона равняется 140 сантиметрам. Пропеллер в носовой части летательного аппарата позволяет дрону без проблем перемещаться как в воде, так и в воздухе. Двигатель расположен на носу, имеет возможность совершать посадку на водную поверхность и покоится на ней. На рисунке №2 можно рассмотреть внешний вид устройства.

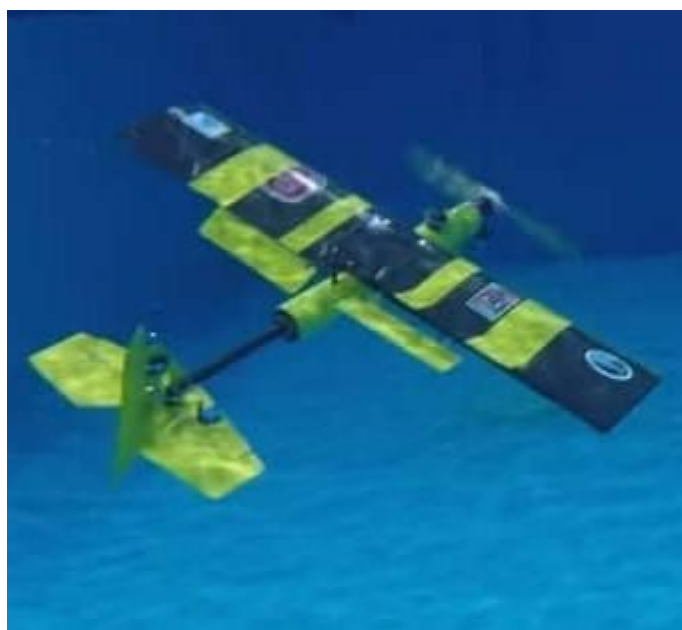


рис. № 2 - EagleRay под водой.

Критика технической реализации устройства:

У устройства достаточно ограничены степени свободы вращательного движения. Дрон не может останавливаться под водой, так же, как и замедляться, следовательно работоспособность такого дрона осуществить гораздо сложнее. Такое устройство крайне трудно в реализации со стороны конструкции, так как требуется проводить большое количество дополнительных расчетов, чтобы получить нужную обтекаемость дрона, с которой он не имеет шанса утонуть, а также такую конструкцию, при которой его центр тяжести не будет смещен (для глайдера, смещенный центр масс более опасная проблема, чем для коптера, у второго мощность работы двигателей можно отрегулировать за счет калибровки).

3. TJ-FlyingFish

Аналогично первому устройству, под водой дрон передвигается за счёт изменения положения двигателей. В отличие от предыдущего, устройство опускается под воду за счёт тяги от винтов, а также поворот движителей происходит не за счёт наклона самого аппарата, а с помощью специальных поворотных механизмов, не влияющих на всё устройство в целом. Однако, проблема медленного передвижения и сложности управления остаётся такой же, а вопрос сложности программирования кратно увеличивается, так как теперь также необходимо рассчитывать отклонения каждого движителя отдельно (в демонстрации движители отклоняются не симметрично).

Благодаря сравнению аналогов, были определены необходимые электронные компоненты, а также проведен анализ, результатом которого стало решение использовать телеметрию для полноценной связи с аппаратом. В основном в приведенных аналогах используется только пультовое управление, без возможности отправки дополнительных данных с дрона, а для полноценной работы двухсредного автономного аппарата этого недостаточно.

Определение компонентной базы

Важной частью любого устройства являются процессор, отвечающий за все операции системы и скорость их выполнения, однако одного его для работы всей системы будет недостаточно, для полноценной работоспособности аппарата ему также необходимы внешние датчики, которые должны подключаться к микропроцессору, а также sd-карта, являющаяся хранилищем памяти устройства.

Все элементы этой системы объединяются в полетном контроллере, который отвечает за управление устройством, именно благодаря нему аппарат может ориентироваться в пространстве. На данный момент в мире существует большое количество различных полетных контроллеров, каждый из которых имеет свое назначение и серию преимуществ. В автономном двухсредном

аппарате было решено использовать контроллер Pixhawk 2.4.8, так как он имеет ряд важных особенностей.

Во-первых, Pixhawk 2.4.8 обладает встроенными акселерометром и гироскопом. Стоит пояснить, что акселерометр отвечает за измерение ускорения движения во всех направлениях, а гироскоп - вращения, две эти микросхемы необходимы для того, чтобы коптер мог управлять своим положением в воздухе. А тот факт, что они изначально встроены в микроконтроллер позволяет не беспокоиться об их внешнем подключении.

Во-вторых, устройство снабжено специальной защитной системой для микропроцессора, что не только уменьшает погрешность в результате тряски устройства, но и защищает устройство в случае резких падений с большой высоты. К тому же этот полетный контроллер обладает удобными выходами для подключения электроники, в том числе необходимые UART-разъемы, один из которых совместим с высоким напряжением, а два других (всего UART-разъемов пять) используют механизм управления потоком. Этот механизм подразумевает наличие двух дополнительных контактов на разьеме RS232, RTS (запрос на отправку) и CTS (разрешение на отправку). Благодаря этому приемник и передатчик могут оповещать друг друга о своем состоянии. Для подключения компонентов двухсредного дрона к контроллеру наиболее важны такие разъемы как SBUS, TELEM1, POWER, GPS и выходы для подключения двигателей - Main out; порты BUZZER, SWITCH нужны для непосредственной настройки контроллера и связи с ним. Так же Pixhawk 2.4.8 запрашивает не только встроенные датчики, но и все подключенные внешне, что позволяет сильно упростить схему питания и не создавать лишних узлов. На рисунке №3 можно подробнее рассмотреть внешний вид полетного контроллера Pixhawk 2.4.8



рис. № 3 - полетный контроллер Pixhawk 2.4.8.

Далее предстояло выбрать какие использовать двигатели: коллекторные или бесколлекторные. Бесколлекторные двигатели могут достигать большей мощности при тех же размерах, да и радиопомехи от них меньше. Их главный плюс - возможность работы в водной среде. К сожалению, коллекторные двигатели в данном сравнение могут выигрывать только лишь в вопросе цены. Поэтому выбор был сделан в пользу бесколлекторных двигателей, которые позднее в натурных испытаниях смогли себя оправдать. Остальные электронные компоненты, среди которых: GPS-модуль, телеметрия, ресивер и пульт управления, драйвера, а также понижающее напряжение устройство, выбирались исходя из их совместимости с уже имеющимися компонентами. Питание происходит от литий-полимерной аккумуляторной батареи 4S (14,8 В).

Расположение электроники

3.1 Разработка схемы электрической принципиальной

Одна из основных задач в создании аппаратно-технического комплекса двухсредного дрона - визуализации взаимосвязей между электрическими компонентами. Для этого была создана электрическая принципиальная схема, которая представлена в приложение Б.

На ней расположены все электронные компоненты и их соединения. Центром схемы является описанный ранее микроконтроллер Pixhawk. Его посредством преобразователя напряжения питает 4S-батарея ($\approx 14.8\text{В}$). Также от батареи напрямую запитаны драйверы как воздушных, так и водных двигателей, а сигнальные провода используемых драйверов подключены к контроллеру. Все датчики подключены к контроллеру без дополнительного элемента питания.

3.2 Компоновка

В дальнейшем был выбран Х-образный тип рамы, поскольку такая конструкция считается максимально надежной и предупреждает расшатывание системы. Исходя из этого на лучах были расположены драйверы, а на их концах сами двигатели. В целом, вся модель очень похожа на обычный прототип воздушного дрона, но ее главным отличием является наличие двух водных двигателей и двух прочных корпусов (нижний и верхний). Такое количество корпусов было оптимальным для сохранения центра масс в центре рамы. В одном из них находится аккумуляторная батарея и модуль питания (он отвечает за подачу пониженного до 5В напряжения на полетный контроллер). Во втором блоке располагается Pixhawk и вся, подключаемая к нему электроника. Двух водных двигателей в совокупности с возможностью использования воздушных в водной среде вполне достаточно для полноценной, автономной работы дрона в обеих средах.

Разработка двухсредного аппарата

Разработка устройства была разделена на 4 этапа: эскизный проект, создание первого, второго и третьего прототипа. В рамках эскизного проекта, проводилась подборка электроники, анализ аналогов, проектирование внешнего вида устройства, выбор одной определенной идеи реализации устройства.

После завершения эскизного проекта, была начата работа с первым прототипом, в первую очередь целью его создания было выявление всех необходимых элементов для создания обычного дрона, способного перемещаться в воздушной среде. Также проходило знакомство с системой навигации Ardupilot. К сожалению рама аппарата не обладала достаточной прочностью и жесткостью, чтобы обеспечить полетоспособность квадрокоптера. На рисунке №7 показан внешний вид собранного первого прототипа.

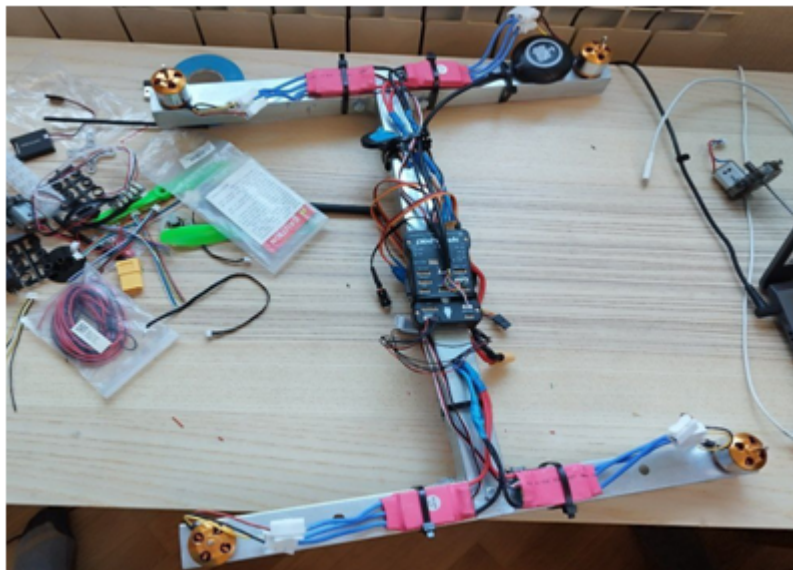


рис. № 5 - первый прототип

Несмотря на проблемы с самой конструкцией удалось запустить двигатели устройства, так что было принято решение приступить к разработке второго прототипа, который будет обладать более надежной конструкцией и сможет послужить основой для последующих модификаций. Конструкция второго прототипа была напечатана на 3Д

принтере, а в качестве блоков хранения для электроники использовались герметичные контейнеры для питания. На рисунке №8 изображен собранный второй прототип.



рис. № 6 - второй прототип (в процессе испытания)

Лётные испытания второго прототипа прошли успешно, поэтому было решено приступить к разработке третьего прототипа, за счет модификации конструкции второго. На данный момент работа над ним еще ведется, печатаются насадки для маршевых двигателей, проводится герметизация и укрепление конструкции. На рисунке №9 показан рендер третьего прототипа.



рис. № 7- рендер третьего прототипа

Заключение

В результате проделанной работы было разработано и испытано несколько прототипов финального устройства. Натурные испытания показали возможность стабильного перемещения аппарата в воздушной среде. Были проанализированы существующие аналоги и их электронные компоненты, на основе которых начал создаваться итоговый вид аппаратного комплекса автономного двухсредного аппарата.

В дальнейшем планируется завершить создание третьего прототипа и провести испытания подводного перемещения без использования автономной системы управления. В случае успеха испытаний будет внедряться автономная система управления.

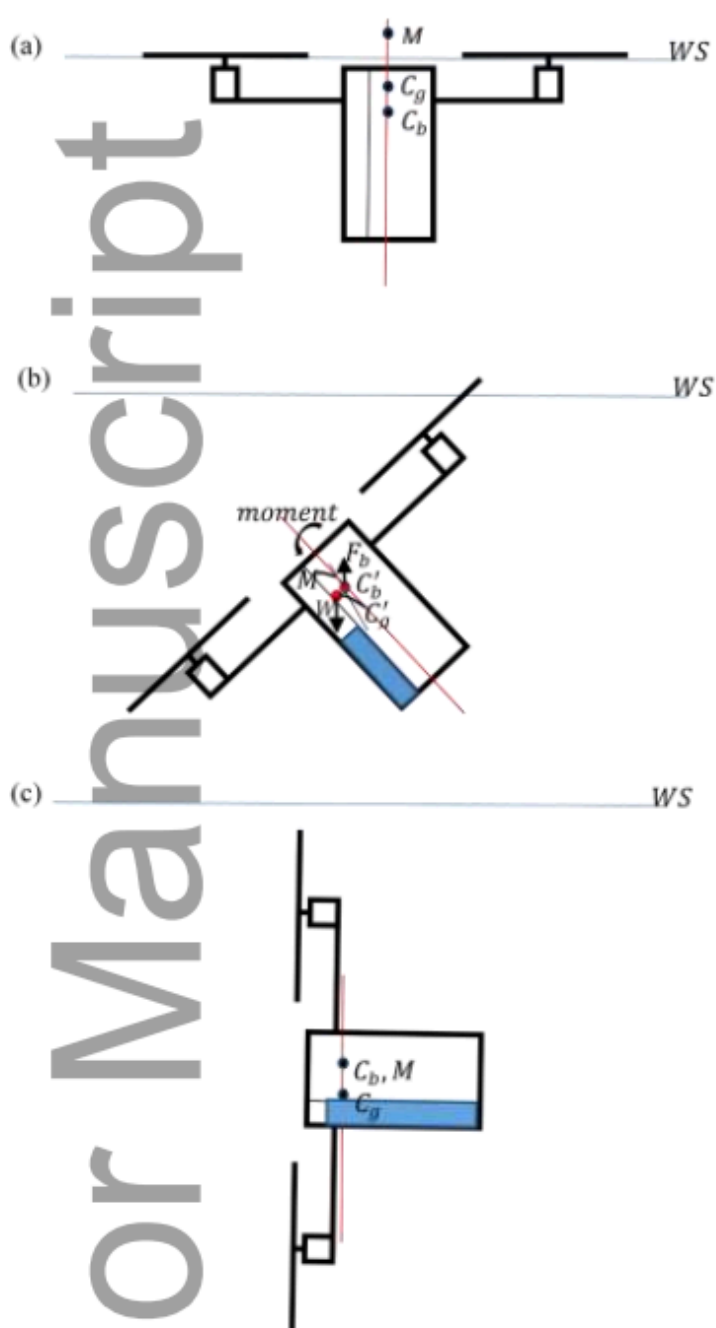
Список использованных источников

1. Betaflight wiki // Betaflight URL: <https://betaflight.com/docs/wiki> (дата обращения: 02.09.2023).
2. iNavFlight // GitHub URL: <https://github.com/iNavFlight/inav> (дата обращения: 02.09.2023).
3. Ardupilot Documentation // Ardupilot URL: <https://ardupilot.org/ardupilot/> (дата обращения: 02.09.2023).
4. Ardupilot // Pixhawk wiring quick start: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-wiring-and-quick-start.html>
5. Двухсредные беспилотные летательные аппараты // cyberleninka.ru URL: Макаров Ю. В. Летательные аппараты МАИ. - МАИ, 1994
6. Полтавский А.В., Семенов С.С., Бурба А.А., Нгуен З.Ф. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ: Информационные процессы в технике. Моделирование систем и объектов многофункциональных робототехнических комплексов беспилотной авиации. - 2019

7. Двухсредные летательные аппараты: что это и как они работают // v28.wdzd.ru URL: <https://v28.wdzd.ru/dvuxsrednye-letatelnye-apparaty-cto-eto-i-kak-oni-rabotayut/> (дата обращения: 19.09.2023).
8. Loon Copter: Implementation of a Hybrid Unmanned Aquatic-Aerial Quadcopter with Active Buoyancy Control // onlinelibrary.wiley URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/am-pdf/10.1002/rob.21777> (дата обращения: 24.08.2023).
9. EagleRay: дрон, способный одинаково хорошо и плавать под водой, и летать в воздухе // hi-news URL: <https://hi--news-ru.turbopages.org/hi-news.ru/s/technology/eagleray-dron-sposobnyj-odinakovo-xorosho-i-plavat-pod-vodoj-i-letat-v-vozduxe.html> (дата обращения: 24.08.2023).
10. <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuxsrednye-bespilotnye-letatelnye-apparaty/viewer> (дата обращения: 11.09.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Loon Copter. Расчеты с определением центра тяжести



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Электрическая принципиальная схема

