



## ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА НА БАЗЕ 5-ТИ ДЮЙМОВОГО КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ ПИЛОТИРОВАНИЯ И АВИАМОНИТОРИНГА ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

**А. С. Костин, Ю. А. Силин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье рассмотрены основные элементы беспилотной авиационной системы мультироторного типа, необходимые для сборки спортивного (гоночного) квадрокоптера для пилотирования от первого лица с применением специальной камеры и шлема. Проведён анализ классификаций компонентов для различных видов спортивных квадрокоптеров, а также на практике были отобраны оптимальные компоненты для сборки беспилотной системы на базе 5-ти дюймовой рамы с приведением итоговых результатов практического применения собранной конструкции. Приведены оконные формы конструкции и сравнение летных характеристик. В статье приведена принципиальная схема подключения электронных компонентов бортовой системы квадрокоптера. В результате выполненного анализа комплектующих выполнена практическая реализация гоночного квадрокоптера и представлено практическое исследование полетных режимов в лаборатории беспилотных авиационных систем инженерной школы ГУАП.*

*Ключевые слова: гоночный квадрокоптер, FPV пилотирование, FPV, сборка квадрокоптера, компоненты квадрокоптера.*

### **Для цитирования:**

*Костин А. С., Силин Ю. А. Проектирование беспилотной авиационной системы мультироторного типа на базе 5-ти дюймового квадрокоптера для отработки навыков пилотирования и авиамониторинга от первого лица // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(34), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП. - 2022 – с. 125-134. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-4-125-134.*

## DESIGN OF UNMANNED AERIAL SYSTEM OF MULTIROTOR TYPE BASED ON A 5-INCH QUADCOPTER TO PRACTICE PILOTING SKILLS AND FIRST-PERSON AERIAL MONITORING

**A. S. Kostin, Y. A. Silin**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*In this article the basic elements of an unmanned aerial system of multirotor type, necessary for the assembly of a sports (racing) quadcopter for first-person piloting using a special camera and helmet, are considered. An analysis of classifications of components for different types of sports quadcopters was carried out, and in practice the optimal components for the assembly of an unmanned aircraft system based on a 5-inch frame with the final results of the practical application of the assembled design were selected. The window forms of the design and a comparison of the flight characteristics are given. The article provides a schematic diagram of the connection of electronic components of the quadcopter on-board system. As a result of the performed analysis of the components, the practical implementation of the racing quadcopter is performed and the practical study of flight modes in the laboratory of unmanned aircraft systems of the SUAI engineering school is presented.*

*Keywords: racing quadcopter, FPV piloting, FPV, quadcopter assembly, quadcopter components*

### **For citation:**

*Kostin A. S., Silin Y. A. Analysis of distributions types for modeling flow of ships in the passenger port// System analysis and logistics.: №3(29), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2022 – p. 125-134. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-4-125-134.*

### **Введение**

Беспилотные авиационные системы (далее БАС) – это развивающийся сегмент мирового рынка высокотехнологичных отраслей. Беспилотные летательные аппараты активно применяют в различных областях – мониторинг, доставка грузов, видеосъемка, работа МЧС. С увеличением задач, выполняемых беспилотниками, повышается спрос на специалистов и



подготовку квалифицированных кадров.

Ручное пилотирование беспилотной авиационной системы [1] от первого лица является одним из направлений эксплуатации, в рамках которого оператор воздушного судна управляет моделью с помощью видеосигнала, получаемого в реальном времени с борта дрона [1]. Оператор, управляющий авиамodelью, видит изображение, получаемое с видеокамеры при помощи монитора или специального First Person View -шлема (далее – FPV, вид от первого лица/пилотирование модели от первого лица). Чаще всего такие системы ставятся на квадрокоптеры.

Основной особенностью спортивных FPV квадрокоптеров заключается в том, что подобные беспилотные авиационные системы мультироторного типа [1] могут развивать скорость до 200 км/ч и улетать на расстояние до 20 километров, при наличии соответствующего оборудования.

Дроны мультироторного типа более маневренны и более стабильны во время полета, менее зависимы от погодных условий (выше стабильность во время сильного ветра) и имеют возможность вертикального взлета и посадки. Во время выполнения авиамониторинга возможно поставить точки, в которых дрон должен приостановить выполнения полета и выполнить фото-видеосъемку. Однако, за счет того, что на дронах установлено гораздо больше электродвигателей, нет подъемной силы от неподвижных крыльев (т.к. они не устанавливаются на дроны мультироторного типа), а также нет возможности установить ДВС (двигатель внутреннего сгорания), то и автономность таких ВС ограничена 30 – 70 минутами полета, тогда как ВС самолетного типа способны проводить в воздухе до нескольких суток.

Все эти беспилотные воздушные суда (далее БВС) применяются для получения данных авиамониторинга и в дальнейшем эти данные обрабатываются для решения различных задач, например моделирование застройки транспортно–пересадочных узлов, автомобильных дорог, оценка состояния инфраструктуры [1,17]. На рис. 1 приведен практический пример цифровой модели участка транспортной сети с помощью данных от беспилотной авиационной системы.



Рис. 1. Пример трехмерной модели перекрестка на основе данных от беспилотной авиационной системы (согласно работам [2,3,4])

За счет применения БАС повышается скорость проведения авиамониторинга [5], так как получить разрешение на запуск и исследование местности проще, чем в малой авиации, достаточно высокое качество данных, за счет применения спец подвесов. Однако необходимо правильно подойти к выбору БАС и комплектующих для нее, далее рассмотрим основные элементы, из которых состоит беспилотная авиационная система на примере квадрокоптера [6,7].



Для данного проекта была поставлена следующая цель: сборка гоночного FPV квадрокоптера, предназначенного для полётов как на открытом пространстве, так и в небольших залах.

Квадрокоптер – это беспилотная авиационная система мультироторного типа с 4-мя моторами и структурой вращающегося крыла. Данный тип дронов обладает возможностью вертикального взлета и посадки, а также может зависать в воздухе в заданных координатах. Данный тип летательного аппарата относительно стабилен во время полета, за счет установки полетного контроллера, а также относительно прост в управлении за счет стабилизации относительно горизонта. Квадрокоптер состоит из различных элементов, представленных на рис.2

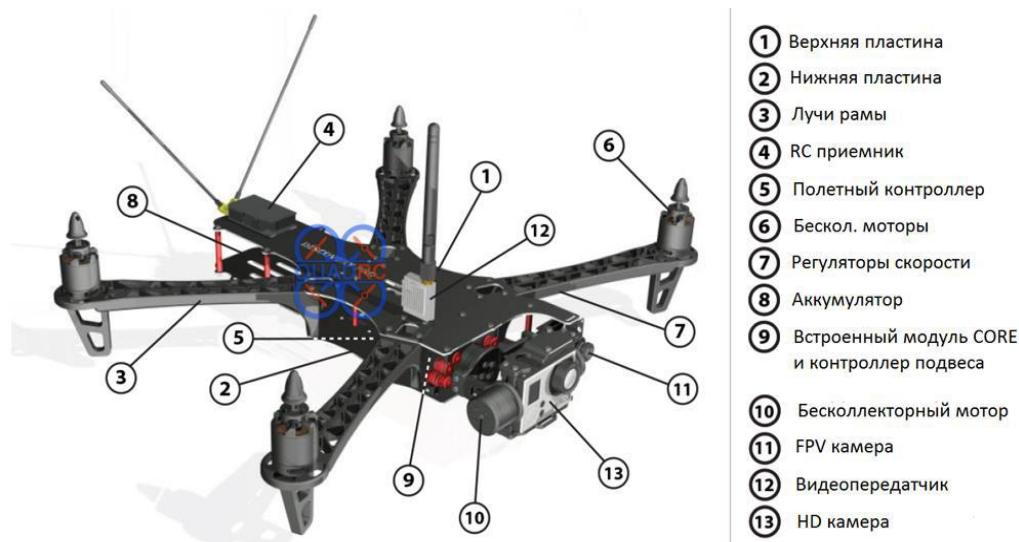


Рис. 2. Основные модули квадрокоптера (согласно [1])

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 локатор, оптический датчик, тепловизор, камера и другое оборудование (на основе детальной информации в [1]).

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 замедление вращающихся против часовой стрелки происходит поворот.

### **Основные компоненты гоночного квадрокоптера. Обоснование выбора конструкции.**

Основными компонентами гоночного квадрокоптера являются:

1) Рама – основной и несущий элемент конструкции квадрокоптера [1,6,7]. В основном выполняется из прочного пластика или карбона для обеспечения лёгкости, прочности и устойчивости к изгибам. В некоторых конструкциях рама может иметь дополнение в виде специальной защиты для пропеллеров. Диагональный размер таких рам чаще всего 120 – 150



мм. Квадрокоптеры на них создают из себя подкласс *cinewhoop*, оборудуются экшн-камерой и используются в основном для безопасной и качественной видеосъемки. Рамы гоночных квадрокоптеров имеют следующую классификацию:

Таблица 1 – Классификация рам для гоночных квадрокоптеров

Диагональ и размер рамы, мм	Размер пропеллера в, дюймах	Возможность аэросъемки в высоком качестве	Особенности	Оптимальное место для полёта, не считая открытого пространства
≥280	≥7,	Да	Подходят для длительных полётов	нет
220-250	6	Да	Подходят для длительных полётов	нет
180-220	5	Да	Оптимальное соотношение размера и мощности для гонок	Большие помещения
120-150	3	Да	Может устанавливаться карбоновая защита пропеллеров для безопасной аэросъемки в зданиях	Средние помещения
75≥	1≥	Нет	Оптимальны для гонок внутри здания	Маленькие помещения

Для сборки гоночного квадрокоптера было принято решение использовать раму диагональю 220 мм под пропеллер размером 5 дюймов

2) Моторы. Для спортивных квадрокоптеров оптимальнее использовать бесколлекторные моторы из-за их высокого коэффициента полезного действия и возможности поддерживать высокие обороты [1,8,9,10].

Одним из основных параметров бесколлекторного мотора является его размер. Он обозначается четырёхзначным числом, первые две цифры которого являются диаметром, последние две цифры являются высотой мотора [8,9].

Следующим основным параметром является значение kv. (Kv – это количество оборотов в минуту на единицу напряжения. Он показывает на сколько увеличатся обороты мотора без нагрузки (без пропеллера), при увеличении подаваемого напряжения на 1 вольт).

Таблица 2 – Классификация моторов для гоночных квадрокоптеров

Диагональный размер рамы, мм	Размер двигателя	Значение kv	Рабочий ток регулятора оборотов в амперах
280 и более	2212 и более	1000 и менее	45 и более
220-250	2204-2208, 2306	2000 – 2300	40
180-220	2004-2208	2300 – 2600	30
120-150	1204 - 1406	3600 – 6000	15
75 и менее	0702-1202,5 и менее	6000 и более	5





Для сборки гоночного квадрокоптера были выбраны моторы размером 2306 и значением kv 2300. Так же были выбраны стандартные гоночные трёхлопастные пропеллеры.

3) Регуляторы оборотов имеют аббревиатуру ESC, что расшифровывается как electronic speed controller - электронный контроллер скорости [1,11,12]. Они используются для регулирования скорости вращения двигателей, ориентируясь на команды полетного контроллера. Регуляторы оборотов бывают следующих типов:

- a) в виде отдельной платы для каждого мотора. Преимущество их заключается в простой замене в случае выхода из строя, а недостаток в размере и весе;
- b) плата регуляторов 4 в 1. На одной плате размещаются регуляторы для всех моторов сразу. Преимущество такой платы в компактности, недостатком является необходимость замены всей платы в случае выхода из строя одного регулятора;
- c) регуляторы оборотов, встроенные в полётный контроллер. Преимущество состоит в компактности и маленьком весе, а не недостаток в плохой надежности.

Для сборки гоночного квадрокоптера были выбраны регуляторы оборотов в виде отдельных плат с рабочим током 40 ампер.

4) Полетный контроллер - устройство, обеспечивающее полёт квадрокоптера, за счет управления газом, углами крена, тангажа и рысканья. Полётные контроллеры делятся на классы по сериям процессоров, по размерам и по форме.

Серии процессоров полётного контроллера следующие:

- *F1*- Самый медленный тип полетных контроллеров. Не выпускаются с 2017, так как устарели. Имеют тактовую частоту 72МГц и объём памяти 128 кб.
- *F3* - Первые полётные контроллеры на F3 появились в 2014 году, в настоящее время наиболее популярны: X-Racer, Betaflight F3. Имеют тактовую частоту 72 МГц и объём памяти 256 кб.
- *F4* - ПК на F4 появились вскоре после F3, и быстро стали набирать популярность благодаря большим вычислительным мощностям. Таких ПК выпускается всё больше и больше. Имеют тактовую частоту 168 МГц и объём памяти 1 МВ.
- *F7* — новейшее поколение микроконтроллеров, они только начинают завоевывать рынок. Полетных контроллеров на их основе становится все больше и больше. Имеют тактовую частоту 216 МГц и объём памяти 1МВ. Существенным недостатком таких полётных контроллеров является их высокая стоимость.

Основные размеры полётных контроллеров:

- 45\*45 мм используются на рамах размером до 120 мм;
- 30\*30 мм используются на рамах размером до 75 мм;
- 20\*20 мм и 16\*16 мм используются на рамах размером от 75 мм и менее.

В большинстве полетных контроллеров присутствует плата OSD (On Screen Display), которая используется для вывода информации на дисплей. Примеры информации для вывода на дисплей: уровень горизонта, уровень заряда аккумулятора, текущая высота, скорость, количество оборотов двигателей в секунду, уровень сигнала.

Некоторые модели полётных контроллеров могут иметь конструктивные особенности, такие как встроенный DC-DC преобразователь для возможности питания других компонентов квадрокоптера, встроенные регуляторы оборотов, GPS модуль.

Полетный контроллер оснащен набором миниатюрных измерительных устройств (датчиков), которые лежат в основе инерциального измерительного блока.

Инерциальный измерительный блок или система инерциальной навигации (от англ. IMU – Inertial Measurement Unit) – это система, которая определяет своё положение в пространстве используя свойства инерции тел, то есть определяет на какой угол и по какой оси она была повернута и была смещена относительно начальной точки. Измерительный блок включает в



себя датчики линейного ускорения (акселерометр) и угловой скорости (гироскоп). Основной задачей датчиков на полетном контроллере является непрерывное получение навигационных данных для математических расчетов микроконтроллером (микропроцессором), который устанавливает положение беспилотника относительно горизонта и обнаруживает изменения углов ориентации, относительно его предыдущего положения в пространстве, затем направляет данные в электронные регуляторы оборотов двигателей (ESC). Вычисленные данные микроконтроллером позволяют обеспечивать полет мультикоптером, управляя газом, углами крена, тангажа и рысканья (throttle, pitch, roll, yaw). Современные датчики положения и ускорений используемые при управления беспилотными летательными аппаратами основаны на технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) [1,9,10].

5) Плата распределения питания. Используется для распределения питания на компоненты квадрокоптера. Не ставится на квадрокоптеры в тех случаях, когда используется полётный контроллер со встроенными регуляторами. Может содержать в себе DC-DC преобразователи и регуляторы оборотов.

6) FPV камера. Используется для передачи изображения на видеопередатчик. Классифицируются по размерам [1,8,9]. Основные размеры: стандарт 28\*28 мм, мини – 21\*21 мм и микро 19\*19 мм. Так же FPV камеры могут иметь два вида соотношения сторон передаваемого изображения – это 3:4 и более популярный формат 16:9. Разрешение таких камер чаще всего 640\*480 пикселей.

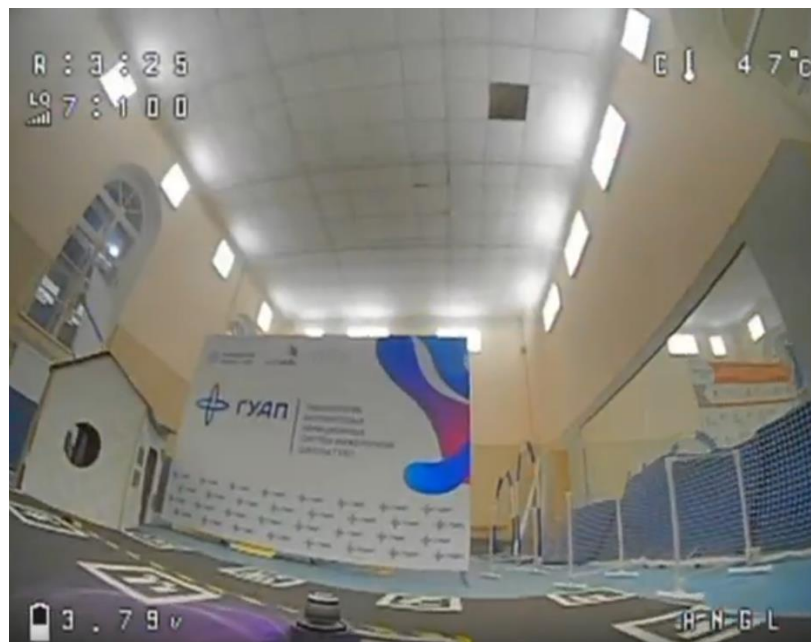


Рис. 3. Изображение с камеры квадрокоптера с выводом телеметричной информации о состоянии воздушного судна

Для сборки данного квадрокоптера была выбрана камера размером 28\*28 мм и форматом 16:9.

7) FPV видеопередатчик – это устройство, передающая изображение с FPV камеры на монитор полота с минимальной задержкой. Основной характеристикой видеопередатчика является его мощность. От неё зависит дальность трансляции видеосигнала. Видеопередатчики бывают мощностью от 10 милливатт до 10000 милливатт. На некоторых видеопередатчиках есть возможность регулирования мощности. Так же в них иногда встраивают микрофоны для передачи аудиосигнала.

Для сборки был выбран видеопередатчик мощностью 200 милливатт.

8) Антенна. Антенны для FPV передатчиков делятся по типу поляризации и по



направленности. Поляризация антенн: линейная поляризованная антенна излучает целиком в одной плоскости, содержащей направление распространения, а в круговой поляризованной антенне плоскость поляризации вращается по кругу, совершая один полный оборот за один период волны.

Направленность антенн: всенаправленные антенны распространяют видеосигнал на 360 градусов, а направленные антенны распространяют сигнал в одном направлении, но с большей мощностью, что позволит летать дальше в определённом направлении, но не позволит летать вокруг приемника. На видеопередатчике должна стоять такая же антенна, как и на видеоприемнике. Это важно для получения видеосигнала с минимальным количеством помех.

9) Аккумулятор – служит источником питания квадрокоптера. Для гоночных квадрокоптеров используются литий-полимерные аккумуляторы, так как они могут выдавать высокий ток, а также у них практически отсутствует эффект памяти заряда. Классифицируются по количеству ячеек, а также по ёмкости. Максимальное допустимое напряжение одной ячейки аккумулятора 4.2 вольта, а минимальное 3.3 вольта [1,8,9,10].

Таблица 3 – Классификация аккумуляторов применительно к гоночным квадрокоптерам

Размер рамы	Оптимальное количество ячеек аккумулятора	Оптимальная емкость аккумулятора в миллиамперах
280 и более	2-6	2000 и более
220-250	3-6	1350 - 2200
180-220	3-6	1350
120-150	2-3	800
75 и менее	1-2	450 и менее

Для сборки были выбраны аккумуляторы с четырьмя ячейками и ёмкостью 1500 миллиампер.

10) Радиоприёмник – это устройство для приёма сигнала с пульта пилота и передачи его на полётный контроллер. Чаще всего имеют частоту 2.4 гигагерц и имеют рабочую дальность до одного километра. В зависимости от конструкции могут иметь одну или две встроенные антенны.

Для сборки был выбран приёмник на частоте 2,4 гигагерц с двумя встроенными антеннами и рабочей дальностью до 5000 метров на базе протокола вещания ExpressLRS.

### **Процесс сборки беспилотной авиационной системы мультироторного типа для пилотирования от первого лица**

Сборка электронных компонентов квадрокоптера осуществлялась по схеме, представленной ниже (рис.4). На схеме также представлена нумерация моторов и направление их вращения для правильной установки пропеллеров. Для настройки полётного контроллера использовался конфигуратор с открытым исходным кодом *betaflight*. Все настройки зачастую предустановлены производителем, поэтому нужно было только настроить подключение аппаратуры управления [13,14,15,16,17]. На раму так же были установлены поролоновые накладки для уменьшения урона при падении на твёрдые поверхности.

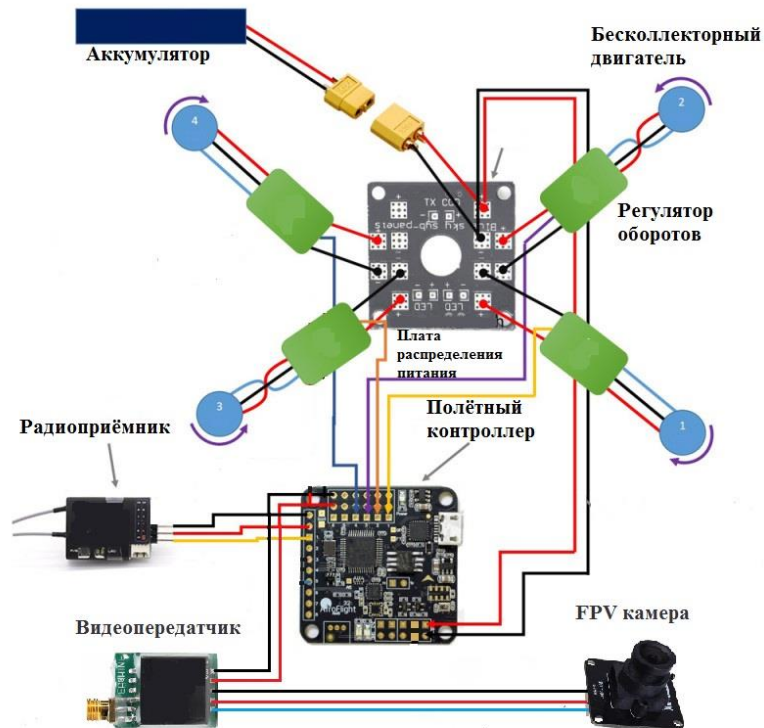


Рис. 4. Принципиальная схема подключения электронных компонентов бортовой системы квадрокоптера

После проектирования и анализа компонентов, представленных выше, была произведена сборка беспилотной авиационной системы мультироторного типа, была выполнена настройка бортовых систем для эксплуатации данного дрона от первого лица и были выполнены летные испытания. На рис. 5 представлена итоговая версия беспилотной авиационной системы.



Рис. 5. Практический результат проектирования беспилотной авиационной системы мультироторного типа

Благодаря использованию эргономичной рамы удалось достаточно компактно разместить все электронные компоненты беспилотной авиационной системы. Камера имеет поворотный механизм вверх – вниз, за счет чего можно регулировать угол обзора, в зависимости от поставленной задачи. На лучах рамы удалось разместить регуляторы оборотов электродвигателей, за счет чего увеличилась эффективность использования доступного пространства. Рама имеет достаточно большую жесткость, что позволяет провести испытания данной системы в сложных режимах эксплуатации.





## Заключение

Результатом проделанной работы стал гоночный квадрокоптер, способный разогнаться до 170 км/ч. Скорость замерялась при помощи GPS-приёмника. Среднее время полёта на одном аккумуляторе составляет около 8-ми минут. Дальность полёта без значительной потери радиосигнала составляет 800 м, высота 200 м. На данном квадрокоптере возможна эксплуатация как в уличных условиях, так и в закрытом помещении, например в залах среднего размера (50 – 70 м<sup>2</sup>). Полёты в небольших помещениях тоже возможны, однако из-за высокой скорости и большой подъемной силы данной беспилотной системы крайне затруднены ввиду высоких требований к оператору данного дрона, поэтому для обучения эксплуатации данной системы требуются большие пространства.

В будущем для защиты от внешней среды, погодных факторов возможно будет осуществить гидроизоляцию, которая позволит летать в небольшой дождь или снег, а также установить более мощный видеопередатчик и радиоприёмник с частотой 900 мегагерц для осуществления полётов на большие дистанции, что позволит увеличить общий радиус действия данной системы. Благодаря модульной конструкции данной системы, ремонт, в случае возникновения неисправностей достаточно прост, также возможны улучшения данной системы и в силовой части (замена моторов, пропеллеров, аккумулятора на более эффективные аналоги) и в части бортовых систем, в зависимости от поставленных задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костин А. С.* Эксплуатация беспилотных авиационных систем / А. С. Костин, Т. Ю. Карпова, Н. Н. Майоров; под ред. д-ра техн. наук Н. Н. Майорова. // СПб.: ГУАП, 2021. – 167 с.
2. *Судариков В. Н.* Основы аэрофотосъемки / В. Н. Судариков, О. Н. Калинина // Оренбург.: ФГБОУ ВПО «ОГУ», 2013. – 307 с.
3. *Понтус А. Р.* Геоэкологический мониторинг протяженных инженерных объектов с использованием материалов аэрокосмосъемки и метода магнитной томографии / А. Р. Понтус, М. С. Кудряков // Современные проблемы геологического картирования. 2016. – №1. – С. 138-140.
4. *Dobrovolskaia A.* Research the application of data from unmanned systems for the development of micromobility and modernization of urban infrastructure / A. Dobrovolskaia // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF) 2021 / SUAI. Saint-Petersburg. 2021. 9470674. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470674.
5. *Бондарев А. Н.* Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах / Р. В. Киричек, А. Н. Бондарев // Информационные технологии и телекоммуникации. -2016. -№ 4(4). -С. 13–23.
6. *How J. P.* Linear Flight Control Techniques / J. P. How, E. Frazolli, G.V. Chowdhary // Handbook of Unmanned Aerial Vehicle. Dordrecht; L.: Springer, 2015. – P. 529 – 576.
7. Рама для квадрокоптера. [Электронный ресурс]. – URL: <https://profpv.ru/kak-vybrat-ramu-dlya-kvadrokoptera-os> (дата обращения: 23.11.2021).
8. Классы квадрокоптеров. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/dronk/blog/389449> (дата обращения: 23.11.2021).
9. Какие двигатели использовать для квадрокоптера. [Электронный ресурс]. – URL: <https://avtika.ru/kakie-dvigateli-ispolzovat-dlya-kvadrokoptera> (дата обращения: 23.11.2021).
10. Виды бесколлекторных моторов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://profpv.ru/kak-vybrat-beskollektornyy-motor-dl/> (дата обращения: 23.11.2021).



11. ESC регуляторы оборотов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://profpv.ru/esc-regulatory-oborotov-что-это-как-они-т/> (дата обращения: 23.11.2021).
12. Как выбрать камеру для FPV. [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.rcdetails.info/kak-vybrat-kameru-dlya-fpv-perevod/> (дата обращения: 23.11.2021).
13. *Костин А. С.* Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения/ А.С. Костин // Системный анализ и логистика. СПб.: ГУАП. 2019. – № 1(19) – С.70-80.
14. *Майоров Н. Н.* Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач/ Д. В. Еленин, Н. Н. Майоров, А. С. Костин // СПб.: ГУАП, 2020. –71 с.
15. *Богатов Н. В.* Управление и анализ полёта квадрокоптера при задании сложной траектории движения / Н. В. Богатов, А. С. Костин // Системный анализ и логистика. СПб.: ГУАП, 2020. –№ (4(26)).– С. 3–12.
16. *Bogatov N., Kostin A., Maiorov N.* Control and analysis of quadcopter flight when setting a complex trajectory of motion. Journal of Physics: Conference Series 1925 (2021) 012043. doi:10.1088/1742-6596/1925/1/012043
17. *Майоров Н. Н.* Исследование маршрутизации полетных заданий беспилотных авиационных систем для операционных складских задач / А. С. Костин, Н. Н. Майоров, Е. А. Вознесенский, Н. В. Богатов // Сб. докл. второй Международной научной конференции «Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии» / ГУАП. – СПб. 2021. – С. 130–137. DOI: 10.31799/978-5-8088-1554-4-2021-2-130-137

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Костин Антон Сергеевич –**

ассистент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: anton13258@mail.ru

### **Силин Юрий Андреевич –**

младший специалист лаборатории беспилотных авиационных систем

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: foto2001u@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Kostin Anton Sergeevich –**

Assistant of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: anton13258@mail.ru

### **Silin Yuri Andreevich –**

Junior specialist of the laboratory of unmanned aerial systems

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: foto2001u@mail.ru