

УТВЕРЖДАЮ  
Декан инженерной школы (факультета)  
Московского Политеха  
Либерман Д.А.

\_\_\_\_\_ 2022 г  
«    »

### **Сборник методических материалов**

#### Содержание

1. Проектирование автономных беспилотных летательных аппаратов .....2
2. Основы летающей робототехники и устройство коптеров ..... 96

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПРОГРАММЕ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Дополнительная образовательная программа  
«Основы летающей робототехники и устройство коптеров»**

**Оглавление**

<u>Введение</u> .....	97
<u>Раздел 1. Основы авиастроения</u> .....	98
<u>1.1 Подраздел физики аэродинамики</u> .....	98
<u>1.2 Основы аэродинамики конструкции БПЛА</u> .....	101
<u>Раздел 2. Изучение летающей робототехники</u> .....	113
<u>2.1 Полетные задания</u> .....	113
<u>2.2 Внедрение микроконтроллера (Arduino) в квадрокоптер</u> .....	114

## **ВВЕДЕНИЕ**

В России, как и во всем мире, стремительную популярность набирают беспилотные технологии. Самая распространенная из них – Беспилотные Авиационные Системы (БАС). БАС используются в абсолютно разных отраслях: сельское хозяйство, строительство, фотограмметрия, логистические системы и пр. Навыки сборки, настройки, визуального пилотирования и использования полезной нагрузки квадрокоптера являются основополагающими в данной области. Программа создана для приобретения слушателями необходимой технической базы для работы с БПЛА.

Программа учебного курса нацелена на создание условий для развития творческих способностей и формирования раннего профессионального самоопределения подростков в процессе конструирования и проектирования. Итогом прохождения курса является защита проекта по направлению подготовки.

Программа разработана для учащихся 5-11 классов (12-17 лет) и рассчитана на 24 академических часа.

При работе с мультикоптерами необходимо знать следующие теоретические модули:

- основы аэродинамики и теории полета;
- основы устройства современных летательных аппаратов;
- технологии, применяемые в авиастроении;
- БПЛА.

Перечень используемого оборудования и материалов:

- компьютеры с установленным необходимым ПО;
- наборы конструкторов для сборки программируемого квадрокоптера «Клевер»;
- лаборатория, оснащенная паяльными станциями, вытяжками и необходимыми инструментами;
- полетная зона или разрешение на полеты в открытом воздушном пространстве.

## Раздел 1. Основы авиастроения

### 1.1 Подраздел физики аэродинамики

**Аэродинамика** – наука о движении воздуха и о механическом взаимодействии между воздушным потоком и обтекаемыми телами. Основная задача, решаемая аэродинамикой, состоит в определении сил и моментов, действующих на летательный аппарат (далее - ЛА) и его части в тех или иных условиях полета. Возникновение, развитие и становление аэродинамики как науки можно разбить на три этапа.

**Динамика полета** – это наука о движении летательных аппаратов. Основная задача динамики полета – это выявление закона движения самолета под действием заданной системы сил и моментов. С точки зрения повышения эффективности полетов важными являются задачи динамики полета, обеспечивающие экстремальное значение какого-либо параметра: максимальной дальности полета, максимальной продолжительности, а также обеспечение наименьшей себестоимости полета и т.д.

Физико-механическое состояние воздуха характеризуется следующими параметрами: температурой, давлением, массовой плотностью, относительной плотностью, вязкостью и сжимаемостью.

**Температурой** называется степень нагретости тела. Она характеризует скорость хаотического (теплового) движения молекул вещества: чем больше температура, тем быстрее движутся молекулы, и наоборот. Существует две основные шкалы для измерения температуры: шкала Цельсия и абсолютная шкала. Температура в градусах Цельсия обозначается – °С, а в градусах абсолютной шкалы – Т, град. Связь между ними выражается формулой  $T = 273 + t$  °С.

Давлением (Р) называется сила, действующая на единицу поверхности, перпендикулярно к ней:

$$P = \frac{F}{S}.$$

Воздух обладает массой, поэтому его вышележащие слои оказывают давление на нижележащие. Молекулы воздуха, как известно, находятся в непрерывном хаотическом движении и, ударяясь друг о друга или о какие-либо преграды, также создают некоторое давление. Давление, вызываемое массой вышележащих слоев воздуха и ударами хаотически движущихся молекул, называют **атмосферным давлением**.

Давление измеряется:

СИ	1 Па = Н/м <sup>2</sup>
	1 Н = 1/9,8 кгс
МКГСС	1 кг/м = 9,81 Па
	1 мм рт. ст. = 133,3 Па = 1,333 мбар
	760 мм рт. ст. = 1012 мбар

Плотность вещества характеризуется массой, содержащейся в единице объема, и определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{W}.$$

Массовая плотность измеряется в единицах:

СИ	1 кг/м <sup>3</sup>
МКГСС	1 кгс <sup>2</sup> /м <sup>4</sup> = 9,81 кг/м <sup>3</sup>

Вязкость – это свойство воздуха (жидкости) сопротивляться взаимному сдвигу своих частиц. Причиной вязкости являются силы внутреннего трения частиц друг о друга при их взаимном перемещении (рис 1.1).

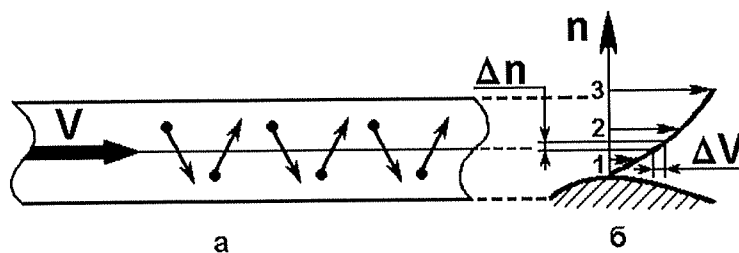


Рис. 1.1. Возникновение сил трения: а – в результате вязкости воздуха; б – в результате изменения характера течения потока воздуха в ПС.

Если возникают силы трения, значит, вязкость существует. Вязкость обусловлена хаотическим движением молекул, поэтому с увеличением температуры вязкость воздуха увеличивается, а при уменьшении температуры уменьшается. В жидкости, наоборот, при нагревании силы сцепления ослабевают, вязкость жидкости уменьшается (вязкость масла в двигателе). Газ, вязкость которого не учитывается, называется в аэродинамике «идеальным».

Нагрев воздуха ускоряет беспорядочное движение молекул и усиливает обмен молекулами между слоями, ввиду чего внутреннее трение возрастает.

В результате вязкости вблизи поверхности обтекаемого тела частицы воздуха тормозятся, и возникает пограничный слой, о котором речь пойдет позже.

Силы трения в пограничном слое создают лобовое сопротивление самолета. В аэродинамике обычно пользуются понятием «напряжение трения ( $\tau$ )», под которым понимается сила трения, действующая на единицу площади (рис. 1.1)

Величину  $\tau$  можно подсчитать по формуле Ньютона:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dn},$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости, который возрастает при увеличении температуры;  $\frac{dV}{dn}$  – градиент скорости, показывающий скорость относительного смещения слоев воздуха.

**Сжимаемость** – это свойство воздуха изменять свой объем, а следовательно, и массовую плотность при изменении давления или температуры. Сжимаемостью обладают все вещества, но одни из них (например, газы) сжимаются легко, т.е. под действием небольших давлений, а другие (например, жидкости) практически не сжимаемы.

Сжимаемостью воздух обладает как в состоянии покоя, так и в состоянии движения. В аэродинамике свойство сжимаемости учитывают при движении воздуха с большими скоростями. Количественно сжимаемость можно охарактеризовать отношением изменения плотности к изменению давления, то есть величиной  $\frac{\Delta\rho}{\Delta P}$ .

## 1.2 Основы аэродинамики конструкции БПЛА

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) - летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов. Основные классы таких аппаратов – это БПЛА самолетного и вертолетного типов.

**БПЛА самолетного типа.** Этот тип аппаратов известен также как БПЛА с жестким крылом. Подъемная сила данных аппаратов создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, как правило, отличаются большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью. Существует большое разнообразие подтипов БПЛА самолетного типа, различающихся по форме крыла и фюзеляжа. Практически все схемы компоновки самолета и типы фюзеляжей, которые встречаются в пилотируемой авиации, применимы и в беспилотной.

БПЛА самолетного типа способны охватывать гораздо большие площади, чем обычные коптеры, благодаря возможности длительно находиться в воздухе и развивать большие скорости, но их цена существенно превышает цену типовых мультикоптеров. Главный недостаток таких устройств - качество изображения, оно может пострадать из-за скорости. Подобные летательные аппараты зачастую не могут зафиксировать трехмерные/топографические детали съемки. Сферы использования:

- Аэрофотосъемка местности (при необходимости отснять рельеф поверхности земли на протяженном расстоянии);

- Военная сфера (тяжёлые БПЛА большой продолжительности полёта – взлётная масса более 1500 кг, дальность действия около 1500 км);
- Сельское хозяйство (распространение удобрений, мониторинг полей);
- Охрана и мониторинг местности.

**БПЛА вертолетного типа.** Летательные аппараты вертолетного и мультироторного типа находятся в воздухе благодаря постоянному вращению одного или нескольких подъемных винтов-роторов. Из-за такого способа создания подъемной силы эти аппараты еще называют коптеры или мультикоптеры. Полет БПЛА этого типа требует постоянных затрат энергии. Это существенно уменьшает продолжительность и дальность полета. Взамен такой беспилотник предлагает большую маневренность, необходимую для тщательного облета объекта или территории. Сферы использования БПЛА вертолетного типа имеют широкое применение в различных сферах:

- Телекоммуникационная сфера (использование двусторонней видео/аудио связи);
- Транспортная сфера (транспортировка грузов);
- Спасательные работы (исследование труднодоступных зон при стихийных бедствиях, терактах, поиск находящихся под завалами людей, транспортировка медикаментов, оказание первой помощи при несчастных случаях);
- Рекламные кампании (применение робота для привлечения внимания на крупных выставках и т.п.);
- Сфера СМИ (аэросъемка различных событий);
- Видео/фото-съемка (съемка фильмов или рекламных роликов с высоты птичьего полёта);
- Продовольственная сфера (доставка продуктов питания).

Есть множество способов конфигурации двигателей (рис. 1.2): трикоптер, гексакоптер, октокоптер, но самый простой из них в сборке и управлении, это квадрокоптер, то есть мультироторная платформа с четырьмя



двигателями. В свою очередь квадрокоптер может иметь + и x конфигурацию. У «+»-коптера один из лучей направлен вперед, у «x»-платформ основное направление находится между двумя соседними лучами.

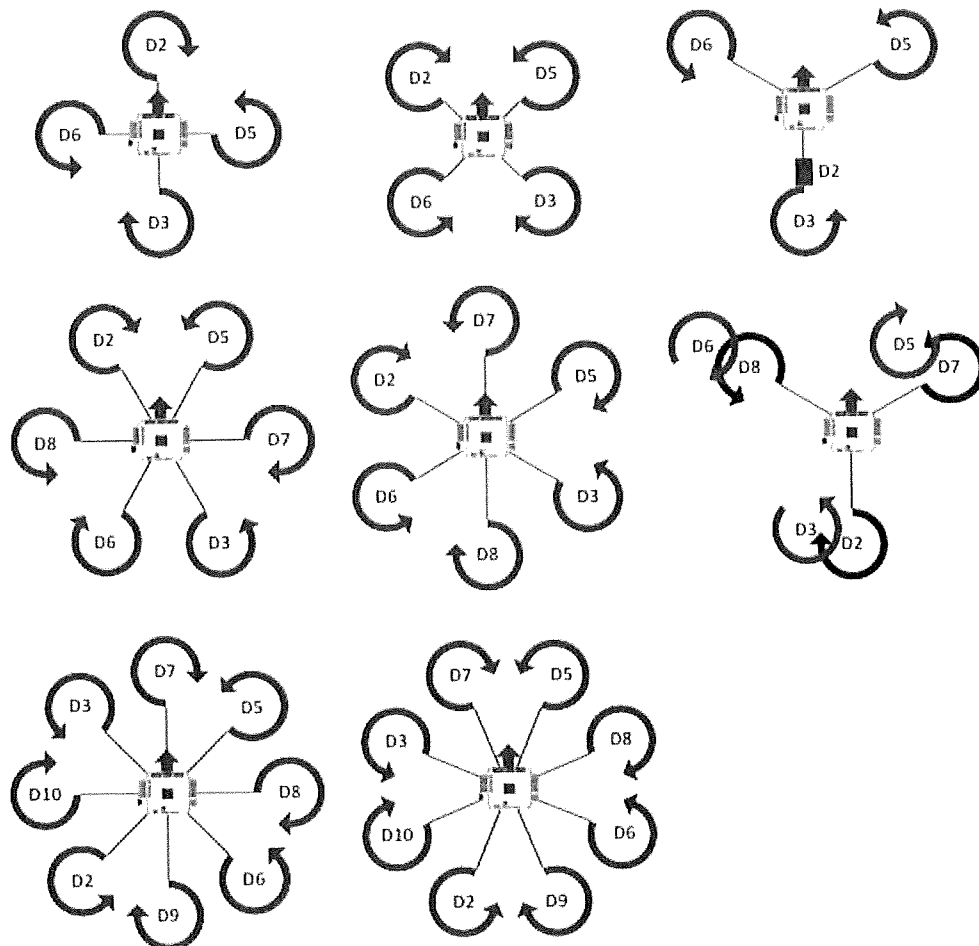


Рис. 1.2. Способы конфигурации двигателей

Далее в данной главе описано устройство мультикоптера.

**Полетный контроллер** – электронное устройство, управляющее полётом летательного аппарата. Стабильность полета и управляемость во многом зависит от способностей полетного контроллера. Задача полетного контроллера – переводить команды от пульта управления в сигналы задающие обороты двигателя. Также в нем установлены инерциальные измерительные датчики, позволяющие следить за текущим положением платформы и выполнять автоматические регулировки.

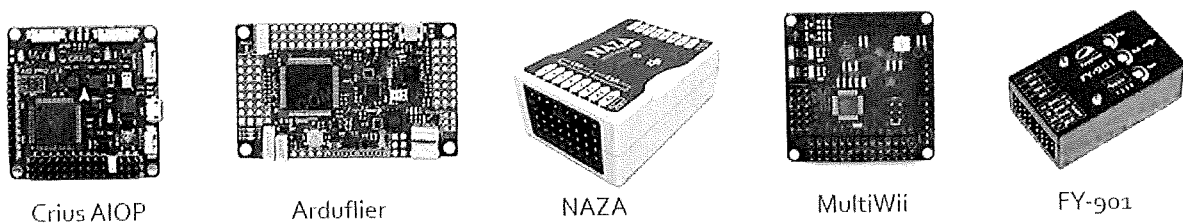


Рис. 1.3. Виды полетных контроллеров

**ESC** — это регуляторы оборотов электродвигателей. Дело в том, что в мультикоптерах используют специальные бесколлекторные электродвигатели, которые способны работать на очень больших оборотах. Для управления этими двигателями необходимо формировать трехфазное напряжение и относительно большие токи, чем и занимаются регуляторы оборотов. Для каждого двигателя необходим свой регулятор оборотов. Все регуляторы оборотов подключаются к полетному контроллеру. Питаются регуляторы непосредственно от аккумулятора. Каждый двигатель подключен к своему регулятору оборотов тремя проводами. Последовательность подключения проводов определяет направление вращения двигателя.

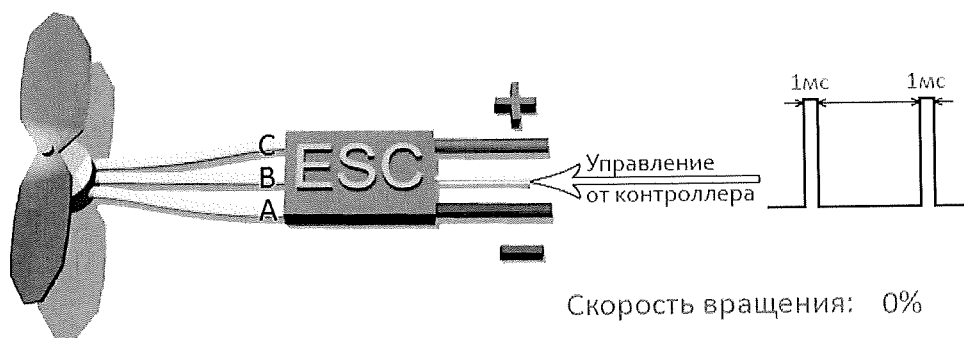


Рис. 1.4. Устройство ESC

**Электродвигатель.** В конструкциях коптеров используются бесколлекторные электродвигатели. Они обладают выдающимися характеристиками и надежностью в связи с отсутствием трущихся узлов (щеток) посредством которых передается ток. В отличие от обычного электродвигателя, у которого имеется подвижная часть - ротор и неподвижная - статор, у бесколлекторного двигателя подвижной частью является как раз статор с постоянными магнитами, а неподвижной частью - ротор с обмотками

трех фаз. Для того, чтобы заставить вращаться такую систему, необходимо осуществлять в определенном порядке смену направления магнитного поля в обмотках ротора - тогда постоянные магниты статора будут взаимодействовать с магнитными полями ротора и подвижный статор придет в движение. Это движение основано на свойстве магнитов с одноименными полюсами отталкиваться, а с противоположными - притягиваться.

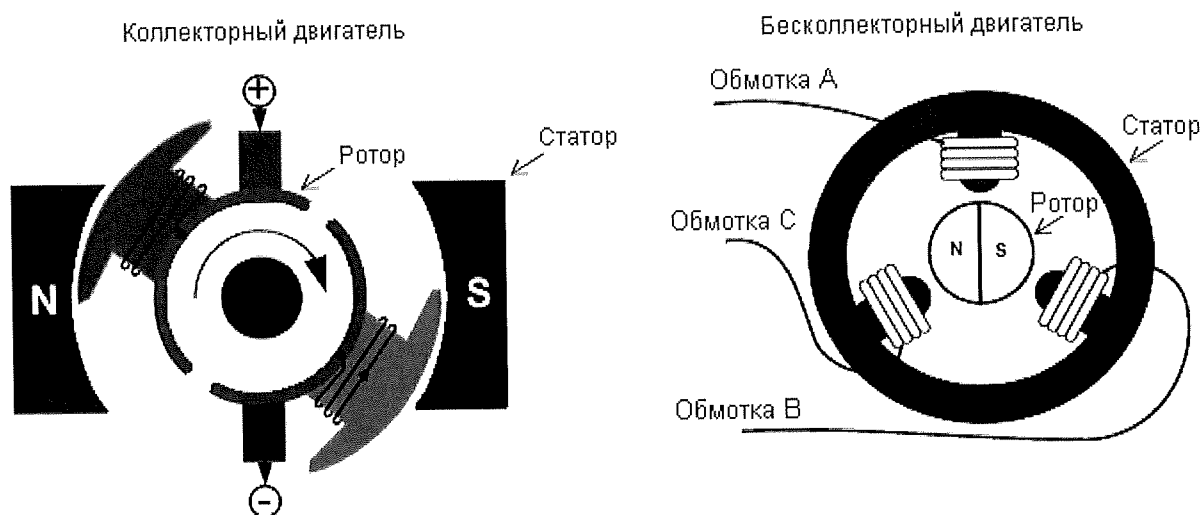


Рис. 1.5. Устройство коллекторных и бесколлекторных моторов

**Аппаратура радиоуправления.** Существует два основных вида управления БПЛА – визуальное управление и управление мультикоптером в автономном (программном) режиме. Управление коптером в визуальном режиме осуществляется при помощи пульта управления, который передает команды радиоприемнику. Пульт питается от батареек, а радиоприемник получает питание от Полетного контроллера. Связь зачастую односторонняя, только от пульта к приемнику. Приемник подключается к полетному контроллеру минимум пятью проводами, по которым передаются сигналы поворота вокруг трех осей, команда «газа» и полетный режим.

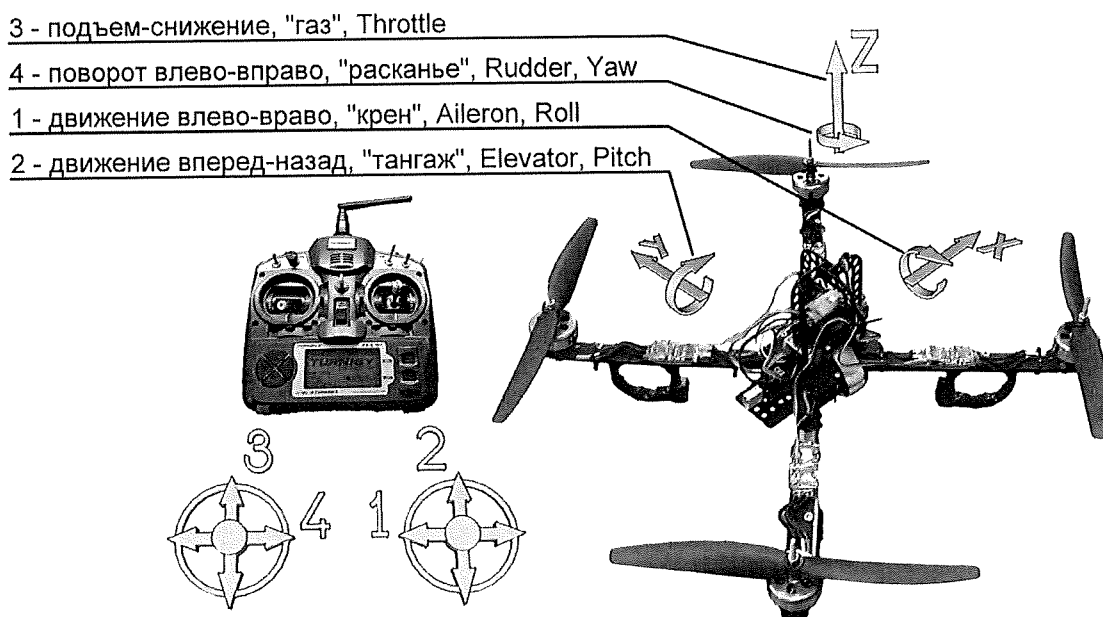


Рис. 1.6. Принципы визуального управления

Throttle — переводится как «дроссель», «тяга» или «газ» в обиходе. Газ мультикоптера — среднее арифметическое между скоростями вращения всех моторов. Чем больше газ, тем больше суммарная тяга моторов, и тем сильнее они тащат коптер вверх (проще говоря «Тапок в пол» здесь означает наискорейший подъем). Обычно измеряется в процентах: 0% — моторы остановлены, 100% — вращаются с максимальной скоростью. Газ висения — минимальный уровень газа, который необходим, чтобы коптер не терял высоту.

Оси коптера: углы тангажа, крена и рыскания (pitch, roll, yaw) — углы, которыми принято определять и задавать ориентацию мультикоптера в пространстве.

**Yaw** – «рыскание». Поворот носа мультикоптера. условно - вращение вправо-влево.

**Pitch** - «тангаж». В коптерах манипуляции с этим моментом силы позволяет коптеру двигаться вперед или назад за счет наклона носа в соответствующем направлении.

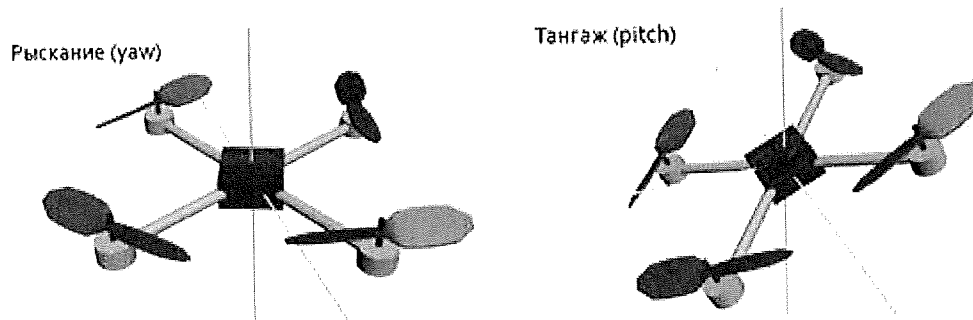


Рис. 1.7. Рыскание и тангаж

**Roll** - «крен». Наклон мультикоптера влево вправо. Коптер за счет крена может двигаться боком в соответствующую сторону.

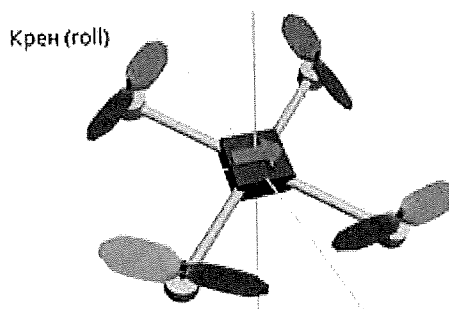


Рис. 1.8. Крен

Газ, тангаж, крен, рыскание — если вы можете управлять этими четырьмя параметрами, значит вы можете управлять квадрокоптером. Их еще иногда называют каналами управления.

Режимов полета существует много. Используется и GPS, и барометр, и дальномер, так же режим стабилизации (stab, stabilize, летать в «стабе»), в котором квадрокоптер держит те углы, которые ему задаются с пульта независимо от внешних факторов. В этом режиме при отсутствии ветра квадрокоптер может висеть почти на месте. Ветер же придется компенсировать пилоту. Направление вращения винтов выбирается не случайно. Если бы все моторы вращались в одну сторону, квадрокоптер вращался бы в противоположную из-за создаваемых моментов. Поэтому одна пара противостоящих моторов всегда вращается в одну сторону, а другая пара — в другую. Эффект возникновения моментов вращения используется, чтобы изменять угол рыскания: одна пара моторов начинает вращаться чуть быстрее другой, и вот уже квадрокоптер медленно поворачивается к нам лицом:

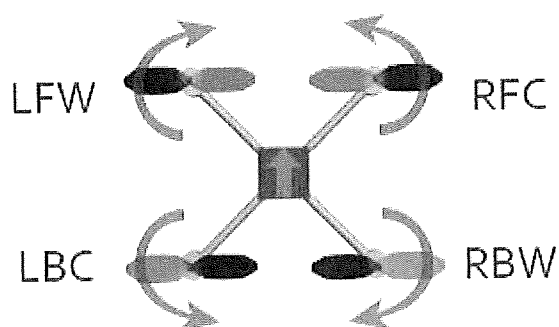


Рис. 1.9. LFW, RFC, LBC, RBW

LFW — left front clockwise rotation (левый передний, вращение по часовой стрелке);

RFC — right front counter clockwise rotation (правый передний, вращение против часовой стрелке);

LBC — left back counter clockwise rotation (левый задний, вращение против часовой стрелке);

RBW — right back clockwise rotation (правый задний, вращение по часовой стрелке).

**Пропеллер** — лопастной агрегат, приводимый во вращение двигателем и предназначенный для преобразования мощности (крутящего момента) двигателя в тягу.

Винт вращается на месте. При этом масса воздуха перемещается вертикально сверху вниз. Это один из режимов так называемого осевого обдува винта. На одной из лопастей выделены два небольших участка: один — «А» — ближе к оси вращения, другой — «Б» — у конца лопасти. В процессе вращения винта оба участка будут описывать концентрические окружности. Понятно, что длина окружности, описываемой элементом «Б», а значит, и его скорость относительно воздуха, будет больше, чем элемента «А». Иными словами, скорость элемента лопасти относительно воздуха зависит от того, на каком расстоянии он расположен от оси вращения. Чем это расстояние больше, тем большую скорость имеет элемент. Понятно, что на оси вращения скорость будет равна нулю, а на конце лопасти она будет наибольшей.

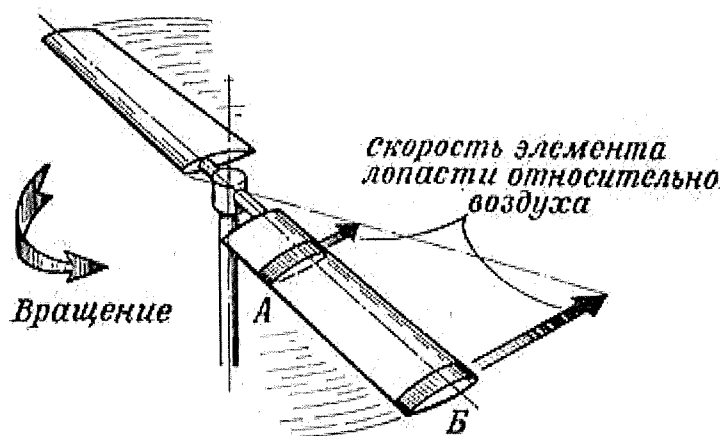


Рис. 1.10. Принцип работы пропеллера

Поперечное сечение лопасти на этом участке имеет вид обтекаемого профиля. При обтекании этого профиля потоком воздуха под углом атаки возникают подъемная сила  $Y$  и сила сопротивления  $X$ , которые вычисляются по специальным формулам. Разбивая лопасть на множество мелких участков можно определить их подъемные силы и силы сопротивления, и, сложив вместе соответствующие силы по всем участкам, определить подъемную силу и силу лобового сопротивления одной лопасти. (С математической точки зрения такая операция именуется интегрированием по размаху лопасти). Подъемная сила (или сила тяги) всего винта получается умножением подъемной силы одной лопасти на число лопастей. Концевой эффект. Величина силы тяги винта определяется описанным выше методом с некоторой ошибкой, обусловленной несколькими причинами. Одна из них состоит в не учете явления так называемого концевой эффект. Концевой эффект проявляется в стремлении воздуха к выравниванию давлений над лопастью и под лопастью путем перетекания через края лопасти.

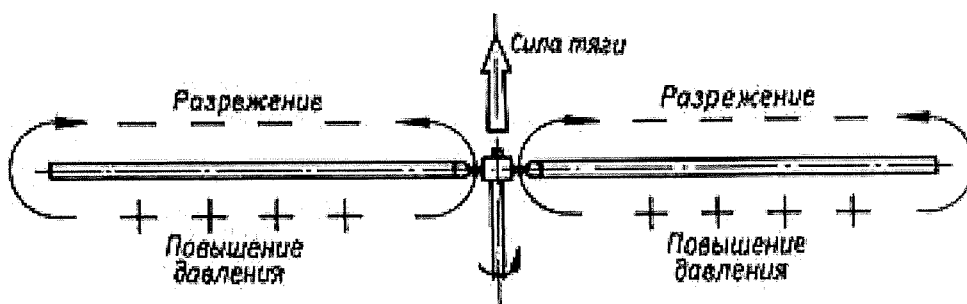


Рис. 1.11. Принцип работы пропеллера

В данном случае перетекание происходит как на внешнем, так и на внутреннем краях лопасти. А так как подъемная сила появляется вследствие разности давлений на верхней и нижней поверхностях лопасти, то любое выравнивание этих давлений вызывает потери подъемной силы.

Существуют различные виды воздушных винтов, которые можно использовать, с разным успехом. При подборе учитываются следующие параметры:

1. Диаметр пропеллера. Более крупные пропеллеры требуют большей мощности от мотора на свою раскрутку. Нужно убедиться, что мотор может развивать нужную мощность. Также, большие и тяжелые пропеллеры обладают большей инерцией, поэтому они не смогут мгновенно ускориться, что отразится на маневренности коптера.
2. Шаг пропеллера (prop pitch). Указывается второй цифрой, после знака "x", в марке пропеллера; также может указываться просто как 3 и 4-я цифры марки - например, 1260 это пропеллеры с шагом 6,0 дюймов. Физически - это величина столба воздуха, который пропеллер передвигает вниз за один свой оборот. Чем больше шаг, тем выше подъемная сила. Естественно, до разумных пределов: например, пропеллеры 14x7 имеют большую подъемную силу, чем 14x5. Кстати, для идеального случая, шаг пропеллера, умноженный на число оборотов в секунду дает скорость воздушного потока от винта.
3. Количество лопастей. Классически - две лопасти. Однако пропеллеры с тремя лопастями имеют большую подъемную силу - примерно эквивалентную на 1 дюйм большему диаметру И на 1 дюйм большему шагу для двухлопастного пропеллера.
4. Пропеллерная константа, так называемый Prop Const - сильно влияет на подъемную силу и на требуемую для раскрутки пропеллера мощность мотора, поскольку физически эта константа означает величину потерь на воздушном сопротивлении при вращении



пропеллера: чем тоньше материал, из которого сделан пропеллер, тем меньше эта константа, и тем меньше развиваемая на моторе мощность для раскрутки такого пропеллера.

### **Аккумулятор**

Производители зарядных устройств используют в конструкции два вида аккумуляторов – литий-ионный и литий-полимерный.

Изначально модели на базе лития выпускались с применением марганца и кобальта в качестве основного элемента (активный электролит). Современные батареи литий-ионного типа претерпели конструктивные изменения. Их продуктивность зависит не от использованного вещества, а от порядка размещения элементов в блоке. Составные части современной батареи Li-Ion – электроды и сепаратор. Материалы – алюминий и медь (медные аноды и алюминиевая фольга в качестве катодной основы).

Специальные клеммы-токосъемники обеспечивают внутреннее соединение анода и катода, а электролитная пропитка массы сепаратора задает благоприятную среду для обслуживания заряда. Положительные заряды ионов лития запускают химические реакции, формируют связи и обеспечивают выход энергии. Принцип действия источника питания на литий-ионной базе напоминает работу полноформатной гелевой АКБ.

Поскольку литий-ионные модели не справляются со многими современными задачами, постепенно их начали вытеснять полимерные элементы. Батареи Li-ion не обладали высоким уровнем безопасности и довольно дорого стоили. Чтобы устранить эти недостатки и проблемы эксплуатации, сделать батареи более эффективными, разработчики приняли решение о смене электролита. Вместо пропитки пористого сепаратора в конструкции батареи применили полимерные электролиты.

Литий-полимерный элемент имеет толщину 1 мм, что позволяет сделать размеры аккумулятора компактными. Замена жидких электролитов полимерными пленками исключило высокий риск воспламенения батареи и

сделало ее безопасной. Представленная ниже сравнительная таблица поможет наглядно определить, чем отличается Li-ion от Li-Pol.

<b>Технические характеристики</b>	<b>Li-ion</b>	<b>Li-Pol</b>
Энергоемкость	высокая	низкая, количество циклов заряда и разряда меньше
Типоразмер	малый выбор	высокий выбор, независимость от стандартного формата ячеек
Масса	незначительно тяжелее	легкая
Емкость	меньше	почти в два раза выше при одинаковом размере
Срок службы	примерно одинаковый	примерно одинаковый
Риск взрыва и возгорания	более высокий	встроенная защита от утечки электролитов и перезарядов
Время зарядки	длиннее	короче
Износ	до 0,1% ежемесячно	менее активный
Цена	дешевле	дороже

## Раздел 2. Изучение летающей робототехники

### 2.1 Полетные задания

Основные понятия, знание которых необходимо для изучения визуального пилотирования:

1. Arm (англ. – «вооружить») – разблокировать моторы коптера, перевести коптера в «боевое» состояние, после чего коптер начинает реагировать на движения стика газа. На коптере Clover (при настройках «по умолчанию») арминг выполняется наклоном стика «Yaw» вправо до края, при минимальном газе, в течение 3 секунд.
2. Disarm (англ. – «разоружить») – заблокировать моторы коптера, после чего коптер перестает реагировать на движения стика газа. На коптере Clover (при настройках «по умолчанию») выполняется наклоном стика «Yaw» влево до края, при минимальном газе, в течение 3 секунд.
3. Процедура включения – последовательность действий после установки коптера на взлетную площадку перед взлетом.
4. Визуальное пилотирование - тип пилотирования, при котором коптер находится в зоне прямой видимости.
5. FPV (англ. – «вид от первого лица») - полет по камере, вид от первого лица - тип пилотирования, при котором управление коптером осуществляется по дополнительному видео-радиоканалу с передачей изображения с камеры, установленной на борту коптера.

Перед каждым полетом необходимо проверять следующие параметры:

- Провода аккумулятора уложены так, что, будучи подключенными, не помещают полётам.
- Вращению пропеллеров ничего не мешает.
- Защиты пропеллеров целы и закреплены.
- Проверить дальность видеопередатчика и обозначить, как полетную зону.

- Все присутствующие люди находятся за спиной. На расстоянии 10 метров спереди и сбоку нет людей.

Перечень полетных заданий, которые ученик должен уметь выполнять, как в симуляторе, так и на реальном коптере, приведен в таблице:

Висение	Учащийся должен научиться зависать над точкой не менее чем на 10 секунд хвостом к себе. Выполняется на уровне колен над центральным перекрестием зоны полётов.
Полеты вперед / назад	Выполнение упражнения «полеты вперед - назад по прямой хвостом к себе», не менее 5 раз
Полет по кругу	Выполнение упражнения «полет по кругу хвостом к себе», не менее 5 раз
Висение боком	Учащийся должен научиться зависать над точкой не менее чем на 10 секунд боком к себе

## 2.2 Внедрение микроконтроллера (Arduino) в квадрокоптер

Для взаимодействия с ROS-топиками и сервисами на Raspberry Pi можно использовать библиотеку `rosserial_arduino`. Эта библиотека предустановлена на образе для Raspberry Pi. Arduino необходимо установить на Клевер и подключить по USB-порту.

Для работы с ROS Arduino необходимо понимать формат сообщений установленных пакетов. Для этого на Raspberry Pi необходимо собрать библиотеку ROS-сообщений при помощи команды:

```
rosrun roserial_arduino make_libraries.py .
```

Полученный каталог `ros_lib` необходимо скопировать в <папку скетчей>/libraries на компьютере с Arduino IDE.

Для запуска `rosserial` создайте файл `arduino.launch` в каталоге `~/catkin_ws/src/clover/clover/launch/` со следующим содержимым:

```
<launch>
```

```

<node pkg="rosserial_python" type="serial_node.py"
name="serial_node" output="screen" if="$(arg arduino)">
  <param name="port" value="/dev/serial/by-id/usb-1a86_USB2.0-
Serial-if00-port0"/>
</node>
</launch>

```

Чтобы единоразово запустить программу на Arduino, можно будет воспользоваться командой:

```
roslaunch clover arduino.launch
```

Чтобы запускать связку с Arduino при старте системы автоматически, необходимо добавить запуск созданного launch-файла в основной launch-файл Клевера (~/.catkin\_ws/src/clover/clover/launch/clover.launch). Добавьте в конец этого файла строку:

```
<include file="$(find clover)/launch/arduino.launch"/>
```

При изменении launch-файла необходимо перезапустить пакет clover:

```
sudo systemctl restart clover
```

Набор сервисов и топиков аналогичен обычному набору в simple\_offboard и mavros.

Пример программы, контролирующей коптер по позиции, с использованием сервисов navigate и set\_mode:

```

// Подключение библиотек для работы с rosserial
#include <ros.h>

// Подключение заголовочных файлов сообщений пакета clover и MAVROS
#include <clover/Navigate.h>
#include <mavros_msgs/SetMode.h>

using namespace clover;
using namespace mavros_msgs;

ros::NodeHandle nh;

// Объявление сервисов
ros::ServiceClient<Navigate::Request, Navigate::Response>
navigate("/navigate");
ros::ServiceClient<SetMode::Request, SetMode::Response>
setMode("/mavros/set_mode");

void setup()
{
  // Инициализация rosserial
  nh.initNode();

```

```

// Инициализация сервисов
nh.serviceClient(navigate);
nh.serviceClient(setMode);

// Ожидание подключение к Raspberry Pi
while(!nh.connected()) nh.spinOnce();
nh.loginfo("Startup complete");

// Пользовательская настройка
// <...>

// Тестовая программа
Navigate::Request nav_req;
Navigate::Response nav_res;
SetMode::Request sm_req;
SetMode::Response sm_res;

// Взлет на 2 метра:
nh.loginfo("Take off");
nav_req.auto_arm = false;
nav_req.x = 0;
nav_req.y = 0;
nav_req.z = 2;
nav_req.frame_id = "body";
nav_req.speed = 0.5;
navigate.call(nav_req, nav_res);

// Ждем 5 секунд
for(int i=0; i<5; i++) {
    delay(1000);
    nh.spinOnce();
}

nav_req.auto_arm = false;

// Пролет вперед на 3 метра:
nh.loginfo("Fly forward");
nav_req.auto_arm = true;
nav_req.x = 3;
nav_req.y = 0;
nav_req.z = 0;
nav_req.frame_id = "body";
nav_req.speed = 0.8;
navigate.call(nav_req, nav_res);

// Ждем 5 секунд
for(int i=0; i<5; i++) {
    delay(1000);
    nh.spinOnce();
}

```

```

// Полет в точку 1:0:2 по маркерному полю
nh.loginfo("Fly on point");
nav_req.auto_arm = false;
nav_req.x = 1;
nav_req.y = 0;
nav_req.z = 2;
nav_req.frame_id = "aruco_map";
nav_req.speed = 0.8;
navigate.call(nav_req, nav_res);

// Ждем 5 секунд
for(int i=0; i<5; i++) {
    delay(1000);
    nh.spinOnce();
}

// Посадка
nh.loginfo("Land");
sm_req.custom_mode = "AUTO.LAND";
setMode.call(sm_req, sm_res);
}

void loop()
{
}

```

При использовании Arduino Nano может не хватать оперативной памяти (RAM). В таком случае в Arduino IDE будут появляться сообщения, типа:

Глобальные переменные используют 1837 байт (89%) динамической памяти, оставляя 211 байт для локальных переменных. Максимум: 2048 байт. Недостаточно памяти, программа может работать нестабильно.

Можно сократить использование оперативной памяти уменьшив размер выделяемых буферов для передачи и приема сообщений. Для этого **в самое начало** программы следует поместить строку:

```
#define __AVR_ATmega168__ 1
```

Можно уменьшить количество занятой памяти еще сильнее, если вручную настроить количество publisher'ов и subscriber'ов, а также размеры буферов памяти, выделяемой для сообщений, например:

```
#include <ros.h>
```

```
// ...
```

```
typedef ros::NodeHandle_<ArduinoHardware, 3, 3, 100, 100> NodeHandle;
```

```
// ...  
NodeHandle nh;
```



## Список использованных источников

1. Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером. Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2014. №8  
Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/723331.html> (Дата обращения 20.10.15)
2. Ефимов. Е. Програмируем квадрокоптер на Arduino: Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/227425/> (Дата обращения 20.10.15)
3. Институт транспорта и связи. Основы аэродинамики и динамики полета. Рига, 2010. Режим доступа: [http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/Osnovy\\_ajerodtnamiki\\_Riga.pdf](http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/Osnovy_ajerodtnamiki_Riga.pdf) (Дата обращения 20.10.15) Понфиленок О.В., Шлыков А.И., Коригодский А.А. «Клевер. Конструирование и программирование квадрокоптеров». Москва, 2016.
4. Кравцова В., Космические снимки и экологические проблемы нашей планеты. — ИТЦ Сканекс Москва, 2011. — С. 254.
5. Нейл Уилсон, Руководство по ориентированию на местности. Выбор маршрута и планирование путешествия. Навигация с помощью карт, компаса и природных объектов – ФАИР-ПРЕСС, 2004 г. – с. 352, ISBN 5-8183-0655-0