МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ**
**(национальный исследовательский университет)» (МАИ)**

# Учебно-методический комплекс «Беспилотные авиационные системы»

Авторы-составители:
Щукин Кирилл Олегович

# Раздел 1. Введение в беспилотную авиационную технику

## 1.1 Проблематика и сферы применения БЛА

В настоящие время для решения задач разного уровня, стали популярны беспилотные авиационные системы или, как принято говорить, БЛА. Беспилотные авиационные системы развиваются уже более ста лет. В особенности наиболее активный период развития БЛА приходиться на последние 20 лет, вследствие научно-технического прогресса и удешевлению производства электронных компонентов.

Основные сферы БЛА на сегодня: аэрофотосъемка, геодезия и картография, поисково-мониторинговые задачи, доставка грузов, горнодобывающая промышленность, научные исследования, кинематография, спортивные мероприятия и световые шоу. В связи с ростом рынка беспилотной авиационной техники данные направления становятся все более популярными с каждым годом, что в свою очередь вызывает спрос на инженеров, разработчиков и эксплуатантов беспилотных авиационных систем.

БЛА активно используются как в России, так и за рубежом. В связи с относительной новизной данного направления, а также высокими запросами по эксплуатации наиболее ярко выражены проблемы надежности подобных систем, а также дефицит кадров в данной сфере. Это в свою очередь вызвало ужесточение законов и нормативно правовых актов по всему миру, связанных с применением беспилотных авиационных систем. Тем не менее ажиотаж на использование БЛА остается высоким, появляются новые разработки и технологии, улучшающие работоспособность, полетные качества, и эксплуатационные возможности.

## 1.2 Виды БЛА

В связи с широким спектром задач на текущий момент создается множество различных видов беспилотной авиационной техники. Основными видами БЛА, применяемыми на сегодняшний день, являются мультироторные системы, БЛА самолетного и вертолетного типов, а также конвертопланы.

Мультироторные системы являются наиболее ярким представителем всего семейства БЛА несмотря на то, что появились относительно недавно. Характерной особенностью данного вида является минимальная механизация, относительная дешевизна, простота в использования и обучении пользования. Этот вид БЛА можно встретить от совсем игрушечных моделей заканчивая действующими прототипами аэротакси и носителями дорогого оборудования.

БЛА самолетного типа появились еще в прошлом веке, но из-за сложности эксплуатации и производства встречаются реже. Однако, применяются практически во всех сферах. Беспилотные авиационные системы этого типа характерны длительным временем полета.

Вертолетные БЛА и конвертопланы тоже распространены, но встретить их можно гораздо реже. Применяются такие системы, как правило, как альтернатива вышеперечисленным. Сложность разработки и эксплуатации таких систем перекрывается возможностью относительно длительного полета и возможностью вертикального взлета и посадки.

## 1.3 Техника безопасности

В связи с необходимостью защиты производства и эксплуатации БЛА, предусмотрены следующие правила техники безопасности.

- При работе с оборудованием необходимо ознакомиться с мануалом.
- При работе с электросетью запрещается напрямую контактировать с источником.
- При работе с инструментом, запрещается трогать наконечник инструмента, лезвия, жало паяльника и термопистолета.
- При работе с электрокомпонентами необходимо убрать со стола любую жидкость, кроме технической (флюс, спирт, жидкий компаунд и другие).
- При работе с АКБ не допускайте контакта батареи с острыми предметами или поверхностями, не роняйте их на пол.
- Во время тестов БЛА и его компонентов необходимо снять воздушные винты.
- При наблюдении за полетом стойте за спиной у оператора.
- Если БЛА работает ни в коем случае не касайтесь воздушных винтов до момента полного отключения моторов.

## 1.4 Методические рекомендации по проведению занятий

При проведении занятий по направлению «Аэротехнологии» рекомендуется пользоваться следующими методическими указаниями.

1) Соблюдать правила техники безопасности.

2) Рекомендуются проводить практические занятия по темам сразу же после теоретических.

3) Для лучшего ознакомления с материалом следует выполнять самостоятельные работы и домашние задания по темам.

4) При проведении занятий рекомендуется четко владеть информацией по теме. В случае необходимости найти информацию в источнике из списка литературы.

5) Рекомендуется предлагать студентам проектную деятельность. Оформление проекта в виде презентации, разработка или исследование, результаты и отчет.

6) В связи с тем, что направление аэротехнологии охватывает такие предметы как физика, математика, информатика, технология, рекомендуется объяснять материал с учетом ранее изученного материала

7) Рекомендуется составить план занятий в зависимости от количества располагаемых часов. План занятий должен включать как практические, так и теоретические занятия, самостоятельные и домашние работы

## 2. Принципы работы и устройство БЛА

### 2.1 Принцип работы БЛА на примере мультироторной системы

Среди всех видов БЛА самыми популярными являются мультироторные системы вида «Квадракоптер». Из-за невысокой стоимости и простоты изготовления данное решение можно встретить практически везде.

Рассмотрим принцип работы БЛА на примере мультироторной системы. Мультироторная система создает подъемную силу засчет совокупности тяги электромоторов, вращающих воздушные винты. Система вида «Квадрокоптер» имеет 4 электромотора. Для компенсации крутящего момента и управления рысканьем двигатели по диагоналям лучей имеют разное направление вращения (рис 1).

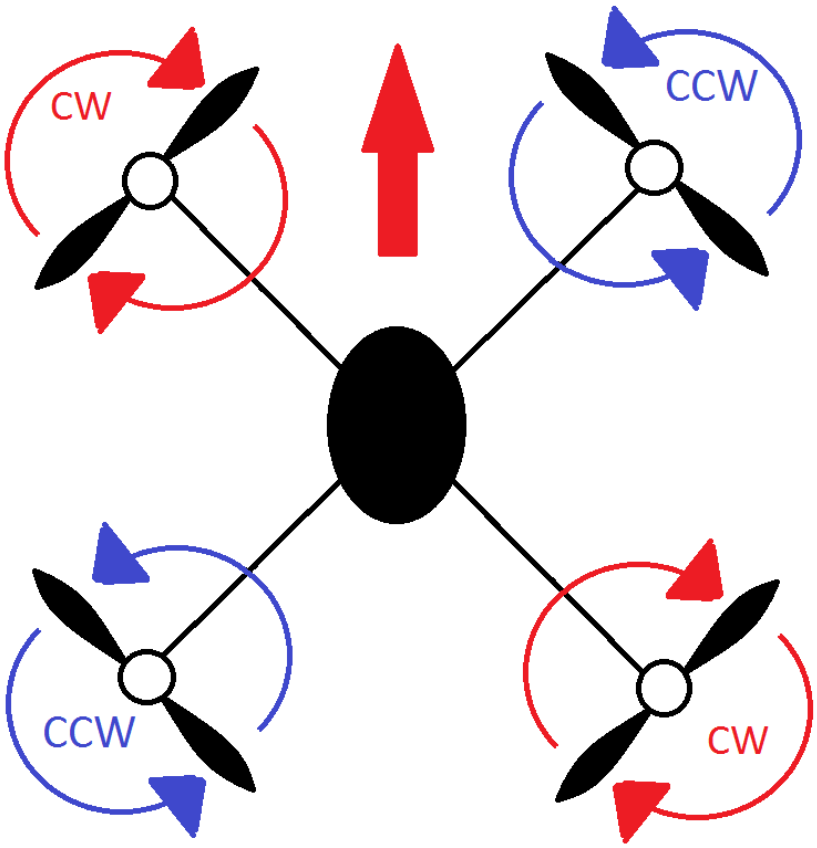


Рисунок 1

Аппарат управляется путем изменения углов крена тангажа и рысканья, а также уровня газа. Изменение углов и уровня газа приводит к изменению вектора скорости ЛА, что в свою очередь приводит его к движению.

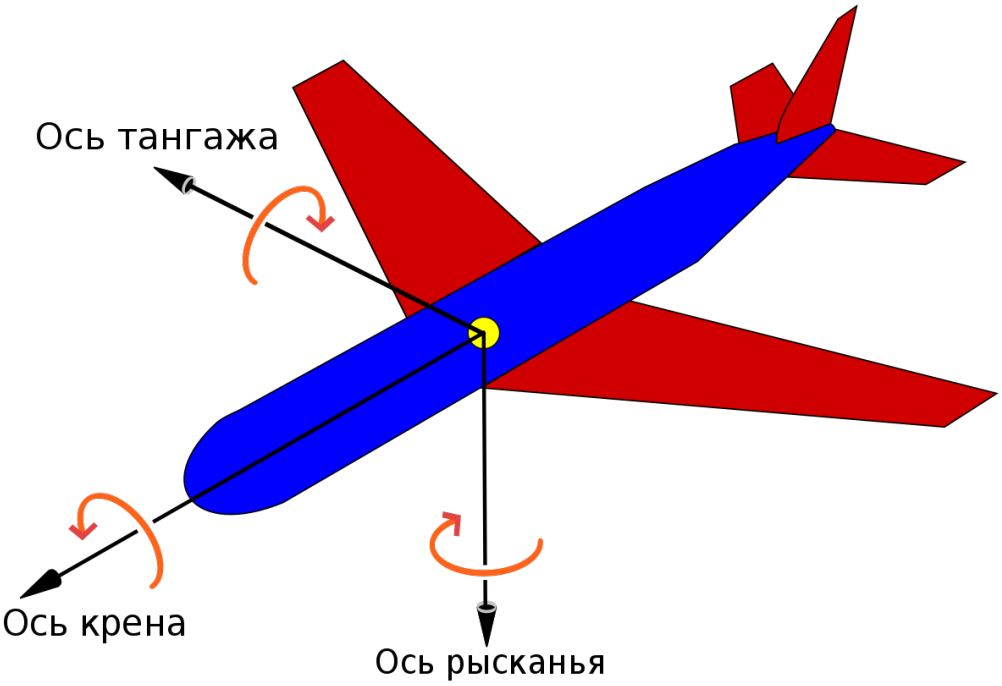


Рисунок 2

Для поворота ЛА по оси тангажа регулируется тяга передних и задних моторов, к примеру, для движения вперед необходимо установить угол по оси тангажа, для этого на определенный промежуток времени задние моторы начинают вращаться сильнее передних. Аналогично по углу крена. Для изменения углов рыскания БЛА сбрасывает обороты электромоторов по одной из диагоналей, увеличивает обороты на другой диагонали.

Для перемещения ЛА в пространстве происходит совместное управления всех углов и уровня газа, при котором происходит изменение направления суммарного вектора силы тяги. Также на ЛА действует сила тяжести. Сумма вектора тяги ЛА и его силы тяжести является силой определяющий направление движения БЛА (на примере мультироторной системы, рис 3)

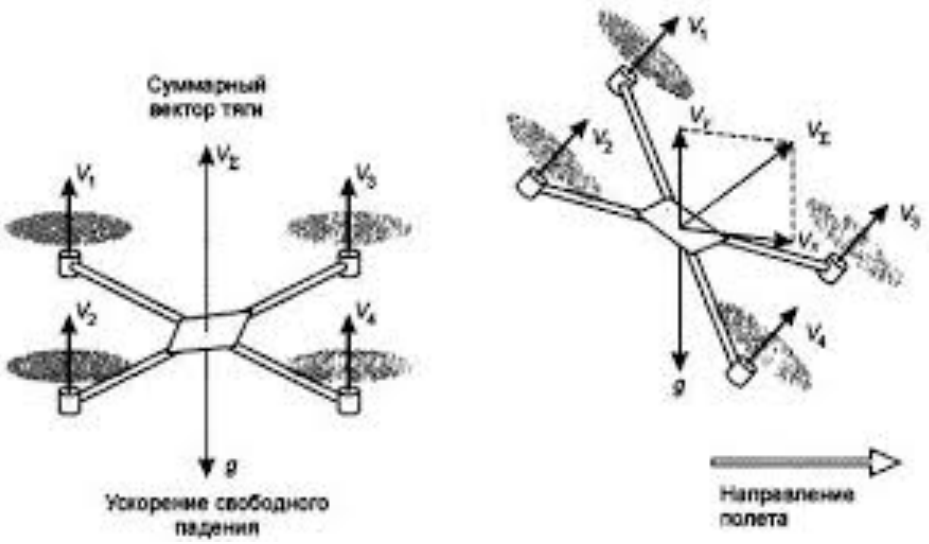


Рисунок 3

В связи с огромным количеством случайных факторов и воздействий, действующих на систему, необходимо многократно корректировать угловую скорость электродвигателей для контроля БЛА в пространстве. Задачу управления берет на себя автопилот или полетный контроллер, получающий команды с аппаратуры радиоуправления либо с бортового вычислителя, анализирующего информацию с сенсоров. После анализа информации с сенсоров и приемника сигнала радиоуправления полетный контроллер изменяет скорость вращения двигателей для корректировки положения. Изменения происходят несколько сотен раз в секунду.

На борту аппарата могут располагаться устройства передачи данных, видеопередатчики, передатчики радиосигнала и др. Данные устройства обеспечивают обратную связь с наземной станцией или оператором.

## 2.2 Основные компоненты, применяемые в БЛА

Рассмотрим основные компоненты, применяемые в БЛА.

Установка всех компонентов производится на силовую конструкцию, раму либо фюзеляж. Элементы рамы могут включать в себя: лучи, моторамы, корпуса и платы для установки компонентов, обтекатели, элементы защиты, стойки и крепежные компоненты (винты, шпильки, гайки, болты).

Рамы и корпуса для БЛА производятся из композитных материалов, таких как: карбон и текстолит. В конструкции БЛА можно встретить литые пластиковые компоненты, аддитивные технологии, формованные композитные компоненты. При изготовлении БЛА, как правило, самолетного типа, можно встретить фанеру, вспененный пенополипропилен, пенополиполистирол и другие виды полимеров.

Силовая установка использует электромоторы для вращения воздушных винтов. В качестве электромоторов в основном применяются трехфазные синхронные бесколлекторные электродвигатели, имеющие высокий КПД, однако, для их управления используются сложные электронные регуляторы оборотов. В малогабаритных аппаратах в основном, используют коллекторные электромоторы постоянного тока Такие электродвигатели имеют компактный размер, простоту в изготовлении и управлении. К недостаткам можно отнести низкий КПД, высокий нагрев в процессе работы и невысокий срок службы за счет трения щеток.

Силовые и моментные характеристики электромоторов определяются высотой и диаметром статора, формой и типом магнитов, материалами. Любой электродвигатель для БЛА имеет следующие обозначения:

- XXXX - четыре цифры обозначают размер статора.
- Цифры с последующим обозначением Kv обозначают количество оборотов в минуту на один вольт напряжения.

К примеру, мотор с обозначениями “2306 1700kv” имеет размер статов 23мм в диаметре и 6 мм в высоту и может совершить 1700 оборотов в минуту на один вольт напряжения. Как правило, чем меньше мотор, тем большие обороты он развивает, для создания тяги, вращая маленький пропеллер. Большие моторы имеют:

Регуляторы оборотов или ESC (Electronic Speed Controller) это электронные устройства контролирующие частоту вращения электромоторов путем передачи на них электроэнергии. Регулятор оборотов состоит из полевых транзисторов, микроконтроллера, драйвера, стабилизатора напряжения, иногда может включать в себя

измерительные приборы и световую индикацию. Регуляторы оборотов подключаются к источнику питания системы (к АКБ через плату распределения питания), к фазам электродвигателя, к источнику сигнала для получения команд управления (автопилот, приемник и др).

Устройства распределения и контроля питания используются для обеспечения питания электронных компонентов на борту БЛА от аккумуляторной батареи. АКБ подключается к плате распределения питания, которая обеспечивает развязку выходов аккумулятора для питания других компонентов: регуляторов оборотов, видеопередатчиков, приводов, и других устройств, работающих напрямую от АКБ. Внутри аппарата существует большое количество компонентов, которым необходимо стабильное напряжение меньше или больше по абсолютному значению чем на АКБ, в связи с этим используются преобразователи напряжения. Для понижения или повышения напряжения, а также его стабилизации в БЛА используются импульсные и линейные преобразователи напряжения, которые как правило входят в состав платы распределения питания или других компонентов.

Аккумуляторные батареи, применяемые в БЛА литиевые. Литиевые аккумуляторы имеют сравнительно невысокий вес, хорошую токоотдачу , и не имеют эффекта памяти , в связи с чем их легко заряжать и хранить. Основные виды аккумуляторных батарей, применяемых в БЛА это литий полимерные аккумуляторы, обладающие высокой токоотдачей и высоким напряжением на ячейку 4.2 Вольта. Литий-ионные АКБ имеют большую емкость, но меньшую токоотдачу в связи с чем могут использоваться только на эффективных схемах с невысоким потреблением электроэнергии. Также применяются ячейки с повышенным напряжением (LiHV) до 4.35 Вольт и литий-ферумные(LiFe) , имеющие невысокое напряжение 3.65 вольта на банку но имеющие более широкий диапазон рабочих температур , что позволяет их использование в тяжелых погодных условиях. Для создания АКБ можно использовать сборки из ячеек. Последовательное соединение ячеек складывает напряжение и обозначается буквой S (serial) , параллельное соединение обозначается буквой P (parallel) и позволяет складывать емкость ячеек.

Для управления и стабилизации аппарата в воздухе используется автопилот или полетный контроллер. Полетный контроллер несет в себе управляющую функцию, помогая оператору в контроле БЛА или же полностью берет на себя эту функцию. Автопилот состоит из однокристальной ЭВМ (микроконтроллера) выполняющего основную вычислительную и регулирующую функции, МЭМС акселерометра и гироскопа, сообщающего данные об ориентации и положении аппарата в пространстве.

Полетный контроллер имеет большое количество входов и выходов сигнала для подключения различных устройств, приводы, силовая установка, устройства приема и передачи данных и др. Большинство современных автопилотов для БЛА имеют возможность подключения к персональному компьютеру для настройки и загрузки программного обеспечения.

Для передачи и приема данных используются радиоприемники и радиопередатчики на борту аппарата и в составе наземной станции. Для корректной передачи сигнала с минимальным количеством помех необходимо подбирать исходя из условий среды и габаритно весовых характеристик.

Полезная нагрузка аппарата может быть установлена как внутри, так и за пределами корпуса ЛА. Может иметь независимый источник питания либо подключается к системе питания БЛА. Полезной нагрузкой могут быть камеры, системы сбора информации, дополнительные сенсоры, платформы для стабилизации оборудования, и др.

## 2.3 Устройство БЛА на примере мультироторной системы

Рассмотрим устройство и составные части БЛА мультироторного типа вида «Квадракоптер».

БЛА такого вида имеет раму с 4-мя лучами, исходящими из центральной платы, где устанавливается электроника. На лучах крепится 4 электромотора, подключаемые к регуляторам оборотов. Регуляторы оборотов могут быть установлены на лучах либо на пластине в центре. В центральную часть рамы устанавливаются компоненты распределения питания, автопилот, устройства приема передачи данных. Регуляторы оборотов подключаются к плате распределения питания, в свою очередь подключенной к аккумуляторной батарее. Плата распределения питания несет в себе функцию распределения выходов питания от АКБ к другой электронике, содержит в себе преобразователи напряжения, как правило на 5 и 12 вольт. Преобразователи напряжения нужны для того чтобы запитать компоненты работающие от более низкого напряжения а также чувствительные к его изменению , преобразователи также являются стабилизаторами и поддерживают стабильное напряжения даже при большом изменении напряжения на АКБ .Полетный контроллер устанавливается как правило в центре масс летательного аппарата и на перекрестье лучей , некоторые системы автопилотов могут быть чувствительны к положению МЭМС гироскопа и акселерометра , входящего в состав полетного контроллера. Приемник радиоуправления подключается к автопилоту и является важнейшим компонентом для связи с оператором.

Полезная нагрузка, а также другие сенсоры как правило подключаются к системе питания аппарата, но в некоторых случаях имеют свою систему что делает их энергонезависимыми и позволяет функционировать даже при повреждении носителя.

Подключение компонентов на примере мультироторной системы зображено на схеме рис. 4

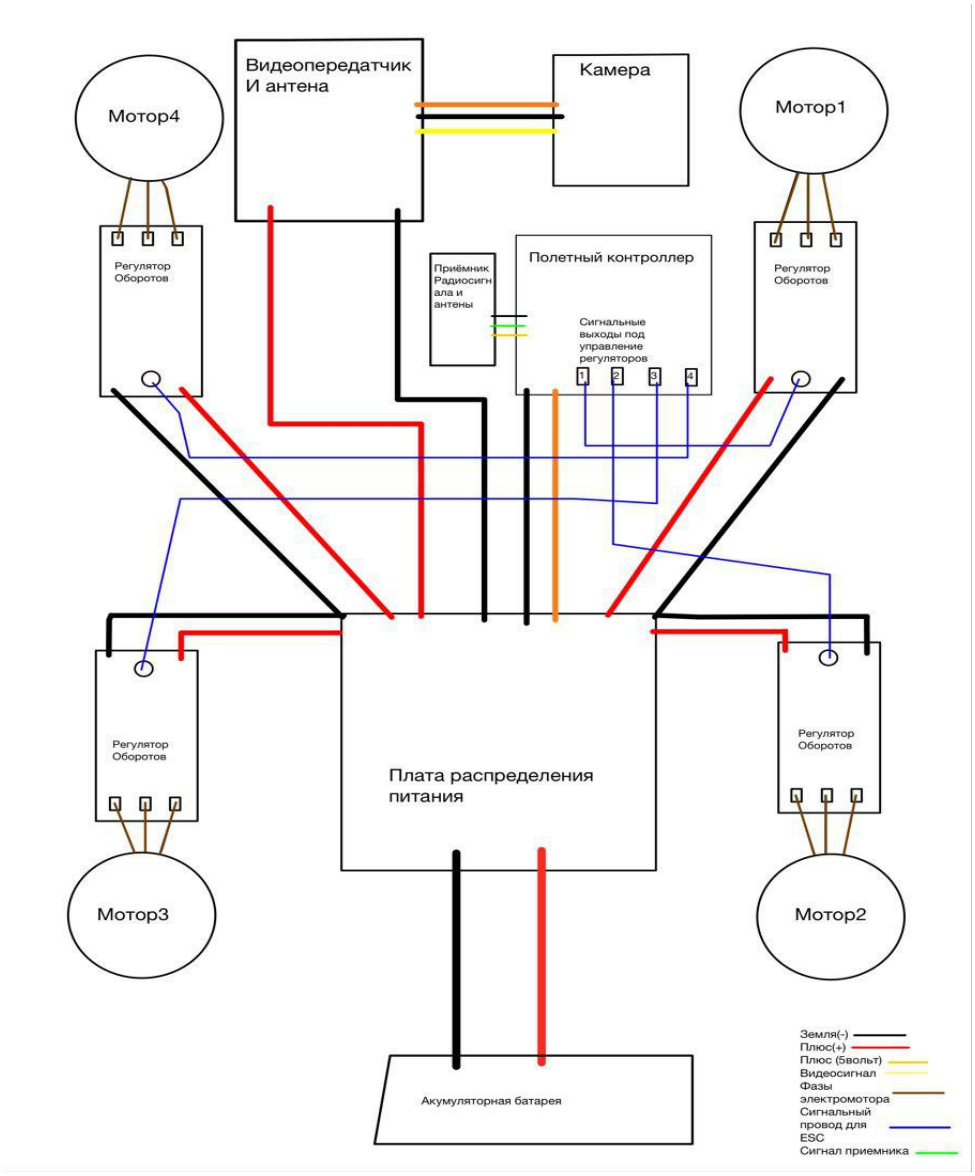


Рисунок 4

## 2.5. Базовое описание других видов БЛА

Начнем с описания БЛА самолетного типа. БЛА самолетного типа имеет преимущество по времени полета и продолжительности пути. За счет того, что подъемную силу для ЛА создает крыло, суммарная тяга двигателей, создаваемых

набегающий поток, может быть меньше, чем масса аппарата, в отличии от мультироторных систем нет необходимости в очень точном контроле оборотов двигателей, в связи с чем можно использовать двигатели внутреннего сгорания.

Рассмотрим БЛА типа конвертоплан. Конвертоплан – это обьединение мультироторной системы и БЛА самолетного типа. Конвертоплан является аппаратом вертикального взлета и посадки. При взлете электромоторы закреплены на поворотных мотогондолах с положением роторов вверх и находятся как правило по обе стороны консолей крыла. при взлете аппарат ведет себя как мультикоптер. Однако по достижении необходимой высоты мотогондолы поворачиваются и аппарат продолжает полет в качестве самолета. При достижении точки посадки мотогондолы принимают первоначальное положение, аппарат зависает в воздухе и выполняет посадку как мультикоптер.

БЛА вертолетного типа могут иметь силовую установку с использованием двигателя внутреннего сгорания, в связи с этим имеют большую продолжительность полета. Однако из-за сложной механизации имеют сложную конструкцию.

## 3. Основные принципы проектирования БЛА.

### 3.1. Подбор полезной нагрузки

Проектирование беспилотных летательных аппаратов начинается с подбора полезной нагрузки, носителем которой будет являться ЛА. Для дальнейшего проектирования необходимо четко представлять цели и задачи БЛА, его функционал, возможности, и определить полезную нагрузку. После подбора полезной нагрузки необходимо определить следующие характеристики:

1. Габаритно весовые характеристики ЛА. Определяются исходя из предполагаемых условий полета (помещение или улица, ветреная погода, наличие осадков и др.). Следует понимать, что камеру весом 10 кг аппарат способный летать в небольшом помещении поднять не сможет. Или, к примеру, не рекомендуется вешать дорогое оборудование на аппарат, планируемый запускать при осадках, так как вероятность потери носителя при осадках намного выше, чем в сухую безветренную погоду.
2. Полетное время и характеристики полета. Определяются исходя из габаритов и веса БЛА. Полетное время для аппаратов в размере до 250 грамм составляет в среднем до 10 минут, максимальная скорость в среднем до 80 км\ч. У БЛА весом от 250 до 800 грамм полетное время может достигать до 30 минут, максимальная

скорость до 200 км/ч. Аппараты весом от 1 кг до 10 кг могут находится в воздухе до 1 часа без использования электрогенераторов и комбинированных силовых установок. Следует учитывать, что при перемещении с максимальной скоростью потребление энергии возрастает и полетное время существенно снижается. Полетное время и скорость так же зависят от ветра, температуры окружающей среды, и других факторов.

## 3.2 Расчет силовой установки и конструкции БЛА

Рассмотрим выбор конструкции для БЛА.

Исходя из определенных ранее габаритов, полетных характеристик и полезной нагрузки ЛА, следует определить конфигурацию системы, количество силовых установок, а также их расположение. На рисунке 2 представлены основные балансировочные схемы мультироторных систем. Схема с соосным расположением электромоторов возможна для всех схем, представленных ниже. Соосные схемы менее эффективны с точки зрения потребления электроэнергии, но позволяют поднимать больший вес при меньших габаритах. Обратите внимание, что схема вида трикоптер использует привод для поворота одного из лучей с целью компенсации крутящего момента и управления углом рысканья.

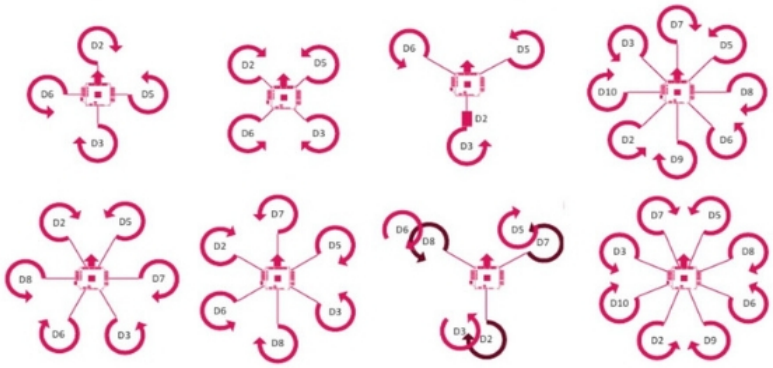

Рисунок 5

Если необходимо получить полетное время больше одного часа имеет смысл рассмотреть гибридную силовую установку для мультироторной системы либо при отсутствии необходимости в удержании позиции можно рассмотреть БЛА самолетного типа или конвертопланы.

Расчет тяги создаваемой силовой установкой определяется из следующего соотношения.

$$T = \frac{\pi}{4} D^2 p v \Delta v$$

Где

$T$ - тяга в Ньютонах [Н];

$D$ - диаметр пропеллера в метрах [м];

$p$ - плотность воздуха [кг\м$^3$];

$v$ - скорость воздуха у пропеллера[м\с];

$\Delta v$ - скорость воздуха, ускоренного пропеллером [м\с].

Эта формула несет прикладное значение и необходима для понимания работы системы. На практике проще использовать характеристики, предоставленные производителем либо результаты замеров вольт амперных характеристик и тяги на испытательном стенде (стенд представляет из себя весы для замера тяги, вольтметр, амперметр, АКБ).

Для расчета суммарной тяги двигателя удобно пользоваться следующим соотношениемя

$$M = T' n k$$

Где

$M$ - масса всей системы [кг];

$T'$- максимальная тяга одного двигателя [кг];

$n$ - количество двигателей в системе;

$k$ - коэффициент газа висения (100% газа = 1), рекомендуется использовать от 0.1 до 0.5.

Для подбора напряжения для АКБ следует исходить из характеристик, представленных производителем. Емкость АКБ рекомендуется рассчитывать из следующего соотношения:

$$\frac{C}{t} = \frac{I' n + I_н}{0.85}$$

Где

$C$ - емкость аккумулятора [А\ч];

$t$ - время висения [ч];

$I'$ - ток одного двигателя при висении [А];

$n$ - Количество двигателей;

$I_n$ - ток, потребляемый бортовым оборудованием и полезной нагрузкой.

Подбор системы автоматического управления

Для полета БЛА мультироторного типа автопилот является обязательным.

Подбор системы управления в первую очередь исходит от функционала аппарата. Принцип работы автопилотов и х устройство практически идентично. Стоит обращать внимание на программное обеспечение совместимое с тем или иным видом полетного

контроллера, а также на цену, комплектацию, доступное количество выходов, размер и вес.

Для создания малогабаритных БЛА, основной целью которых является быстрый маневренный полет, в режиме управления оператором рекомендуется использование следующего программного обеспечения: betaflight, inav, cleanflight. Все эти системы являются схожими по архитектуре и настройке.

При проектировании БЛА целью которых является автоматический полет с использованием большого количества сенсоров, а также создания систем автоматического управления и робототехнических комплексов рекомендуется использовать автопилоты с поддержкой ПО Inav, Px4, Ardupilot. Последние два являются наиболее функциональными, однако имеют сложности в настройке и содержат множество подводных камней, поэтому не стоит начинать с них, в случае если не было опыта с настройкой и использованием других систем.

Стоит упомянуть, что в сети интернет содержится большое количество материалов посвященных тематике БЛА, настройке автопилотов, созданию робототехнических систем.

### 3.4 Системы навигации

Для осуществления полета в автоматическом режиме или использования вспомогательных средств управления при полете необходимо определить местоположение аппарата в пространстве. Автопилот БЛА априори использует БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система, в нашем случае МЭМС гироскоп и акселерометр). Для осуществления удержания позиции аппарат должен иметь данные об абсолютной координате ЛА, для этого используется GPS навигация, сенсоры оптического потока, барометры и инерциальные датчики. Для полета в помещении популярны следующие способы навигации: системы захвата движений с установленными на дрон маркерами, отслеживание позиции при помощи методов одновременной навигации и позиционирования SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

### 3.5 базовые принципы сборки, настройки и тестирования компонентов

Сборка беспилотного летательного аппарата и элементов его конструкции подразумевает умение пайке, пользованию базовым набором инструментов ( отвертки ,ножи ,ножницы, кусачки , плоскогубцы , ключи , надфили и др). перед тем как приступить к сборке необходимо внимательно осмотреть имеющиеся компоненты на предмет повреждений , при возможности нужно подключить их к источнику питания и

проверить работоспособность. Затем необходимо определить удобный порядок сборки электронных компонентов, после чего выполнить их монтаж на раму.

## 4. Правила эксплуатации БЛА

### 4.1. Принципы управления и радиосвязь

Как уже было сказано ранее для управления БЛА используют аппаратуру радиоуправления, представляющую из себя передатчик и набор тумблеров, крутилок, ручек управления, необходимых для считывания команд пилота, в последующем преобразуемых ЭВМ внутри и передаваемых на борт летательного аппарата.

### 4.2. Правила и порядок выполнения полета.

Для корректной эксплуатации БЛА и его полезной нагрузки следует придерживаться следующих требований:

Перед проведением вылета необходимо убедиться, что конструкция БЛА не повреждена для этого необходимо проверить элементы корпуса и воздушные винты на предмет сколов и трещин.

Осмотреть полезную нагрузку и другие компоненты (если имеются) на предмет повреждений.

Проверить заряд аккумулятора, зарядить в случае необходимости, проверить на повреждения.

Включить БЛА без воздушных винтов и убедиться в работоспособности всех систем и полезной нагрузки, проверить связь с наземной станцией.

Проверить погодные условия на возможность полета с используемым БЛА, посмотреть прогноз.

Убедиться, что в зоне планируемого запуска полеты разрешены, в случае необходимости пройти процедуру согласования

Проверить аппарат на месте убрать все элементы необходимые для перевозки, одеть воздушные винты

Отойти на безопасное расстояние произвести запуск, действовать желательно согласно составленному ранее полетному плану

После завершения миссии произвести посадку.

Выключить БЛА и привести его в транспортировочное состояние, осмотреть на предмет повреждений.

В случае возникновения внештатных ситуаций пользоваться пунктом ниже

## 4.3. Правила поведения при внештатных ситуациях

В случае возникновения внештатных ситуаций оператор БЛА может руководствоваться следующими инструкциями.

Описанные ниже руководства оператора требуют обладания следующими профессиональными навыками:

- Умение визуального пилотирования БЛА в ручном режиме (мультироторные БЛА в режиме стабилизации с удержанием по горизонту, БЛА самолетного типа в режиме MANUAL - без каких-либо систем стабилизации)
- Пилотирование при помощи FPV (от первого лица) в вышеуказанных режимах

Список наиболее распространенных отказов

1. Отказ системы радиоуправления
2. Потеря телеметрии
3. Отказ системы позиционирования (GPS, одометрия, радионавигация и др.)
4. Потеря видеосвязи
5. Повреждения борта (механические)

Правила поведения оператора в случае возникновения внештатных ситуаций

### 1.Отказ системы радиоуправления

Отказ системы управления может произойти на любой стадии полета. Для предотвращения потери аппарата необходимо выполнить следующий порядок действий:

1. Убедиться, что антенна наземной станции (аппаратуры управления) ничем не закрыта и направлена верно.
2. Если в течении нескольких десятков секунд связь не вернется аппарат перейдет в режим возврата домой (если таковой настроен) и в случае сближения связь восстановится если система радиоуправления не повреждена.
3. При наличии телеметрии отправить команду на возврат и ждать восстановления связи
4. В случае отсутствия режима возврата домой необходимо самостоятельно выполнить сближение с аппаратом до восстановления соединения
5. Если связь таки не удалось восстановить активируйте режим посадки через телеметрию если телеметрии нет аппарат выполнит посадку при разряде батареи

Внимание!!! Для БЛА самолетного типа пункт 5 не работает. Необходимо заранее настроить работу аппарата в случае потери связи для всех видов БЛА.

## 2.Потеря Телеметрии

Потеря телеметрии происходит как правило вместе с потерей радиосвязи. В случае потери телеметрии необходимо:

1. Проверить расположение антенн связи, убедиться, что наземная станция работает
2. Если в течении 10 секунд связь не восстановиться необходимо произвести сближение с аппаратом либо попробовать взлететь выше
3. В случае отсутствия связи вернуться “домой” и проверить оборудование

## 3.Отказ системы позиционирования

Отказ системы позиционирования может происходить как из-за проблем со связью, так и в случае повреждения оборудования.

1. Немедленно перевести аппарат в режим ручного управления
2. Произвести возврат домой визуально либо по видео (В зависимости от дальности и оборудования на борту)
3. Произвести посадку

В случае использования систем - постановщиков помех:

1. Выйти из зоны помех в ручном или автоматическом режиме (может быть настроен )
2. Убедиться в работоспособности системы позиционирования вне зоны помех

## 4.Потеря видеосвязи

При потере радиосвязи необходимо:

1. Проверить расположение антенн (если имеются направленные антенны развернуть их в сторону аппарата)
2. Если связь не восстановиться.
3. Включить режим возврата домой либо вернуть аппарат по показаниям телеметрии (визуально если аппарат находиться близко.

## 5.Повреждения борта

Во время полета могут произойти внештатные ситуации, которые могут привести к повреждению аппарата.

В случае повреждения силовой установки у БЛА самолетного типа необходимо:

1. Изучить местность, найти ровную площадку для посадки
2. Произвести посадку в аварийном режиме.
3. В случае потери управления немедленно выпустить парашют (в ручном либо автоматическом режиме)

При повреждении силовой установки БЛА мультироторного типа:

1. произвести посадку либо произвести возврат домой (если повреждение позволяет это сделать)

Внимание !!!! не распространяется на аппараты без специальных систем экстренного пилотирования

В случае возникновения на борту осцилляций, повлекших за собой тряску, неточности в управлении, частичную или полную потерю управления:

1. Попробовать произвести возврат домой в ручном или автоматическом режиме
2. Если возврат домой не удалось произвести немедленно выполнить посадку.

Для предотвращения внештатных ситуаций рекомендуется заранее проверять оборудование, убедиться, что все системы работают в штатном режиме, на борту все компоненты жестко закреплены.

В случае потери борта сохранить данные телеметрии, запомнить последние координаты для дальнейших поисков.

### 4.4. Анализ полета

Для изучения полета в случае необходимости убедиться в том, что во время полета производится запись данных в черный ящик. Записанную в черный ящик информацию можно извлечь при помощи программ, рекомендованных или предоставленных производителем оборудования. Как правило, черный ящик является частью системы автопилота, однако может функционировать как отдельный компонент. Для анализа полета можно использовать изображение с видеокамер или данные записанные наземной станцией в процессе полета. При наличии видеоизображения и данных с черного ящика рекомендуется их сопоставление для улучшенного анализа.

Подводя итоги, необходимо почеркнуть, что данное пособие рассказывает исключительно малую и основную область знаний в сфере беспилотных летательных аппаратов. Для дальнейшего изучения рекомендуется пользоваться информацией из сети интернет, а также представленной ниже литературой. Рекомендации и правила, представленные в этом УМК, несут рекомендательный характер, можно пользоваться другими правилами из других источников, если они не противоречат общим правилам техники безопасности и принципам базового проектирования беспилотных авиационных систем. Перед тем как проектировать БЛА или проводить с ними исследования рекомендуется полностью понять принцип работы систем и способы их использований пользуясь данным пособием и литературой, приведенной ниже.

Раздел 5. Перечень источников информации для изучения учебного материала.

Основная литература

1) Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно пилотируемые летательные аппараты). /П.П. Афанасьев, Ю.В., Веркин, И.С. Голубев, Е.П. Голубков, А.Б. Гусейнов, Д.А. Дьяконов, С.К. Кузин, В.Ф.Куличенко, А.М. Матвеенко, С.Г. Парафесь, Л.Л. Ташкеев, И.К. Туркин, Ю.И. Янкевич/. Под ред. И.С. Голубева и Ю.И. Янкевича. ¾ М.: Изд-во МАИ, 2006. ¾ 528 с.
2) Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. /П.П.Афанасьев, И.С. Голубев, В.Н. Новиков, С.Г. Парафесь, М.Д. Пестов, И.К. Туркин/. Под ред.И.С. Голубева, И.К. Туркина. ¾ Изд. Второе, переработанное и дополненное ¾ М.: 2008. ¾ 656 с.
3) «Испытания летательных аппаратов (беспилотные летательные аппараты) П.П.Афанасьев, А.Н. Геращенко, И.С. Голубев, В.В. Доронин, В.А. Жестков, И.П. Кириллов, С.Б.Лёвочкин, С.С. Лёвочкин.

Дополнительная литература:

1) «Электроника. Твой первый квадрокоптер: теория и практика». /В. Яценков
2) «Дроны. Первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА». /Мартин Догерти
3) «Конструируем роботов. Дроны с нуля». /Дж. Бейктал

Электронные ресурсы

1) Словарь терминов
http://www.scanex.ru/support/glossary/