



**ТРУД**

ТЕХНОЛОГИЯ

# БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ



**8-9**

**ТРУД**  
( ТЕХНОЛОГИЯ )  
**БЕСПИЛОТНЫЕ**  
**ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ**

**8-9**

**К Л А С С Ы**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

МОСКВА  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»

2025

УДК 373.167.1:629.7+629.7(075.3)  
ББК 39.52-05я721  
Т78

12+

Авторы: М. В. Луцкий, Д. В. Швецов, С. И. Николаев, Н. С. Семёнов.  
Разработано при участии крупнейшего производителя беспилотников ГК «Геоскан»

Труд (технология). Беспилотные летательные аппара-  
T78 ты : 8–9-е классы : учебное пособие / М. В. Луцкий,  
Д. В. Швецов, С. И. Николаев, Н. С. Семёнов. — Москва :  
Просвещение, 2025. — 143, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-09-120027-0.

Учебное пособие представляет собой вариативный модуль предмета  
«Труд (технология)» для 8–9 классов.

Учебное пособие поможет учащимся узнать о развитии беспилотной  
авиации в России, сформировать базовые знания о принципах работы,  
классификации, функциях и назначении беспилотных летательных ап-  
паратов. В издании последовательно представлены основы программи-  
рования беспилотников на языке Python.

В учебный курс заложено изучение основных элементов конструк-  
ции (на примере квадрокоптеров), принципов работы моторов, систем  
связи, основ ручного пилотирования.

Акцентируется внимание на изучение новых инженерных профес-  
сий, расширение представления об областях применения и направлени-  
ях развития беспилотной авиации.

УДК 373.167.1:629.7+629.7(075.3)  
ББК 39.52-05я721



# ГЛАВА 1 ВВЕДЕНИЕ В БЕСПИЛОТНУЮ АВИАЦИЮ

## §1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Люди издавна мечтали о полётах в небе и стремились покорить воздушные просторы. Грёзы о небе вдохновляли многих художников, писателей и учёных. Яркими примерами таких мечтаний были рассказы фантастов и фильмы, в которых небо было усыпано футуристичными летательными аппаратами — достаточно лишь посмотреть наверх. Хотя машины пока ещё не летают в небе, полёты стали доступны почти каждому, а слова «дрон», «коптер», «БПЛА» на слуху почти у каждого. Речь, конечно же, идёт о небольших летательных аппаратах. Но что для себя выбрать? Коптер, беспилотник, квадрокоптер, БПЛА, БВС?

Терминов и обозначений летательных аппаратов, которые способны без участия человека (или же с ним) находиться в воздухе, с развитием сферы беспилотных аппаратов становится всё больше и больше. Давайте попробуем разобраться во всём этом многообразии. Самое распространённое слово, которое вы можете услышать при описании летательного аппарата, — это «дрон».

**Дрон** (от англ. *drone* — тругень; гудение, жужжание) — используется как синоним аббревиатуры **БПЛА** (или **БЛА**) — беспилотный летательный аппарат, представляющий собой воздушное судно без пилота, которое полностью дистанционно управляется из другого места: с земли, с борта воздушного судна либо запрограммировано и полностью автономно. Но кроме них данным словом могут называть и множество других беспилотников, совершенно не похожих друг на друга. Услышать слово «дрон» можно было задолго до того, как появились аппараты, к виду которых мы привыкли. Впервые оно было применено для описания БВС в 1935 г., поскольку низколетящие бипланы звучали, будто облако пчёл. С конца 1950-х — начала 1960-х гг. определение расширили и включили в него обозначения всех летательных аппаратов. В наши дни дроном называют всё — от больших БВС до квадрокоптеров, помещающихся на ладони.

**БВС (беспилотное воздушное судно)** — воздушное судно, управляемое, контролируемое в полёте пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна (внешний пилот). Именно этот термин используется в профессиональной среде и регламентирующих документах Российской Федерации.

**Коптер** (англ. *helicopter*) — используется для обозначения летательного аппарата с различным количеством несущих винтов.

**Беспилотник** — это упрощённое название БВС.



### Вопросы и задания

1. В чём разница между беспилотным воздушным судном (БВС) и беспилотной авиационной системой (БАС)? При необходимости можете ознакомиться с актуальной редакцией Воздушного кодекса Российской Федерации.
2. Назовите несколько моделей известных вам беспилотников. Приходилось ли вам ранее управлять беспилотниками?
3. Подумайте, почему небольшие беспилотные летательные аппараты не появились ранее в таком виде, в каком существуют сейчас.

## §2. РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

История развития беспилотных воздушных судов (БВС) берёт своё начало в далёком прошлом, когда человечество только начинало осваивать небо. Изначально БВС использовались в основном в военных целях, однако с развитием технологий и миниатюризации электроники они стали применяться и в гражданской сфере. Этапы развития беспилотных воздушных судов условно можно разделить на шесть этапов. Давайте рассмотрим каждый из них и разберём более значимые достижения на каждом из этапов.

### 1848–1900

Во время революции 1848–1849 гг. в Австрийской империи возникла идея использования беспилотных аэростатов. Аэростаты наполнялись горячим дымом и к ним подвешивались грузы (рис. 2.1). В 1898 г. на выставке изобретений учёный Никола Тесла (рис. 2.2) представил свой первый прототип будущих радиоуправляемых транспортных средств. Он продемонстрировал удивительный кораблик, который плавал в большом бассейне и поражал зрителей своим необычным видом (рис. 2.3). На палубе кораблика располагалась длинная металлическая антенна, а с помощью специального пульта Никола Тесла мог управлять им дистанционно, без использования проводов. Он мог изменять скорость передвижения, выполнять сложные манёвры и даже оснастил кораблик мигающими огоньками. Команды передавались в виде радиосигналов с пульта управления на приёмную антенну, установленную на судне. После этого сигналы расшифровывались и механизм кораблика работал, следуя указаниям, отпущенным Теслой с пульта. Можно сказать, что это была первая в истории радиоуправляемая модель.

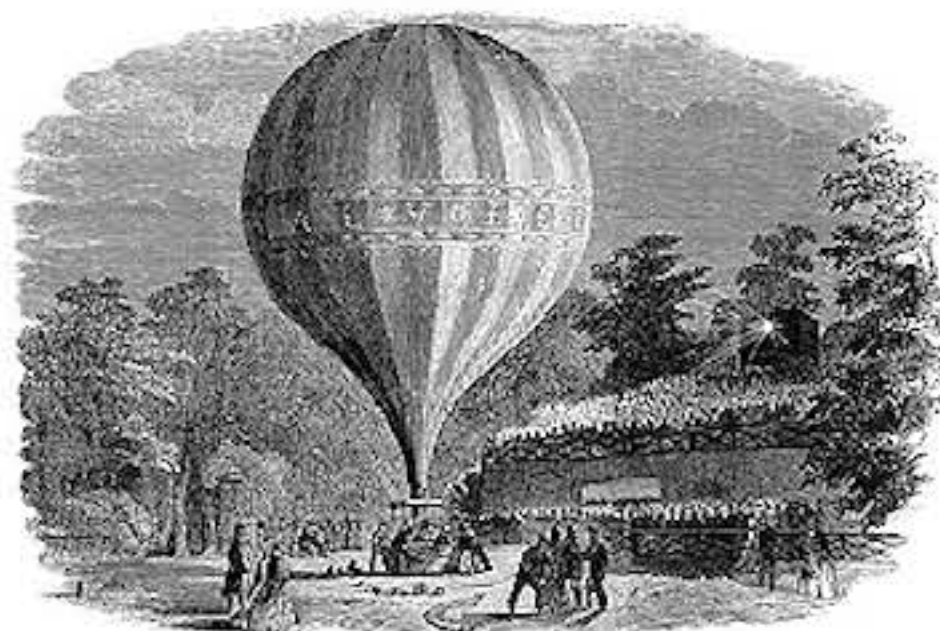


Рис. 2.1. Аэростат

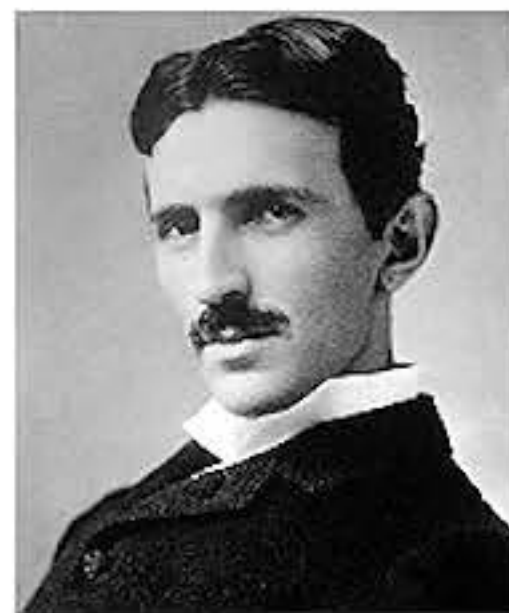
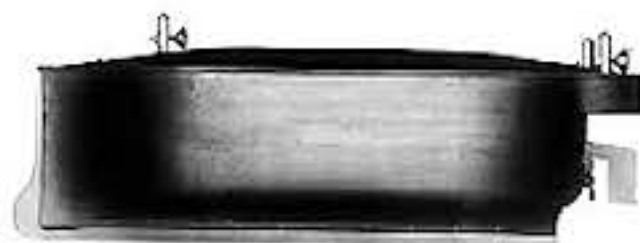


Рис. 2.2. Никола Тесла

Изобретение Теслы вызвало огромный интерес и восхищение, ведь такое управление на расстоянии без проводов было поистине необычной и новаторской идеей. Этот опыт Никола Теслы заложил основу будущего развития радиоуправляемых транспортных средств, которые сегодня широко применяются в самых разных областях, включая авиацию, морскую навигацию и многие другие сферы.



*Рис. 2.3.* Радиоуправляемый кораблик Никола Теслы



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Уже в 1754 г. Михаил Васильевич Ломоносов (рис. 2.4), первый крупный русский учёный, создал проект «аэродромной машины» для изучения атмосферы (рис. 2.5). Это был малоразмерный вертолёт соосной схемы для подъёма метеорологических приборов на большую высоту. Однако из-за низкого уровня технологий того времени проект не был реализован, и большинство современников о нём не узнали. Позднее, в 1947 г., поднялся в воздух первый пилотируемый вертолёт (рис. 2.6) соосной схемы конструкции Николая Ильича Камова (советский авиаконструктор, пионер вертолётостроения, вертолёты серии «Ка» названы в его честь), а после парада в честь Дня Военно-воздушного флота 1948 г. слово «геликоптер» официально впервые было заменено на «вертолёт».



*Рис. 2.4.* Михаил Васильевич Ломоносов



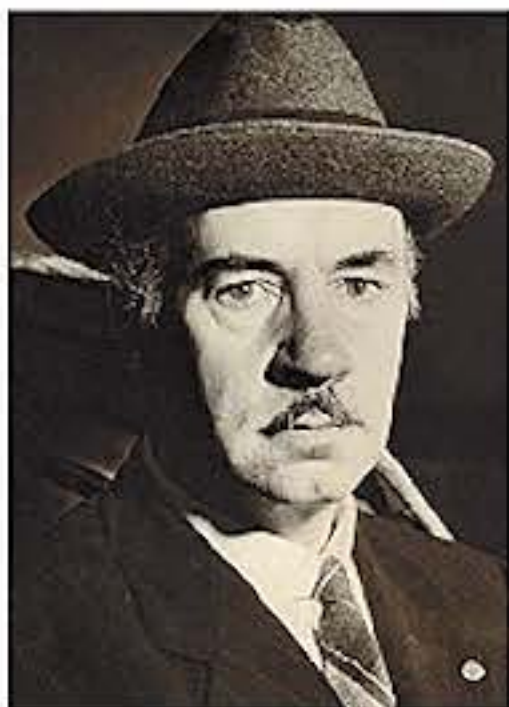
*Рис. 2.5.* Аэродромная машина Ломоносова



*Рис. 2.6.* Вертолёт Ка-8

## 1900–1922

Георгий Александрович Ботезат — русский авиаконструктор, учёный, изобретатель и математик, построивший один из первых квадрокоптеров. В 1922 г. Ботезат построил свой четырёхвинтовой вертолёт. Аппарат, имевший вес 1600 кг (благодаря алюминиевой раме), двигатель мощностью 170 л. с. и способный нести трёх пассажиров, успешно поднялся в воздух на высоту в несколько метров и устойчиво управлялся, совершив в 1922 и 1923 гг. более 100 полётов. Это был первый вертолёт, успешно совершивший управляемый полёт. Однако технически система, созданная Ботезатом, была сложна из-за конструкции, которая передавала крутящий момент на винты, и от серийного производства пришлось отказаться, дав приоритет работам в области автожиров. Ботезат же переключился на разработку самолётов.



*Рис. 2.7.* Игорь Иванович Сикорский

Ещё одной немаловажной личностью был Игорь Иванович Сикорский (рис. 2.7), авиаконструктор, родившийся в Российской империи (1889–1972). Уже в 12 лет ему удалось построить модель будущего вертолёт, который поднялся в воздух и приводом у которого была обыкновенная резинка. А уже в 1908–1911 гг. Сикорский создал свои первые два простейших вертолёт, соосной схемы без автомата перекоса. Первый серийный вертолёт Сикорского успешно взлетел в 1942 г.

## 1930–1940

Весной 1932 г. одно из технических бюро в Ленинграде (ныне Санкт-Петербург) получило задание на разработку оборудования для дистанционно управляемого самолёта. За основу взяли самолёт ТБ-1 (рис. 2.8).

Для решения задачи требовалось два устройства: автопилот, обеспечивающий полёт по заданным параметрам, и командное устройство, сообщаящее автопилоту сигналы для изменения траектории. Автопилот АВП-2 был изготовлен осенью 1932 г. Он имел два свободных гироскопа, курсовой и продольно-поперечный, и с помощью рулевых машинок с пневмоприводом мог управлять самолётом. В 1933 г. АВП-2 был установлен на опытном самолёте и прошёл испытания в течение 8-часового перелёта. В 1939 г. на двух ТБ-1 было осуществлено десять полётов.



*Рис. 2.8.* Дистанционно управляемый ТБ-1



*Рис. 2.9.* Самолёт-мишень Ла-17

## 1950–1980

В 1950 г. возникла потребность в беспилотном разведчике. Было принято решение на базе самолёта-мишени Ла-17 создать беспилотный разведывательный комплекс Ла-17Р (рис. 2.9). Важно отметить то, что разведывательную информацию можно было извлечь только после приземления. В дальнейшем стали использовать аппараты, построенные в КБ Туполева: Ту-123, Ту-141, Ту-243.

## 1990

Использование беспилотников в этот период способствовало развитию гражданских моделей. Примером такого гражданского беспилотника может послужить

российский многоцелевой беспилотный вертолёт Ка-137, разработанный в ОКБ Камова и предназначенный для решения широкого класса задач в интересах МЧС. Беспилотный вертолёт Ка-137 выполнен по соосной схеме с четырёхопорным шасси. Корпус имеет шарообразную форму с диаметром 1,3 м. Оборудованный спутниковой навигационной системой и цифровым автопилотом, Ка-137 движется по заранее намеченному маршруту автоматически и выходит в заданное место с точностью до 60 м.

## Наше время

Развитие микроэлектроники в настоящее время задало тенденцию к уменьшению размера беспилотников, увеличению автономности полёта и созданию всевозможных полезных нагрузок. Тенденция развития движется к созданию «умных» систем, которые способны управлять целыми группами беспилотников, реагируя на внешние изменения слаженно, роём. Оглядываясь на весь опыт развития беспилотных систем, также можно сделать вывод, что за последние десятилетия они стали доступны для широкого круга пользователей.



### Вопросы и задания

1. По каким причинам квадрокоптеры в современном виде не появились раньше? Что этому препятствовало?
2. Назовите модели современных беспилотников. Какие у них бывают различия?
3. Подумайте, может ли летающий беспилотник работать на других планетах. Приведите примеры. Что для этого необходимо?
4. Назовите фамилии авиаконструкторов, которые заложили основы развития авиации в первой половине XX в.

## §3. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Беспилотные авиационные системы — комплексы, которые включают в себя как наземную станцию управления, на которую приходит информация с дронов и передаются команды управления, так и одно или несколько беспилотных летательных аппаратов, которые непосредственно выполняют работы.

Пилотируемая авиация с начала своего зарождения применяется для выполнения различных работ по обеспечению потребностей населения: это и перевозка пассажиров и грузов, и оказание медицинской помощи, и выполнение научно-исследовательских работ, и применение в сельском хозяйстве. Развитие беспилотников позволяет применять их более эффективно, получать более качественную информацию, затрачивать меньше средств на поддержание аппаратов в лётном состоянии и обслуживающую инфраструктуру. На данный момент дроны всё больше вытесняют пилотируемую авиацию из тех сфер, где она ранее применялась.

В гражданской сфере беспилотники используются для мониторинга и проверки инфраструктуры, земельных участков, лесов, в поиске пожаров, а также в сельском хозяйстве для оценки урожайности сельскохозяйственных культур и контроля состояния посевов. Они также применяются для поисково-спасательных операций, оказания медицинской помощи в отдалённых районах и для доставки лекарственных средств.

## Логистика

В XXI в. появились огромные перспективы применения беспилотных аппаратов в гражданских целях, поэтому многие страны мира активно занимаются разработкой и совершенствованием беспилотного транспорта.



Рис. 3.1. Аэротакси

Наиболее популярное направление для использования беспилотников сегодня — логистика, что создаёт новую среду конкуренции автомобильным транспортным компаниям. Здесь преобладают несколько основных направлений: курьерское, аэротакси (рис. 3.1) для транспортировки людей и применение на производстве, т. е. складские дроны, способные считывать штрих-коды с упаковок и проводить технологичную инвентаризацию.

## Аэрофотосъёмка и мониторинг

Аэрофотосъёмка является одним из первых применений летательных аппаратов, начиная с воздушного шара братьев Монгольфье и заканчивая современными беспилотниками. С самого начала было ясно, что для создания топографических карт местности намного проще и точнее использовать результаты наблюдений с воздуха и преобразовать полученные данные в карту.



Рис. 3.2. Аэрофотосъёмка

Аэрофотосъёмка (рис. 3.2) — это процесс фотографирования местности с определённой высоты от поверхности Земли с использованием аэрофотоаппарата на воздушном судне. Она проводится для сбора и анализа пространственных данных на участках, которые были сняты.

Данные, полученные в результате аэрофотосъёмки, имеют особое значение в картографии, позволяя определять границы территорий, проводить землеустройство, осуществлять визуальную разведку местности, искать полезные ископаемые, анализировать окружающую среду и искать различные аномалии. Аэрофотосъёмка на данный момент является основным способом применения беспилотных авиационных систем для решения прикладных задач.



Рис. 3.3. Использование БАС в строительстве

## Строительство

В строительной сфере активно применяются новые технологии и инструменты (рис. 3.3). Беспилотные летательные аппараты не стали исключением, а, наоборот, стали одним из высокоэффективных инструментов. При осуществлении мониторинга они не нарушают технологические процессы на площадке, управляются дистанционно и

способны менять точки обзора, обеспечивают лёгкий доступ к сложным и высоким структурным элементам, труднодоступным местам. Результаты традиционных наземных наблюдений по многим параметрам уступают данным аэрофотосъёмки, полученным с беспилотника: скорость получения, точность, стоимость.

## Сельское хозяйство

Процесс управления большим фермерским хозяйством всегда считался непростым видом деятельности. Имея в своём распоряжении необъятные поля, фермеры зачастую просто физически не имеют возможности отследить все изменения, которые происходят с их сельхозугодиями. Теперь БВС используются и в этой сфере для мониторинга состояния посевов, выявления сорняков, вредителей, грызунов и заболеваний растений (рис. 3.4).



*Рис. 3.4.* Использование БАС в сельском хозяйстве

## Электроэнергетика

С появлением беспилотников на экономическом рынке ни один из важнейших сегментов не остался без внедрения в него беспилотных технологий, в том числе электроэнергетика. Несмотря на всю свою прочность и надёжность, объектам энергетической инфраструктуры необходимо постоянное внимание и обслуживание. Их эффективная эксплуатация напрямую зависит от актуальности и полноты информации о состоянии электростанций, линий электропередачи (ЛЭП) и теплотрасс (рис. 3.5). Использование традиционных наземных методов обследования инженерных сетей на сегодняшний день уже не самый дешёвый и эффективный способ сбора такой информации. Использование беспилотников в электроэнергетике позволяет осуществлять производственные процессы оперативно, качественно, безопасно и экономично.



*Рис. 3.5.* Мониторинг ЛЭП



*Рис. 3.6.* Обеспечение безопасности при помощи БВС



*Рис. 3.7.* Аэротакси



*Рис. 3.8.* Шоу дронов в Санкт-Петербурге

ных типов дронов, таких как квадрокоптеры, гексакоптеры и октокоптеры, а также различных световых и звуковых устройств.

Целью шоу дронов является не только развлечение зрителей, но и демонстрация возможностей беспилотных технологий. Такое представление позволяет продемонстрировать скорость и маневренность дронов, их способность выполнять сложные фигуры в воздухе, а также их возможность взаимодействовать друг с другом.

## Безопасность

Уровень безопасности сотрудников правоохранительных органов во многих странах существенно возрос с применением на службе беспилотных систем (рис. 3.6). В России сейчас создаются специальные подразделения, работающие с беспилотниками.

## Беспилотный транспорт

Весь XX в. человечество пыталось воплотить в жизнь идею гибрида автомобиля и самолёта (рис. 3.7), который позволил бы передвигаться и по воздуху, и по улицам города. Только в последние десятилетия, благодаря доступности композитных, конструкционных материалов, повышению удельной мощности двигателей и достижению значительных успехов в области системного, программного и аппаратного обеспечения, технологии достигли необходимого уровня, чтобы действительно создать массовую модель.

## Массовые мероприятия

Сегодня мир беспилотных технологий и приложений дронов становится всё более разнообразным, начиная от применения в военных операциях и заканчивая сельским хозяйством. Дроны стали неотъемлемой частью нашей жизни. Одним из самых захватывающих и зрелищных способов использования беспилотников является шоу дронов (рис. 3.8).

Шоу дронов — это представление, в котором участвует множество беспилотных летательных аппаратов, создавая завораживающие световые и звуковые эффекты. Это зрелище способно поразить любого зрителя, независимо от возраста и предпочтений.

В основе шоу лежит использование различ-



### Вопросы и задания

1. Перечислите основные задачи, решаемые с помощью беспилотников в сфере строительства.
2. Подумайте, в чём преимущества распылительных квадрокоптеров, применяемых в сельском хозяйстве, перед наземным сельскохозяйственным транспортом.
3. Как вы думаете, с помощью каких средств, кроме фотоаппарата, можно получать полезную информацию с дронов?
4. Назовите сферы, где можно ещё применять беспилотники, кроме тех, что указаны в параграфе.



## **ГЛАВА 2** КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО БЕСПИЛОТНИКОВ

### **§4. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

С развитием электронной компонентной базы беспилотных летательных аппаратов и сфер их применения меняются и их характеристики наравне с внешним видом. Появляются новые виды БВС. Беспилотные воздушные суда различают не только по способу их применения в определённых сферах нашей жизни или по конструкции, но и по более устойчивым параметрам и характеристикам, например взлётной массе, дальности, высоте и продолжительности полёта, размерам самих аппаратов и т. д.

#### **Классификация БВС по лётным характеристикам**

Классификацию БВС по лётным характеристикам можно произвести на основании таблицы, которую разработала Международная ассоциация по беспилотным летательным системам. Ассоциацией была предложена универсальная классификация БВС, которая объединяет многие из названных критериев.

Приведённая в таблице 2.1 классификация на сегодняшний день распространяется как на уже существующие, так и на будущие модели БВС. В основном эта классификация сложилась к 2000 г., когда беспилотные аппараты набирали популярность, но с тех пор много раз пересматривалась. Её и сейчас нельзя считать устоявшейся. Кроме того, многие особые типы аппаратов с нестандартными комбинациями параметров трудно отнести к какому-либо классу. Для сравнения дана таблица 2.2, где видно, какая существует классификация БВС в России.

Российская классификация отличается от международной по ряду признаков: обобщены группы БВС, лёгкие беспилотные аппараты в России имеют значительно большую дальность и т. д. Понятно, что каждый беспилотник выполняет свои задачи, будь то микродрон для обучения пилотированию или же лёгкий квадрокоптер для доставки небольшого груза. Далее мы рассмотрим типы БВС, которые наиболее популярны в мире или внесли значительный вклад в развитие типов беспилотников.

Таблица 2.1

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ БВС

| Группа                  | Категория                                              | Взлётная масса, кг | Дальность полёта, км | Высота полёта, м | Продолжительность полёта, ч |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------------------|
| Малые                   | Nano БВС                                               | <0,025             | <1                   | 100              | <0,5                        |
|                         | Micro БВС                                              | <5                 | <10                  | 250              | 1                           |
|                         | Mini БВС                                               | 20–150             | <30                  | 150–300          | <2                          |
|                         | Лёгкие БВС для контроля                                | 25–150             | 10–30                | 3000             | 2–4                         |
|                         | Лёгкие БВС с малой дальностью                          | 50–250             | 30–70                | 3000             | 3–6                         |
|                         | Средние БВС                                            | 150–500            | 70–200               | 5000             | 6–10                        |
| Тактические             | Средние БВС с большой продолжительностью полёта        | 500–1500           | >500                 | 8000             | 10–18                       |
|                         | Маловысотные БВС                                       | 250–2500           | >250                 | 50–9000          | 0,5–1                       |
|                         | Маловысотные БВС с большой продолжительностью полёта   | 15–25              | >500                 | 3000             | >24                         |
|                         | Средневысотные БВС с большой продолжительностью полёта | 1000–500           | >500                 | 5000–8000        | 24–48                       |
|                         | Высотные БВС с большой продолжительностью полёта       | 2500–5000          | >2000                | 20 000           | 24–48                       |
|                         | Стратосферные БВС                                      | >2500              | >2000                | >20 000          | >48                         |
| Специального назначения | Экзостратосферные БВС                                  | —                  | —                    | >30 500          | —                           |

## РОССИЙСКАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ БВС

| Категория                                    | Взлётная масса,<br>кг | Дальность действия,<br>км |
|----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Микро- и мини-БВС ближнего действия          | 0–5                   | 25–40                     |
| Лёгкие БВС малого радиуса действия           | 5–50                  | 10–70                     |
| Лёгкие БВС среднего радиуса действия         | 50–100                | 70–150 (250)              |
| Средние БВС                                  | 100–300               | 150–1000                  |
| Среднетяжёлые БВС                            | 300–500               | 70–300                    |
| Тяжёлые БВС среднего радиуса действия        | <500                  | 70–300                    |
| Тяжёлые БВС большой продолжительности полёта | <1500                 | 1500                      |
| Беспилотные боевые самолёты                  | <500                  | 1500                      |

### Классификация БВС по конструкции

Как известно, на сегодняшний день существует большое количество типов БВС различной конструкции, предназначенных для разных целей. В этом параграфе мы рассмотрим самые известные из них, которые приобрели наибольшую популярность и доказали свою превосходность относительно других типов. Существуют следующие типы БВС, различающихся конструкцией и принципом работы, взлётом/посадкой и назначением:

- БВС самолётного типа;
- БВС мультироторного типа;
- БВС аэростатического типа;
- БВС-конвертопланы и гибридные схемы.



Рис. 4.1. БВС самолётного типа

#### БВС САМОЛЁТНОГО ТИПА

Такой тип аппаратов известен также как БВС с жёстким крылом. Аппараты этого типа, как правило, отличаются большой длительностью полёта, большой максимальной высотой полёта и высокой скоростью. Существует большое разнообразие подтипов БВС самолётного типа (рис. 4.1), различающихся по форме крыла и фюзеляжа. Практически все схемы компоновки самолёта и типы фюзеляжей, которые встречаются в пилотируемой авиации, применимы и в беспилотной. Чаще всего аппараты подобного типа используются для:

- создания ортофотопланов;
- трёхмерного моделирования участка местности;
- вычисления объёмов пород в карьерах;
- обследования состояния объектов инфраструктуры, дорожного полотна;
- инвентаризации лесов и посевов;
- оценки ущерба и планирования аварийно-спасательных работ; при ЧС, таких как наводнения, оползни и пожары.

В качестве двигателей аппаратов самолётного типа обычно используются тянущие или толкающие винты. Для аппаратов самолётного типа необходимы взлётно-посадочная полоса (ВПП) или же стартовые катапульты. Есть также самолётные БВС лёгкого класса, запускаемые «с руки». При посадке могут применяться ВПП, парашют или специальные ловители (тросы, сетки или растяжки). Взлёты и посадки традиционных БВС самолётного типа — процесс достаточно трудоёмкий и затратный, требующий наличия специальных вспомогательных средств (ВПП, устройств запуска и посадки), поэтому разработчики новой техники всё чаще обращаются к нетрадиционным схемам самолётных БВС, позволяющим создать безаэродромные беспилотные системы. Речь идёт прежде всего о самолётах вертикального взлёта и посадки (СВВП). На сегодняшний день существует много разновидностей аппаратов СВВП. Многие из них являются гибридами самолётов и вертолётов.

### БВС МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА

Одним из наиболее массовых БВС является мультикоптер. К этой группе относятся БВС, имеющие больше двух несущих винтов. Движение аппарата в таких системах происходит за счёт вращения несущих винтов попарно в разные стороны или наклона вектора тяги каждого винта в нужном направлении. Основное назначение мультикоптеров — фото- и видеосъёмка различных объектов, поэтому они, как правило, оснащаются управляемыми подвесами для камер. Мультикоптеры также используются в качестве устройств для оперативного мониторинга ситуации, проведения сельскохозяйственных работ (например, опрыскивание), для доставки грузов небольшого веса. Среди мультироторных систем наибольшую популярность обрели схемы с тремя, четырьмя, шестью и восемью моторами, у каждой из которых есть соответствующее название: трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер и октокоптер.

**Трикоптер** — самая экономная схема построения мультикоптеров. Обычно трикоптер (рис. 4.2) движется двумя винтами вперёд, а третий является хвостовым. Первые два винта имеют противоположные направления вращения и взаимно компенсируют реактивные закручивающие моменты, у хвостового же винта пары нет, поэтому для компенсации его реактивного момента ось вращения этого винта немного наклоняют в сторону, противоположную направлению закручивания. Это делают с помощью специального сервопривода и тяги, которые используются для стабилизации или управления положением аппарата по курсу. Из-за дополнительных механизмов поворота непарного винта и сложности настройки система не приобрела такой популярности, как схема с четырьмя моторами.



Рис. 4.2. Трикоптер



*Рис. 4.3.* Квадрокоптер

**Квадрокоптер** — самая распространённая схема построения мультикоптеров (рис. 4.3). Наличие четырёх жёстко зафиксированных роторов даёт возможность организовать довольно простую схему движения. Алгоритм управления частотами вращения винтов квадрокоптера несколько проще и понятнее, чем для трикоптера. Квадрокоптер используется чаще, чем другие схемы построения, из-за конструктивных преимуществ: при такой схеме проще разместить фюзеляж, который может иметь вытянутую форму, бортовая видео-

камера имеет более свободный обзор, простота настройки и т. д.

**Гексакоптеры** и **октокоптеры** (рис. 4.4 и 4.5), имеющие соответственно по шесть и восемь моторов, обладают гораздо большей грузоподъемностью по сравнению с квадрокоптерами. Они также способны сохранять устойчивый полёт при выходе из строя одного двигателя. Эти аппараты отличаются гораздо меньшим уровнем вибраций, что особенно важно для видеосъёмки.



*Рис. 4.4.* Гексакоптер



*Рис. 4.5.* Октокоптер

#### БВС АЭРОСТАТИЧЕСКОГО ТИПА

БВС аэростатического типа — это особый класс БВС, в которых подъёмная сила создаётся преимущественно за счёт архимедовой силы, действующей на баллон, заполненный лёгким газом (как правило, гелием). Этот класс представлен в основном беспилотными дирижаблями. Дирижабль (рис. 4.6) — летательный аппарат легче воздуха, представляющий собой комбинацию аэростата с двигателем (обычно это электрический двигатель или ДВС) и системы управления ориентацией, благодаря которой дирижабль может двигаться в любом направлении независимо от направления воздушных потоков.

Отличительное преимущество дирижабля — большая грузоподъемность и дальность беспосадочных полётов. Достижимы более высокая надёжность и безопасность, чем у самолётов и вертолётот. Меньший, чем у вертолётот, удельный расход топлива и, как следствие, меньшая стоимость полёта в расчёте на единицу массы перевозимого груза. Размеры его внутренних помещений могут быть очень велики,



Рис. 4.6. Дирижабль



Рис. 4.7. Беспилотный автожир

а длительность нахождения в воздухе может измеряться неделями. Дирижаблю не требуется взлётно-посадочной полосы, более того, он может вообще не приземляться, а просто «зависнуть» над землёй. Наиболее типичное применение современных беспилотных дирижаблей — это реклама и видеонаблюдение.

## БВС-конвертопланы и гибридные схемы

Кроме рассмотренных классов аппаратов самолётного и мультироторного типа, существуют их гибридные разновидности, такие как автожиры и конвертопланы, которые имеют некоторые признаки как вертолётов, так и самолётов.

Автожир (другие названия: гироконтер, гироплан, ротаплан) — система, подобная самолёту, у которого в качестве крыла (или в дополнение к нему) установлен свободно вращающийся винт (рис. 4.7). Большинство автожиров не могут взлетать вертикально, но им требуется гораздо более короткий разбег для взлёта, чем самолётам. Почти все автожиры способны к посадке без пробега или с пробегом всего несколько метров. По манёвренности они находятся между самолётами и вертолётными, несколько уступая вертолётным и абсолютно превосходя самолёты. Автожиры превосходят самолёты и вертолётные по безопасности полёта. Самолёту опасна потеря скорости, поскольку он сваливается при этом в штопор. Автожир при потере скорости начинает снижаться. При отказе мотора автожир не падает, а постепенно снижается (планирует). Скорость автожира сравнима со скоростью лёгкого вертолётного и несколько уступает лёгкому самолёту. В настоящее время автожиры производятся и в беспилотном исполнении фирмами разных стран. Назначение их самое разнообразное.

Конвертоплан — летательный аппарат с поворотными винтами, которые на взлёте и при посадке работают как подъёмные, а в горизонтальном полёте — как тянущие. Таким образом, этот аппарат ведёт себя как вертолёт при взлёте и посадке, но как самолёт в горизонтальном полёте. Большие винты конвертоплана помогают ему при вертикальном взлёте, однако в горизонтальном полёте они становятся менее эффективными по сравнению с винтами меньшего диаметра традиционного самолёта. Среди конвертопланов можно выделить три принципиально различающихся подкласса: аппараты с поворотными винтами (Tiltrotor), с поворотным крылом (Tiltwing) и со свободным крылом (Freewing). В конвертопланах с поворотными винтами обычно поворотными являются не сами винты, а гондолы с винтами и двигателями. Крылья при этом остаются неподвижными (рис. 4.8). В конвертопланах с поворотным крылом поворачивается всё крыло вместе с установленными на нём двигателями и винтами. Достоинством такой схемы является то, что при вер-



Рис. 4.8. Конвертоплан с поворотными винтами



Рис. 4.9. Конвертоплан с поворотным крылом

тикальном взлёте крылья не закрывают воздушный поток от винтов (рис. 4.9). В конвертопланах со свободным крылом в зависимости от фазы полёта отклоняются винты, создавая вертикальную или горизонтальную тягу, а крылья свободно вращаются вокруг оси, перпендикулярной фюзеляжу.



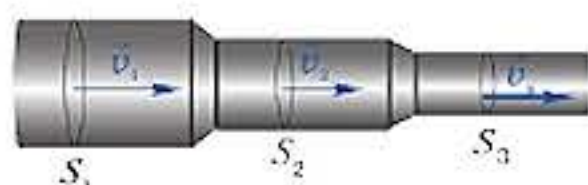
#### Вопросы и задания

1. В чём состоят отличия международной классификации БВС от российской?
2. За счёт чего летает дирижабль?
3. Если у трикоптера и гексакоптера в полёте сломался один двигатель, смогут ли они продолжить полёт? Обоснуйте свой ответ.
4. В чём особенность конвертоплана?
5. Найдите в источниках информацию и попытайтесь объяснить зависимость количества двигателей на БВС от их названий: трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер, октокоптер.

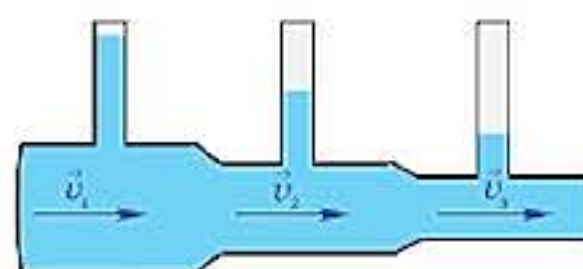
## §5. ПОДЪЁМНАЯ СИЛА. ВОЗДУШНЫЙ ВИНТ И КРЫЛО

Движение объектов в атмосфере изучает специализированная область знаний — аэродинамика. Аэродинамика — это научное направление, изучающее движение воздуха и взаимодействие между потоком воздуха и объектами, которые он окружает.

Основная задача аэродинамики заключается в определении сил и моментов, воздействующих на летательный аппарат и его составные части в различных услови-



Чем меньше сечение,  
тем больше скорость



Чем больше скорость,  
тем меньше давление

Рис. 5.1. Закон Бернулли

ях полёта. Одним из фундаментальных принципов аэродинамики является закон Д. Бернулли, который изначально был сформулирован для жидкостей, но в некоторых случаях применим и к газам. Согласно закону Бернулли, в участках потока жидкости или газа, где скорость возрастает, давление снижается, и наоборот (рис. 5.1).

## Аэродинамика крыла

Характеристики аэродинамики крыла в авиации определяются его профилем — формой в поперечном сечении, специально подобранной для создания аэродинамической подъёмной силы. Во время полёта крыло подвергается воздействию различных сил (рис. 5.2). Можно выделить четыре основные силы, которые представлены на рисунке 5.3.



Рис. 5.2. Обтекание крыла потоками воздуха



Рис. 5.3. Силы, действующие на летательный аппарат

В прямом и горизонтальном полёте эти силы уравнивают друг друга. Любое изменение какой-либо из этих сил ведёт к изменению поведения аппарата во время полёта и приводит к изменению направления движения воздушного судна. Например, изменение подъёмной силы приводит к изменению угла наклона крыла. Уменьшение подъёмной силы и увеличение силы тяжести приводят к потере высоты и спуску воздушного судна. При нарушении равновесия сил крыло начинает изменять траекторию в направлении действующей силы.

## Подъёмная сила

Подъёмная сила возникает благодаря тому самому закону Бернулли, который объясняет возникновение аэродинамических сил, в частности подъёмной силы крыла. Исследования природы этого эффекта проводились в лабораториях и доказали, что воздушные частицы обтекают тело при движении воздушного потока к нему. Например, помещение крыла в аэродинамическую трубу с окрашенным потоком воздуха позволяет наблюдать обтекание крыла воздухом, образуя так называемый

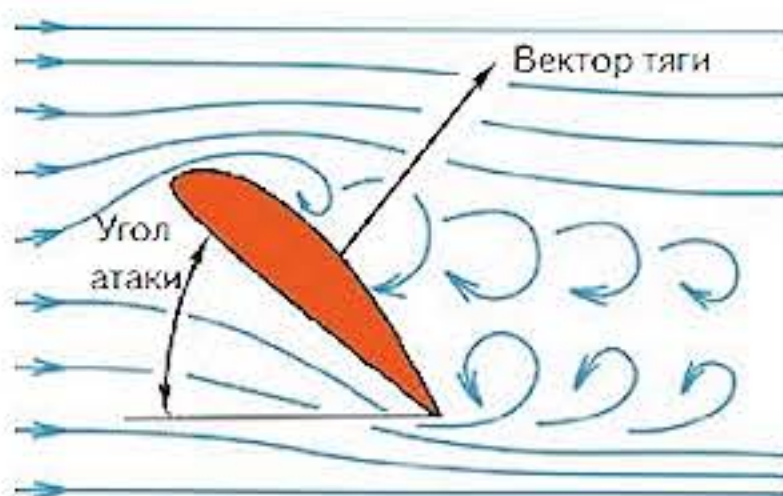


Рис. 5.4. Спектр обтекания

перечного сечения крыла. На рисунке 5.5 показано крыло самолёта сложной формы с утолщением в передней части. В конструкции присутствуют пустоты для облегчения веса и рёбра жёсткости для сохранения прочности конструкции.

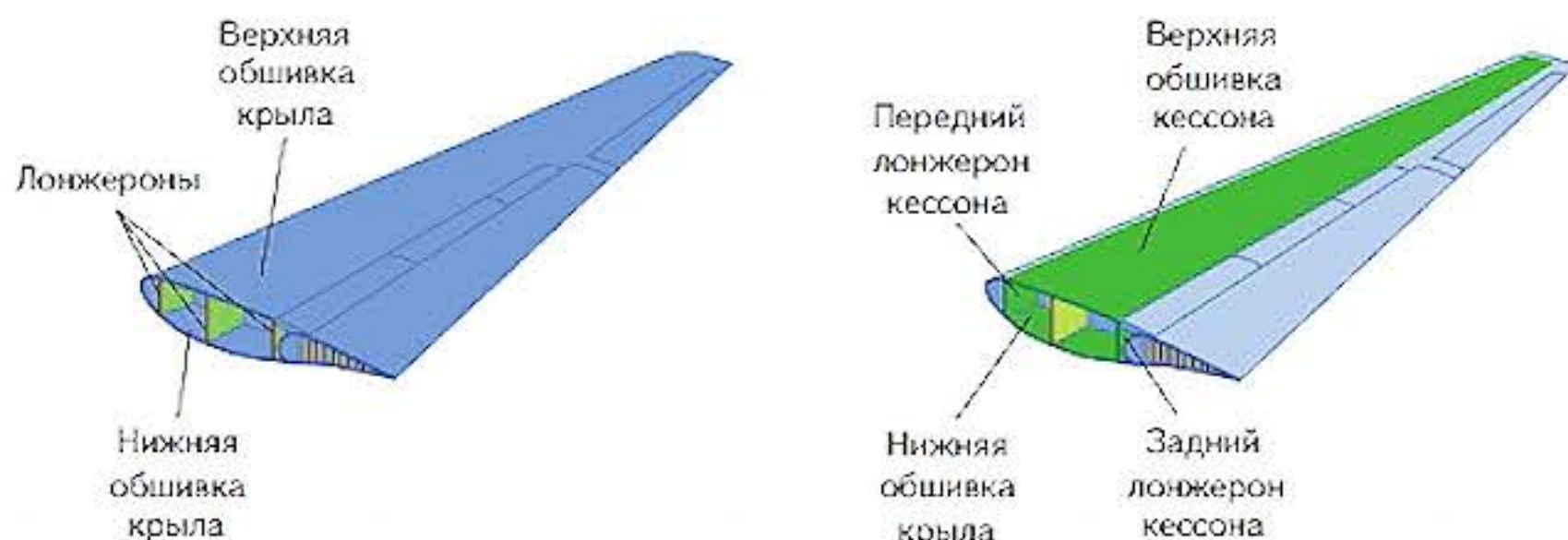


Рис. 5.5. Сечение самолётного крыла

## Аэродинамика воздушного винта

Воздушный винт — это механизм с лопастями, который преобразует энергию двигателя в тягу, необходимую для передвижения воздушного судна. Это устройство используется на различных типах воздушных аппаратов, включая самолёты, автожиры, винтокрылы, дирижабли, а также на аппаратах с воздушной подушкой, аэросанях и др.

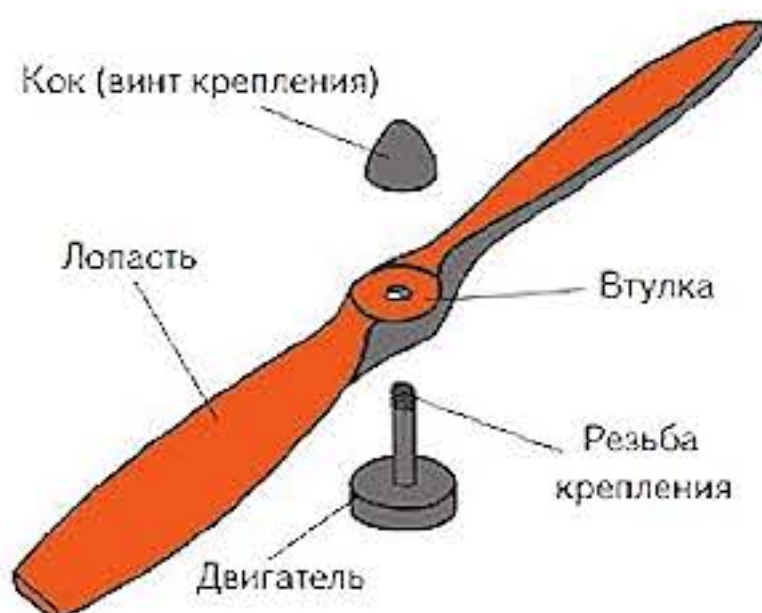


Рис. 5.6. Элементы воздушного винта

спектр обтекания (рис. 5.4). Установка пластинки под острым углом к потоку воздуха также показывает изменение давления снизу и сверху, что приводит к созданию аэродинамической силы, направленной в сторону области с меньшим давлением — назад и вверх. Величина этой силы зависит от угла атаки, под которым пластинка находится относительно потока воздуха.

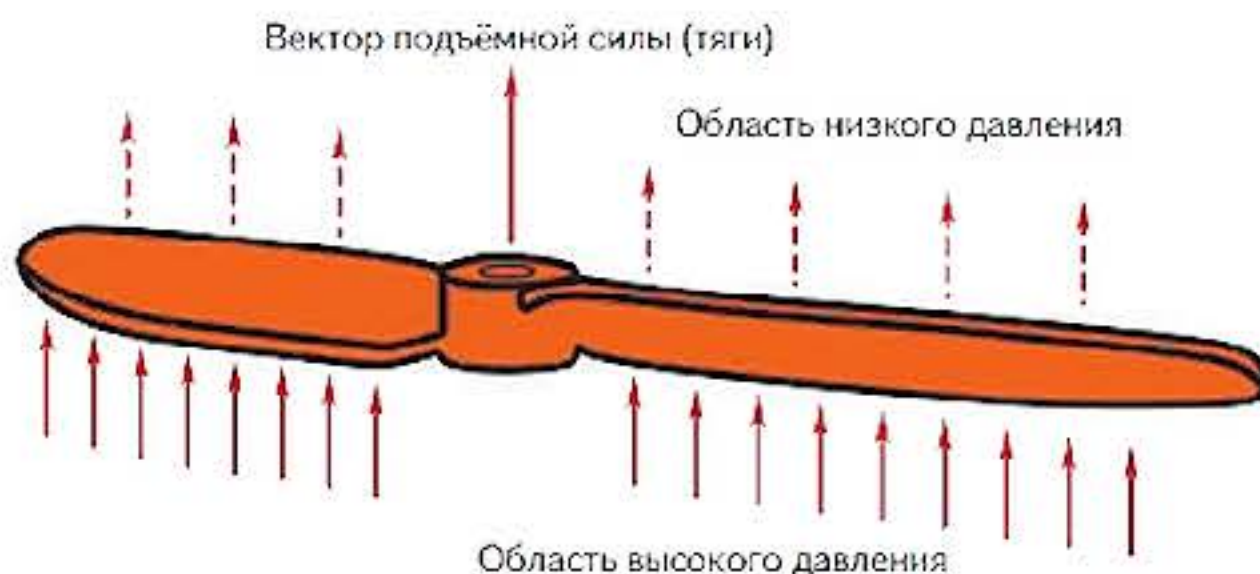
Подъёмная сила, создаваемая крылом, создаётся не только благодаря углу атаки, но и из-за несимметричной формы поперечного сечения крыла.

На рисунке 5.5 показано крыло самолёта сложной формы с утолщением в передней части. В конструкции присутствуют пустоты для облегчения веса и рёбра жёсткости для сохранения прочности конструкции.

Воздушный винт состоит из лопастей и втулки, предназначенной для крепления лопастей и передачи крутящего момента от двигателя. Основной рабочей частью является лопасть, которая имеет различные профили и изменяемый угол установки в поперечном сечении. Во время полёта воздушное судно затягивает воздух вращением винта с некоторым углом атаки, создавая подъёмную силу и сопротивление, обуславливающие равнодействующую аэродинамическую силу (рис. 5.6).

Исходя из способа монтажа лопастей, воздушные винты можно классифицировать по типу с постоянным (фиксированным) и изменяемым шагом. Среди разновидностей конструкции воздушных винтов можно выделить одиночные, двухрядные винты, винты в кольце и воздушные винтовентиляторы. Также существует различие между тяговыми и толкающими винтами, которые располагаются либо спереди перед двигателем, либо сзади в хвостовой части воздушного судна, что оказывает влияние на уровень шума и эффективность.

Лопасть воздушного винта имеет аэродинамический профиль, и при их вращении в воздушной среде наблюдается аналогичное явление, как и при движении крыла. Переход воздуха происходит как по внешнему, так и внутреннему краю лопасти (рис. 5.7). Поскольку аэродинамическая подъёмная сила возникает из-за различия давлений на верхней и нижней поверхностях лопасти, любое выравнивание этих давлений приводит к потере аэродинамической силы.



**Рис. 5.7.** Области пониженного и повышенного давления, образующиеся при вращении пропеллера

Длина окружности, по которой движется наружный край лопасти винта, больше длины окружности, по которой движется внутренний край. Из этого следует, что скорость наружного края лопасти относительно воздуха будет выше, чем скорость внутреннего края. Иными словами, скорость различных частей лопасти относительно воздуха зависит от их расположения относительно оси вращения. Чем дальше от оси вращения находится часть лопасти, тем выше её скорость. На оси вращения скорость равна нулю, а на конце лопасти она максимальна.

## Классификация воздушных винтов

Пропеллеры изготавливаются из материалов высокой прочности, так как скорость вращения воздушного винта может достигать 1200 об/мин.

Основные параметры воздушного винта следующие.

1. Диаметр — длина окружности, описываемой лопастями.
2. Шаг — расстояние, которое пропеллер преодолевает за один оборот по направлению движения в идеальных условиях. При прочих равных, чем больше угол атаки лопасти, тем дальше воздушный винт пройдёт за каждый свой оборот.

Пропеллеры с высоким шагом обеспечивают большую тягу и максимальную конечную скорость, но имеют небольшой крутящий момент на низких скоростях. Это можно сравнить с передачами в автомобиле: на пятой передаче вы не сможете быстро тронуться, но уже на этой скорости можете развить ещё большую скорость.

Пропеллер с большим шагом будет реагировать медленно на изменение уровня газа, потреблять больше энергии и достигать максимальной эффективности при высоких оборотах.

С другой стороны, пропеллеры с низким шагом обеспечивают большой крутящий момент на низких оборотах, но имеют меньшую тягу и максимальную конечную скорость. Это аналогично первой и второй передачам в автомобиле. Двигатель с таким пропеллером будет реагировать быстро на изменение уровня газа. Применение пропеллеров с низким шагом особенно актуально для гоночных дронов.

3. Угол атаки — угол наклона лопасти относительно горизонтальной плоскости.

4. Тяга — подъёмная сила, создаваемая винтом. Эта сила компенсируется другими реактивными силами, такими как аэродинамическое сопротивление и гравитация.

5. Пропеллерная константа (Prop Const) — константа потерь, вызванных аэродинамическим сопротивлением при вращении пропеллера. Использование более тонких материалов для изготовления пропеллера снижает данную константу и мощность, необходимую для вращения пропеллера двигателем.

6. Количество лопастей — этот показатель влияет на подъёмную силу и стабильность полёта. Обычно большее количество лопастей улучшает эти характеристики.

Тягу, создаваемую воздушными винтами, можно изменить путём повышения числа оборотов двигателя или шага пропеллера.

## Различные типы лопастей для воздушных винтов

- Стандартные (N) — имеют заострённые концы лопастей, что снижает тягу, но экономит энергию аккумулятора (рис. 5.8, а).
- Лопасти с бычьим носом (BN) — с закруглёнными концами, обладают большей тягой и площадью по сравнению со стандартными. Их большая масса обеспечивает стабильное поведение и улучшает реакцию дрона во время манёвров. Однако такие лопасти значительно увеличивают потребление энергии аккумулятора (рис. 5.8, б).
- Гибридные лопасти с бычьим носом (HBN) — представляют собой смешанный вариант с преимуществами и недостатками обоих предыдущих типов (рис. 5.8, в).

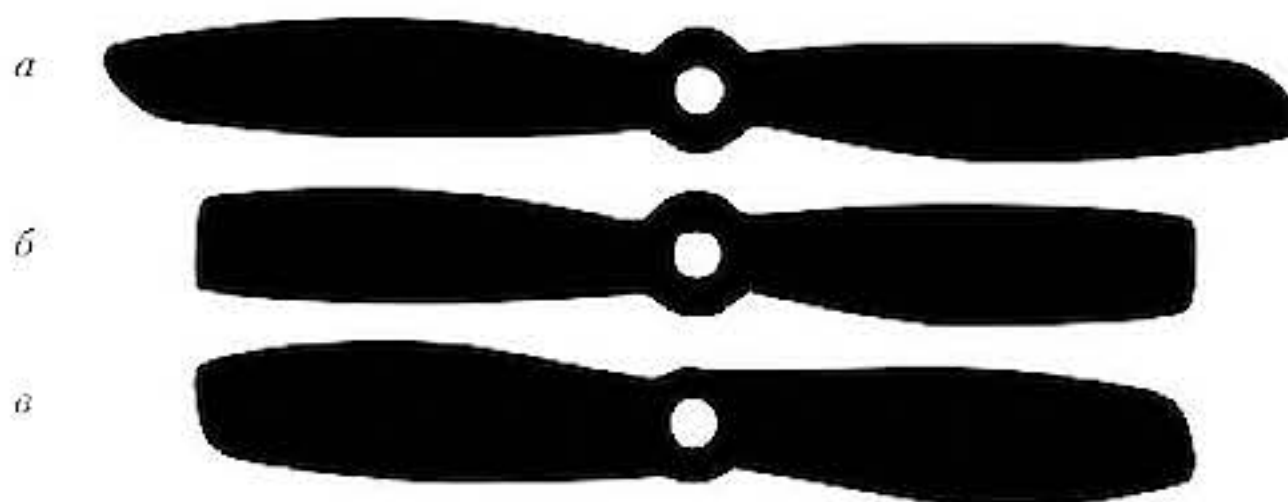


Рис. 5.8. Формы лопастей воздушных винтов



*Рис. 5.9.* Торондальный пропеллер



*Рис. 5.10.* Пропеллер Zipline

- Торондальные лопасти — имеют особую изогнутую форму и соединяются между собой (рис. 5.9).
- Пропеллеры Zipline — специальная разработка одноимённой американской компании. Инженеры утверждают, что они выдают значительно меньший уровень шума по сравнению с аналогами (рис. 5.10).

## Направление вращения и схема установки винтов

Для электрических двигателей имеется два типа вращения: по часовой стрелке (CW) (рис. 5.11, *а*) и против часовой стрелки (CCW) (рис. 5.11, *б*). Поскольку каждый пропеллер создаёт реакционную силу, стремящуюся повернуть к себе то, к чему он присоединён, необходимо чередовать направление вращения. Альтернативный вариант состоит в том, чтобы устанавливать их симметрично на одном валу, в таком случае реакционная сила одного пропеллера будет компенсироваться другим.



*Рис. 5.11.* Пропеллеры левого (*а*) и правого (*б*) вращения

## Материалы для изготовления пропеллеров

Дерево — используется в экспериментальных моделях и при ручном производстве.

Пластик — наиболее распространённый материал. Пропеллеры из пластика отличаются доступной ценой и разнообразием выбора. Они обладают различной гибкостью и мягкостью, производятся в основном методом литья. При изготовлении с использованием 3D-печати возникают трудности с достижением гладкой поверхности, что может увеличить потери энергии из-за трения с воздухом.

Углеродное волокно — материал с высокой жёсткостью, при этом лёгкий. Недостатком является высокая стоимость.

Композит — содержит пластик и углеродное волокно. Этот материал соединяет преимущества доступного пластика (недорогой) с жёсткостью и износостойкостью углеродных пропеллеров, при этом остаётся относительно доступным по цене.

Нейлон — очень прочный, но эластичный материал. Он не становится хрупким на морозе и имеет высокую для пластика температуру размягчения. Пропеллеры, изготовленные из нейлона, могут служить в разы дольше аналогов.

## Маркировка и критерии подбора

Информация о маркировке пропеллеров представлена в виде двух форматов: сокращённого числового — например, 5545 и расширенного текстового — DP55×4.5×3V. Сокращённая маркировка 5545 указывает, что диаметр этого пропеллера пять с половиной дюймов (первая пара цифр) и имеет значение угла атаки 45 (вторая пара цифр). В случае общей маркировки DP55×4.5×3V: первая цифра указывает на размер — в данном случае это 5.5 дюйма. Значение 4.5 означает шаг или угол наклона лопастей, что представляет собой расстояние, которое пропеллер пройдёт за один полный оборот вокруг своей оси. Третье число (3) обозначает количество лопастей на пропеллере.

При выборе пропеллера можно использовать следующие критерии.

1. Для какого стиля полётов?

Для разных полётных задач, таких как гонки и аэробъёмка, подходят разные типы пропеллеров. Для дронов, предназначенных для съёмки, рекомендуется использовать большие и широкие пропеллеры, которым не требуются высокая скорость вращения и резкий разгон, в то время как для гонок необходимы небольшие и тонкие пропеллеры, обеспечивающие быстрое ускорение.

2. Для какой рамы?

Обычно пропеллеры маркируются с указанием совместимости с определённой рамой, например для рамы «250». Это означает, что они подходят для рамы размером 250 мм. Хотя некоторые производители допускают небольшие отклонения в размерах пропеллеров, рамы технически разрабатываются так, чтобы край лопасти находился недалеко от фюзеляжа.

3. Для каких двигателей?

Важно учитывать тип используемых двигателей при выборе пропеллеров. Для слабых двигателей не подходят слишком крупные и широкие пропеллеры, так как они не смогут обеспечить быстрый разгон и управлять вращением, что может привести к перегреву и выходу из строя. Производители двигателей проводят много тестов и составляют таблицы, указывающие сочетание пропеллеров с определёнными двигателями на основе типа используемых аккумуляторов и контроллеров оборотов.



### Вопросы и задания

1. Каким образом образуется подъёмная сила винта?
2. На какие характеристики влияет количество лопастей у воздушного винта?
3. В спортивных конструкциях летательных аппаратов высокие требования к балансу воздушных винтов, для проверки которых используют специальный стенд. Подумайте, как такой стенд будет выглядеть. Будет ли разница при калибровке двух- и трёхлопастного пропеллера?
4. Перечислите силы, действующие на воздушный винт в момент вращения. На какие части винта нагрузка при вращении будет выше?

## §6. ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ

В мире беспилотных летательных аппаратов квадрокоптеры занимают особое место благодаря своей манёвренности и универсальности. Однако их функциональность и характеристики в значительной мере зависят от используемой конструкции. Различные типы конструкций квадрокоптеров имеют свои преимущества и недостатки, которые следует учитывать при проектировании и использовании этих устройств. Давайте рассмотрим основные типы конструкций квадрокоптеров и их характеристики более подробно.

Конструкция квадрокоптера — рама (рис. 6.1) состоит из двух частей — фюзеляжа и лучей.

- **Фюзеляж** нужен для размещения электроники, например полётного контроллера или камеры. Обычно центральная часть состоит из двух пластин, нижней и верхней, соединённых стойками.
- **Лучи** нужны для установки моторов и регуляторов. Эти детали должны быть достаточно прочными, чтобы не только выдержать вес самой конструкции квадрокоптера, но и противостоять ударам и падениям.



Рис. 6.1. Рама квадрокоптера



### ПРОФЕССИЯ

Перед тем как погрузиться в мир проектирования и производства дронов, давайте взглянем на роль инженеров, которые стоят у истоков создания этих инновационных устройств.

Первая важная инженерная профессия в этой области — инженер-конструктор узлов БВС. Этот специалист занимается разработкой различных узлов и деталей, включая фрезеровку, литьё, композиты и гибку металла. Он также отвечает за создание многофункциональных полезных нагрузок, используемых в беспилотных самолётах и мультироторных устройствах. Инженер-конструктор проводит прочностной расчёт и частотный/тепловой анализ конструкций в программах автоматизированного проектирования, вносит изменения в существующие конструкции и разрабатывает различные элементы, такие как пусковые установки, транспортные контейнеры и ложементы.

Вторая не менее значимая роль принадлежит инженеру-технологу. Этот специалист оценивает возможности изготовления деталей и сборочных единиц на имеющемся оборудовании, анализирует технологичность изготавливаемой продукции и разрабатывает действия для её усовершенствования. Инженер-технолог также проводит технологический контроль конструкторской документации, следит за наличием необходимых проектных данных при выполнении разовых и опытных работ и составляет сопроводительную документацию на изделия. В его обязанности также входят разработка технологий по операционного изготовления изделий на основе конструкторской документации, выдача технических заданий на разработку технологической оснастки, разработка технологических инструкций, а также подбор, приобретение и внедрение нового технологического оборудования, специальной оснастки, инструмента и материалов. Он также определяет причины брака и разрабатывает мероприятия по их предотвращению.

Далее рассмотрим ряд аспектов конструкции, оказывающих непосредственное влияние на характеристики квадрокоптера.

Первым из них является форма рамы, задающаяся креплением и расположением лучей. Распространённые типы:

- тип «Х» (или «Крест») — характеризуется квадратным фюзеляжем, где электроника сосредоточена в центре, а лучи располагаются под углом квадрата. Это обеспечивает равномерное распределение веса и высокую манёвренность, но усложняет сборку из-за ограниченного пространства в центре;
- тип «Н» — сравнительно более прост в сборке и ремонте компонентов благодаря длинному центральному разделу. Однако неравномерное распределение момента инерции может оказывать влияние на энергоэффективность в различных осях.

Среди любителей FPV-гонок нет общего мнения, какую раму лучше использовать. Для плавного фристайла подходит больше рама «Н», но для быстрых и манёвренных поворотов предпочтительнее использовать раму «Х». В попытках объединить преимущества обеих рам были созданы гибриды:

- гибридный «Х» и растянутый «Х» — попытки комбинировать преимущества обеих конструкций, создавая рамы с различными характеристиками веса и длины. Ещё одна особенность этой рамы — смещение передних пропеллеров от задних. Это позволяет исключить турбулентные завихрения, что даёт квадрокоптеру возможность летать более стабильно;
- тип «Квадрат» — представьте раму «Х», где между лучами добавили соединяющие их рёбра. Вот так и выглядит рама «Квадрат». За счёт жёсткости соединений получается достаточно крепкая рама, которую сломать непросто. Но несмотря на это преимущество, данная рама обладает повышенным воздушным сопротивлением и большим весом. Подходит для начинающих пилотов, но не подходит для манёвренных полётов;
- «Unibody», или цельные рамы, особенны тем, что обладают несъёмными лучами, нижняя пластина фюзеляжа и лучи соединены в одну деталь. Делается так для того, чтобы упростить сборку и устранить вес деталей крепления. Однако минус подобной рамы в том, что если во время полёта сломается луч, то менять придётся всю деталь, что затребует много времени.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

В случае повышенных динамических нагрузок и/или увеличения массы перевозимого груза слои рамы могут располагать в нескольких плоскостях для создания рёбер жёсткости, не забывая, впрочем, и об отверстиях для снижения сопротивления воздушному потоку, как в примере на рисунке 6.2.



Рис. 6.2. Пример многоплоскостной рамы

Вторым, но не менее важным аспектом является размер всей конструкции, который рассчитывается как расстояние между диагонально расположенными моторами. При разработке рамы нужно учитывать, что её размеры будут влиять на:

- момент инерции;
- общий вес;
- максимальный размер винтов;
- сопротивление воздуху.

Чем дальше моторы от центра и чем длиннее лучи, тем больший момент инерции будет у конструкции. Говоря проще, чем меньше будет рама, тем более манёвренным будет сам квадрокоптер, чем больше будут размеры рамы, тем больше будут её вес и сопротивление воздуху.

Необходимо отметить, что квадрокоптеры, как и многие другие БВС вертолётно-ного типа, имеют свои корни в развитии вертолётостроения XX в. Одним из инженеров, внесших значительный вклад в развитие авиационной техники и технологий, является Михаил Леонтьевич Миль.



## ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Михаил Леонтьевич Миль — выдающийся советский и российский инженер и деятель в области авиации (рис. 6.3). Он стал пионером в области вертолётостроения.

В 1947 г. он основал конструкторское бюро, которое впоследствии стало известно как Московское вертолётное опытно-конструкторское бюро имени М. Л. Мила. Под его руководством было создано множество уникальных и передовых вертолётных, которые стали символами отечественного авиапрома. Среди наиболее известных разработок Михаила Мила можно выделить легендарные вертолёты серии «Ми». Например, вертолёт Ми-8 (рис. 6.4), выпущенный в 1961 г., стал одним из самых массовых и универсальных в мире. Его надёжность, манёвренность и возможность выполнять широкий спектр задач сделали его популярным как в гражданской, так и в военной сфере. Другой знаменитый проект — транспортный вертолёт Ми-10 (рис. 6.5), который получил прозвище «Летающий кран» благодаря своим впечатляющим грузоподъемным характеристикам (12–15 тонн груза). Этот вертолёт, предназначенный для перевозки грузов и техники, сыграл значительную роль в различных гражданских и коммерческих проектах, устанавливая новые стандарты в области воздушных перевозок. Михаил Миль не только разработал новейшие модели вертолётных, но и внёс значительный вклад в теорию и практику авиастроения. Его работы и идеи в области аэродинамики и конструкции вертолётных стали основой для многих последующих разработок в этой области. Заслуги Михаила Мила перед авиацией были высоко оценены: он был удостоен множества наград и почётных званий, включая звание Героя Социалистического Труда. Его имя навсегда останется в истории авиации как имя одного из великих инженеров, чей вклад в развитие авиационной отрасли оказал существенное влияние на дальнейшую её судьбу.



Рис. 6.3. Михаил Леонтьевич Миль



Рис. 6.4. Вертолёт Ми-8



Рис. 6.5. Модель вертолётного Ми-10



Рис. 6.6. Пример карбоновой рамы

Фактором, влияющим на вес и, следовательно, манёвренность квадрокоптера, является материал, из которого изготавливают рамы.

Рамы квадрокоптеров изготавливаются из различных материалов: пластика, дерева, текстолита, стекловолокна, алюминия и др. Однако наибольшей популярностью в настоящее время пользуется карбоновый материал, как это представлено на рисунке 6.6. Однако почему именно он так широко применяется?

- Во-первых, карбон является одним из самых лёгких материалов, что крайне важно при создании квадрокоптера. Меньший вес обеспечивает увеличение времени полёта и снижает ударные нагрузки при падении.
- Во-вторых, карбон известен своей прочностью и долговечностью.
- В-третьих, рама, изготовленная из карбона, обладает высокой жёсткостью, что существенно влияет на стабильность полёта и характеристики манёвренности квадрокоптера.

Однако, несмотря на все преимущества карбоновых рам, у них есть два недостатка:

- карбон проводит электричество, что может привести к короткому замыканию, если оголённые провода контактируют с рамой;
- карбон блокирует радиосигналы, поэтому антенны необходимо выносить наружу для надёжного соединения.



#### Вопросы и задания

1. Какие две основные части составляют конструкцию квадрокоптера?
2. Перечислите типы конструкций рам квадрокоптеров.
3. Какая конструкция рамы предпочтительна для манёвренных поворотов?
4. Назовите материал, который чаще всего используется для изготовления рам квадрокоптеров, и поясните почему.
5. Какими преимуществами обладают гибридные рамы квадрокоптеров?

## §7. РАМА И ЗАЩИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Рама беспилотного аппарата — это основа конструкции. Инженеры, разрабатывающие БВС, стремятся к оптимальному сочетанию прочности, веса, устойчивости к вибрациям, перепадам температуры и, наконец, внешней эстетики рамы и корпуса.

Конструкция рамы существенно влияет на всю компоновку БВС: переносимый вес, потенциальная скорость и манёвренность, расположение датчиков, камер и полезной нагрузки.

### Форма и конструкция рамы квадрокоптера

Конструкция рамы квадрокоптера (рис. 7.1), представляющего собой наиболее распространённый в настоящее время тип мультикоптера, состоит из двух ключевых элементов: корпуса и лучей. Внутри корпуса размещаются электронные компонен-

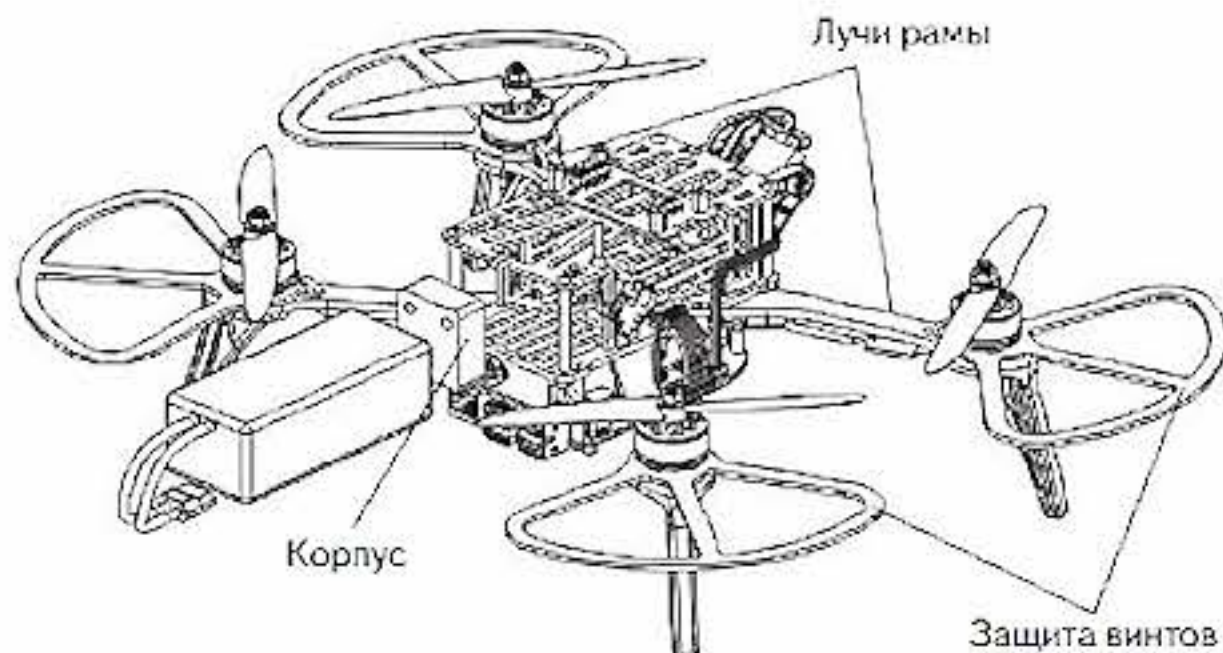


Рис. 7.1. Элементы рамы коптера

тыс: полётный контроллер, плата распределения питания и аккумулятор. Антенны для радиоуправления могут быть установлены как на лучах, так и на корпусе.

Корпус заводских моделей обычно изготавливается путём литья пластика. В моделях, предназначенных для самостоятельной сборки, корпус обычно состоит из двух пластин — верхней и нижней, соединённых стойками с помощью винтов.

Геометрия каркаса и расположение лучей играют ключевую роль в определении внешнего вида и функциональности мультикоптера. В зависимости от потребностей пилотов каркасы могут принимать разнообразные формы. Лучи необходимы для установки моторов и, в случае сборочных моделей, для размещения регуляторов оборотов. В заводских моделях регуляторы оборотов часто интегрированы на одной плате внутри корпуса. Лучи должны обладать достаточной прочностью и жёсткостью для поддержания веса квадрокоптера, снижения вибраций во время полёта, а также устойчивости к ударам и падениям.

Существует несколько типов конструкции рам, они изображены на рисунке 7.2.

1. Рама с конфигурацией «X» или «True-X» имеет корпус в виде квадрата с электроникой, сконцентрированной в центре, а лучи располагаются под прямым углом к сторонам квадрата. Её особенностью является равная длина и ширина, обеспечивающая равномерное распределение веса и повышающая манёвренность. Однако из-за ограниченного пространства в центре сборка может быть затруднительной, так как компоненты необходимо укладывать друг на друга.

2. Удлиненная рама «X» представляет собой раму «X» с увеличенной базой, предоставляющей дополнительное место для компонентов. Расположение передних и задних моторов на большем расстоянии друг от друга позволяет снизить возможные турбулентные вихри, обеспечивая стабильный полёт.

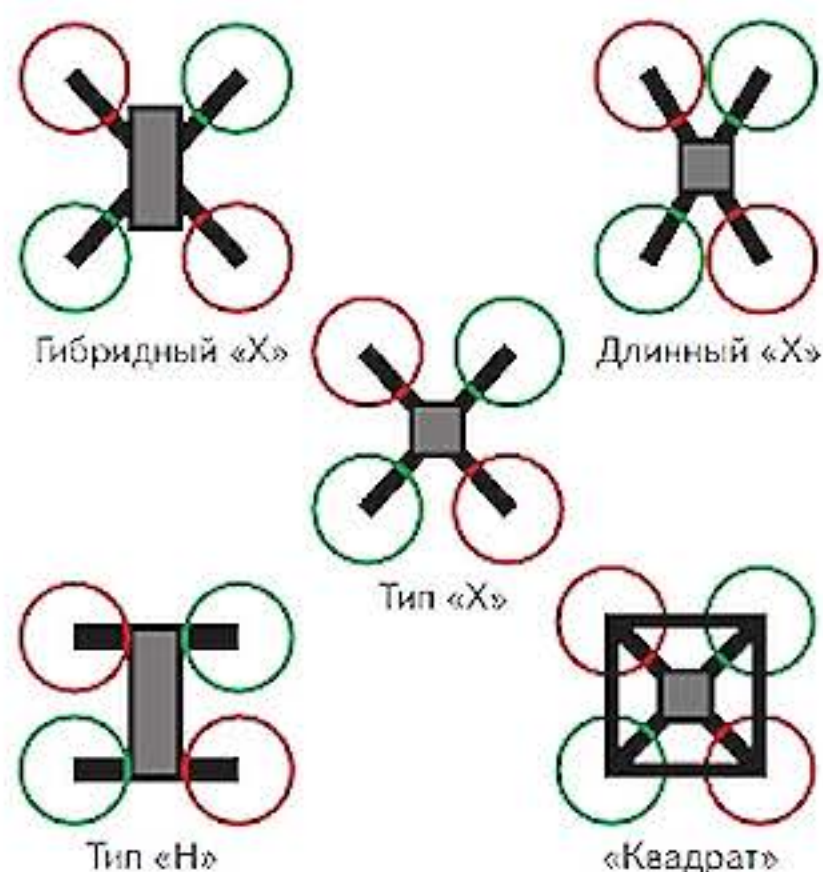


Рис. 7.2. Основные типы рам квадрокоптеров

3. Гибридная рама типа «Х» сочетает в себе фюзеляж от рамы типа «Н» и расположение лучей, характерное для рамы типа «Х». Это сочетание сохраняет равномерное распределение веса, свойственное для рамы «Н», и при этом улучшает передачу вибраций от моторов к контроллеру полёта.

4. Рама «Н» имеет более крупную центральную часть по сравнению с рамой «Х», что упрощает сборку и ремонт. Лучи рамы крепятся спереди и сзади к корпусу, образуя форму, напоминающую букву «Н». В такой раме камера и аккумулятор обычно располагаются на верхней пластине, что может привести к неравномерному распределению момента инерции и усложнить изменение угла наклона.

5. Рама типа «Квадрат» похожа на раму «Х», но с добавлением соединительных рёбер между лучами, делающих её более прочной. Это придаёт большую жёсткость, но может увеличить аэродинамическое сопротивление и вес. Такая рама подходит для обучения начинающих, но может быть не самым лучшим выбором для выполнения сложных манёвров.

Цельная рама типа «Pusher» (рис. 7.3) предназначена для небольших гоночных моделей. Она лёгкая, прочная и удобна в сборке, однако при повреждениях практически не подлежит ремонту.

Цельные рамы, также известные как «Unibody» (рис. 7.4), представляют собой конструкцию, где лучи и платформа рамы соединены в одно целое. Этот подход используется для облегчения сборки, уменьшения веса и минимизации количества крепёжных элементов. Однако недостатком таких рам является сложность в ремонте: если один из лучей повреждён, придётся заменить всю раму и разобрать контроллер полностью.



Рис. 7.3. Цельная рама «Pusher»



Рис. 7.4. Цельная углепластиковая рама «Unibody»

Вибрации являются основным врагом для любого летающего устройства. Поэтому лучи рам стандартного производства часто имеют не плоскую форму: это могут быть карбоновые трубки или литой пластик с различными профилями, но не плоские пластины. Во внутренние части лучей, изготовленных методом литья, могут быть установлены дополнительные рёбра жёсткости.

При выборе или проектировании квадрокоптера важно помнить, что центр тяжести устройства должен находиться на пересечении его диагоналей — прямых линий, соединяющих центры моторов углов рамы крест-накрест.

## Классификация по размеру

Существует популярная классификация рам по диагонали, которая широко используется среди любителей и гонщиков. Например, рама «250» означает, что диагональ кооптера составляет 250 мм, это расстояние между центрами моторов и без учёта раз-

мера пропеллеров. Квадрокоптеры с такой рамой обычно применяются в гоночных или хобби-классах. Рама «450» представляет собой более крупное устройство, способное переносить значительные нагрузки, такие как камеры для аэрофотосъемки или другие полезные дополнения. Правильное определение размеров можно посмотреть на рисунке 7.5. Существует также классификация по диаметру пропеллеров в дюймах, где для обозначения используется символ «».

При разработке рамы необходимо учитывать, что её размеры влияют на несколько аспектов, таких как момент инерции, общий вес устройства, максимальные размеры пропеллеров и аэродинамическое сопротивление. Чем дальше от центра расположены моторы, тем длиннее рама и больше момент инерции. Более компактная рама делает квадрокоптер более маневренным, а увеличение размеров рамы приводит к увеличению веса, аэродинамического сопротивления и к более стабильному полёту.

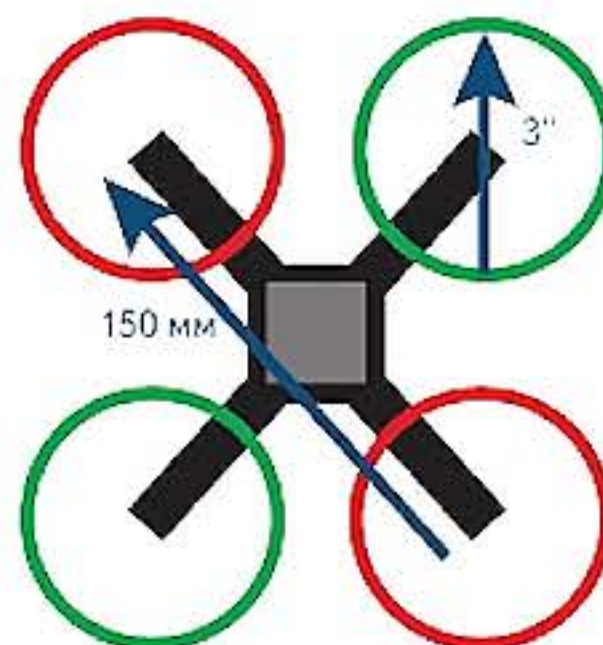


Рис. 7.5. Размеры по диагонали и диаметру винтов

## Используемые материалы

Существует широкий выбор материалов для изготовления рам: пластик, дерево, текстолит, стекловолокно, алюминий и композитные материалы.

Фанера часто используется в самодельных прототипах из-за доступности станков для лазерной резки, низкой стоимости материала и скорости производства. Этот материал стал популярным для тестирования летающих прототипов в силу своей простоты использования и доступности (рис. 7.6).

Карбон и углепластик являются предпочтительным выбором для самостоятельной сборки рамы благодаря своей высокой прочности при лёгком весе. Карбон обладает высокой жёсткостью, долговечностью и устойчивостью к различным погодным условиям, что улучшает полётные характеристики. Однако карбон непрозрачен для радиоволн и блокирует их, поэтому необходимо выносить все антенны наружу.

Литой пластик идеален для корпуса серийных устройств, так как пластиковые корпуса можно сделать герметичными для защиты электроники от влаги. Литой пластик также остаётся прочным благодаря жёстким рёбрам, которые невозможно воссоздать в карбоновой раме, а производить такие корпуса легче в больших объёмах. На рисунке 7.7 корпус, крышка и защита винтов коптера «Геоскан Пионер Мини» изготовлены методом литья.



Рис. 7.6. Рама из фанеры



Рис. 7.7. Литой корпус, крышка и защита винтов



**Рис. 7.8.** Рама, изготовленная методом 3D-печати



**Рис. 7.9.** Защитные дуги на лёгком дроне

благодаря своей эластичности. Однако основным недостатком такой защиты является возможность столкновения контера с препятствиями в месте между лучами и собственным корпусом, что может повредить электронику. Кроме того, арки плохо предотвращают попадание объектов сверху и не обеспечивают полноценной защиты моторам.



**Рис. 7.10.** Пример корпусной защиты

направлениях и осях, однако её основным недостатком является большое аэродинамическое сопротивление. Такой вид защиты всё чаще применяется в моделях спортивных квадрокоптеров для участия в спортивных соревнованиях на дронах, таких как дрон-футбол, дрон-баскетбол и др. На рисунке 7.11 показана модель квадро-

Для экспериментальных моделей или маленьких квадрокоптеров, таких как Cinewhoop или Tinywhoop, рамы могут быть напечатаны на 3D-принтере (рис. 7.8), но прочные рёбра жёсткости должны быть добавлены для усиления конструкции. Однако пластик не подходит для больших конструкций из-за невысокой прочности.

## Защита мультикоптера

Защитные конструкции необходимы квадрокоптеру для защиты лопастей и моторов, так как при падении удар приходится на винты, моторы и лучи, что часто приводит к их поломке. Конечно, наличие защиты увеличивает вес и сопротивление воздуху, но именно она является гарантией безопасности и долговечности квадрокоптера. Обычно для защиты используется стекловолокно или пластик.

Существует несколько базовых вариантов защиты.

### 1. Дуговая защита.

Этот вид защиты представляет собой простое и лёгкое решение. Он устанавливается на лучах под моторами (рис. 7.9) и обеспечивает защиту винтов и моторов

### 2. Корпусная защита.

Этот вид защиты монтируется по всему периметру корпуса квадрокоптера, как показано на рисунке 7.10, обеспечивая защиту не только моторов, но и всей рамы в целом. По сравнению с дуговой защитой, данная конструкция более эффективна в случае прямых столкновений квадрокоптера с препятствиями и стенами. Корпусная защита пользуется популярностью среди обучающихся квадрокоптеров.

### 3. Сферическая защита.

Эта конструкция защиты предотвращает столкновения квадрокоптера во всех на-



*Рис. 7.11.* Сферическая защита



*Рис. 7.12.* Дрон с клеткой на винтах

контера с защитой в форме усечённого двадцатигранника (футбольный мяч), достаточно прочной и лёгкой для соревновательных игр со столкновениями.

#### 4. Клетка.

Этот тип защиты (рис. 7.12) напоминает клетку своей конструкцией. Она устанавливается на моторы для защиты их от попадания объектов. Однако её недостатком является то, что она затрудняет воздушный поток вокруг моторов, что может привести к ухудшению полётных характеристик квадрокоптера.

### Подвес и крепления к раме посадочного шасси

При проектировании гоночных квадрокоптеров опоры обычно не используются, так как это увеличивает вес. Однако в случае установки «ног» они обычно небольшие и располагаются под моторами.

На рисунке 7.13 видно, что у модели «Пионер» «ноги» являются частью основного корпуса, а их высота определяет максимальный размер устанавливаемых снизу модулей расширения.

При установке подвеса, например, с камерой важно учитывать расположение шасси. Необходимо, чтобы «ноги» были достаточно гибкими для амортизации нагрузки и вибраций после посадки и при этом их размещение на раме не приводило к повреждению корпуса. Подвесы обычно размещают по центру рамы или выносят вперёд, тогда правильное распределение веса и расположение «ног» сыграют ключевую роль в обеспечении стабильности квадрокоптера. Существует несколько способов крепления шасси, например прикрепление двух широких «ног» к фюзеляжу под углом, что часто используется при создании грузоподъёмных квадрокоптеров (рис. 7.14).



*Рис. 7.13.* Рама с четырьмя опорами



*Рис. 7.14.* Рама с двумя мощными опорами



### Вопросы и задания

1. Какие типы рам квадрокоптеров симметричны сразу по двум осям?
2. Какие виды защиты защищают пропеллеры коптера со всех сторон?
3. Подумайте, какой материал для рамы коптера стоило бы выбрать для мелкосерийного производства моделей, предназначенных для ручной сборки конечным пользователем.
4. Перечислите преимущества и недостатки сферической защитной конструкции.

## §8. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ И ДВИГАТЕЛИ

В мире дронов аккумуляторные батареи и двигатели (синоним — моторы) играют ключевую роль, определяя производительность, дальность полёта и множество других параметров. Эти элементы являются сердцем любого беспилотного летательного аппарата, влияя на его эффективность и функциональность. В данном параграфе мы рассмотрим важные аспекты выбора аккумуляторов и моторов для дронов, их характеристики, типы и особенности применения, а также последние тенденции и инновации в этой области.

Напомним, что принцип работы мультироторного БВС, как и любых других летательных аппаратов вертолётного типа, основан на подъёмной силе, возникающей в результате вращения воздушного несущего винта. Данный вопрос был рассмотрен через призму аэродинамики в § 5.

Вначале поговорим о моторах. Как мы помним, двигатель — это устройство, которое преобразует какой-либо вид энергии в механический и наоборот. Эффективность данного процесса зависит от внутренней конструкции двигателя, которая, в свою очередь, зависит от источника тока (постоянного или переменного).

Применительно к двигателям мультироторного БВС следует отметить прежде всего две принципиально различные группы: квадрокоптеры, использующие коллекторные и бесколлекторные моторы.

1. **Коллекторные моторы.** Эти моторы состоят из следующих элементов (рис. 8.1).

- **Якорь.** Металлический вал, являющийся стержнем всей конструкции. Вал является движущимся элементом, от которого зависит крутящий момент. На нём также располагается ротор.

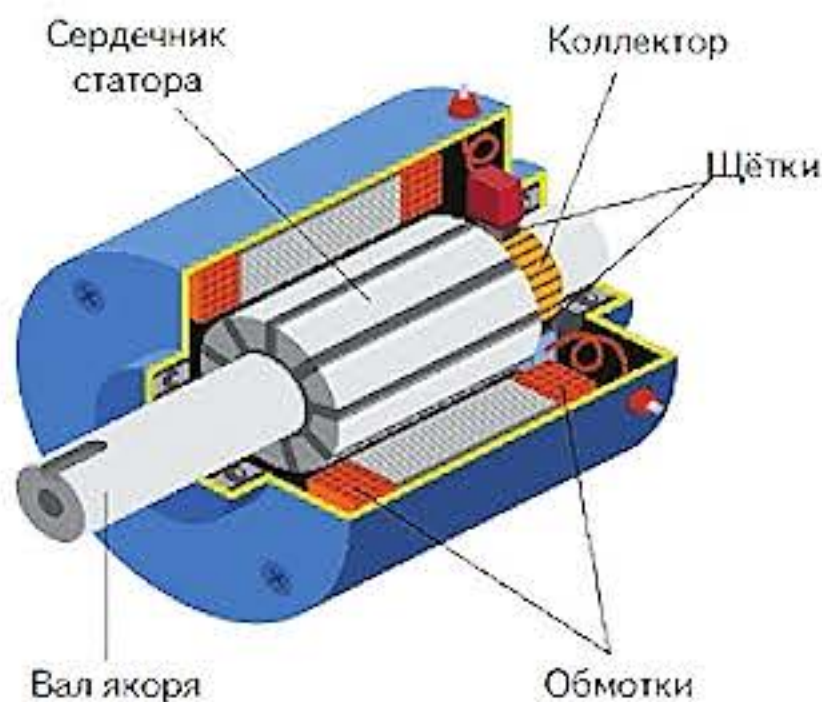


Рис. 8.1. Элементы коллекторного двигателя

- **Ротор.** Связан с ведущим валом. Внешняя конструкция вращается внутри статора. Задача ротора — получать или отдавать напряжение рабочему телу.
- **Подшипники.** Расположены на противоположных концах якоря для его сбалансированного вращения.
- **Щётки.** Типичным материалом для изготовления щёток является графит. Задача щёток — передавать напряжение через коллектор в обмотки.
- **Коллектор (коммутатор).** Выполнен в виде соединённых между собой медных контактов. Во время процесса вращения он принимает на себя энергию со щёток и направляет её в обмотки.
- **Обмотки.** Расположены на роторе и статоре разных полярностей. Предназначены для генерации собственного магнитного поля под воздействием разных полярностей, за счёт чего якорь приходит в действие.
- **Сердечник статора.** Выполнен из металлических пластин. Может иметь катушку возбуждения с полярным напряжением обмотки ротора или постоянные магниты. Данная конструкция зависит от источника напряжения. Является статичным элементом всего механизма.

Работает двигатель данного типа следующим образом (рис. 8.2).

Электрический ток, поступающий на обмотки якоря, создаёт в них электромагнитное поле, которое с одной стороны имеет южный полюс, с другой стороны северный. Электромагнитное поле, которое возникает в любой из обмоток якоря, взаимодействуя с каждым из полюсов магнитов статора, приводит в действие сам якорь, вращая его. Далее ток через коллектор и щётки передаётся к следующей обмотке и т. д. Вал электродвигателя совместно с якорем вращается до тех пор, пока к нему подаётся напряжение. В стандартные коллекторные моторы входит якорь с тремя и более обмотками. Сделано так для того, чтобы в момент раскручивания двигатель не остановился в одном положении.

К преимуществам данного типа двигателей можно отнести:

- низкую стоимость;
- простоту конструкции;
- высокую скорость до 10 000 об/мин;
- высокий крутящий момент даже на малых оборотах;

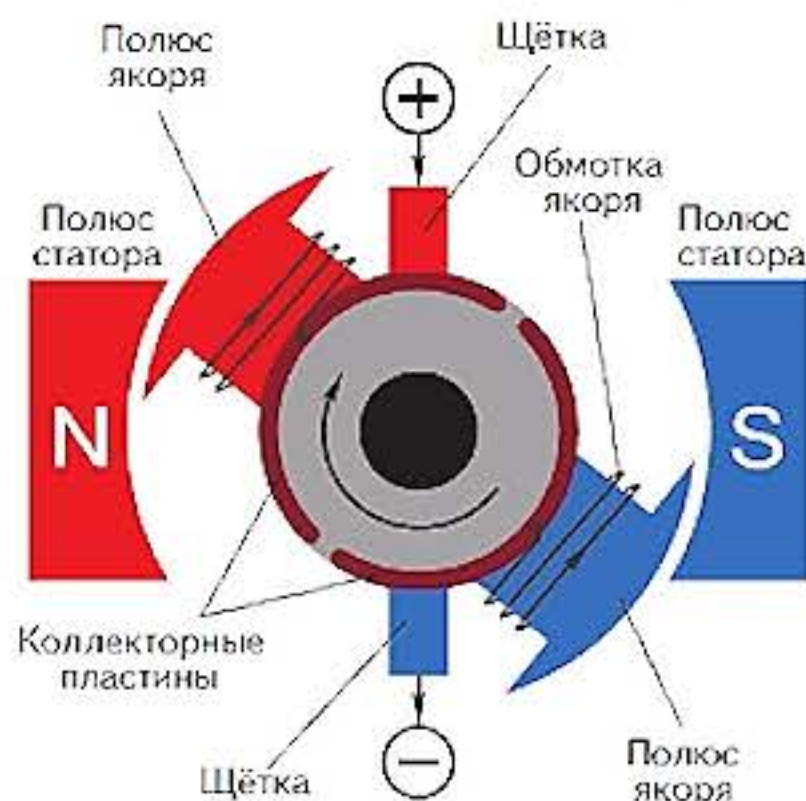


Рис. 8.2. Схема работы коллекторного мотора

- возможность регулирования скорости в широких пределах;
- невысокие пусковые токи и нагрузки.

Однако есть и недостатки:

- высокий уровень шумов при работе, особенно на высоких скоростях. Щётки трутся о коллектор, дополнительно создавая шум;
- трение щёток приводит к их искрению и последующему износу;
- необходимость частого обслуживания коллекторного узла;
- нестабильность показателей при изменении нагрузки;
- высокая частота отказов из-за наличия коллектора и щёток, малый срок службы этого узла.



## ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Коллекторные двигатели были разработаны исследователем и изобретателем Майклом Фарадеем (рис. 8.3) в начале XIX в. Фарадей изучал явление электромагнитной индукции и создал прототипы электрических двигателей, которые использовали магнитное поле для создания вращательного движения. Его работы были основополагающими для развития электротехники и привели к созданию первых электрических двигателей, включая коллекторные.

Коллекторные двигатели были одними из первых электрических двигателей, широко применявшихся в промышленности. Их простота и надёжность сделали их популярными в начале XX в.

Коллекторные двигатели широко используются в различных устройствах, таких как электроинструменты, бытовая техника, модели и игрушки, где требуются высокий крутящий момент и относительно низкая стоимость.

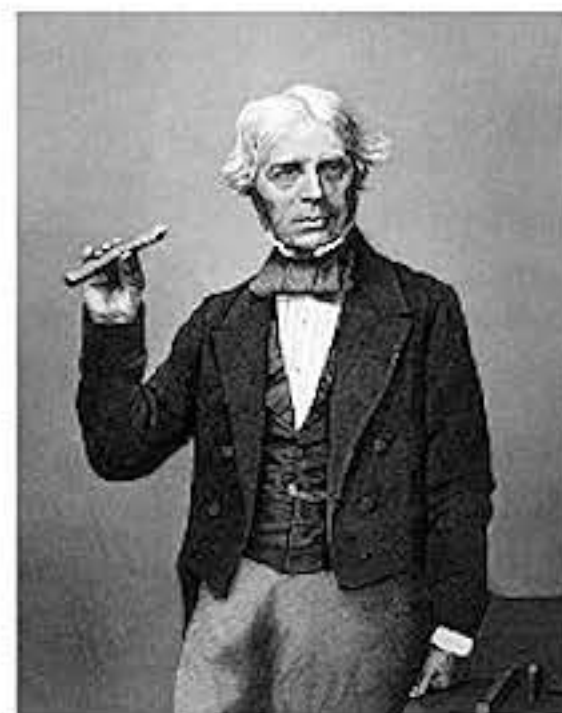


Рис. 8.3. Майкл Фарадей

2. **Бесколлекторные моторы.** Они имеют две разновидности (рис. 8.4) в зависимости от расположения ротора и статора:

1) **Inrunner** имеет неподвижные обмотки по внутренней поверхности корпуса (статор) и вращающийся внутри магнитный ротор;

2) **Outrunner** имеет подвижный корпус с магнитами по его внутренней поверхности, в центре которого закреплён статор с обмотками. Наиболее распространены. Детальная схема приведена на рисунке 8.5.

Принцип работы существенно отличается от принципа работы коллекторного двигателя. Для вращения на обмотки статора синхронно подаётся напряжение. Синхронизация обеспечивается за счёт использования внешних датчиков, например датчиков Холла, или на основе противоЭДС, возникающей в двигателе при его вращении (бездатчиковый метод).

К преимуществам данного типа двигателей можно отнести:

- широкий диапазон частоты вращения;

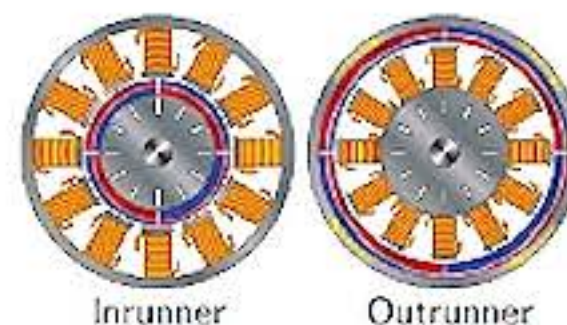


Рис. 8.4. Типы бесколлекторных моторов

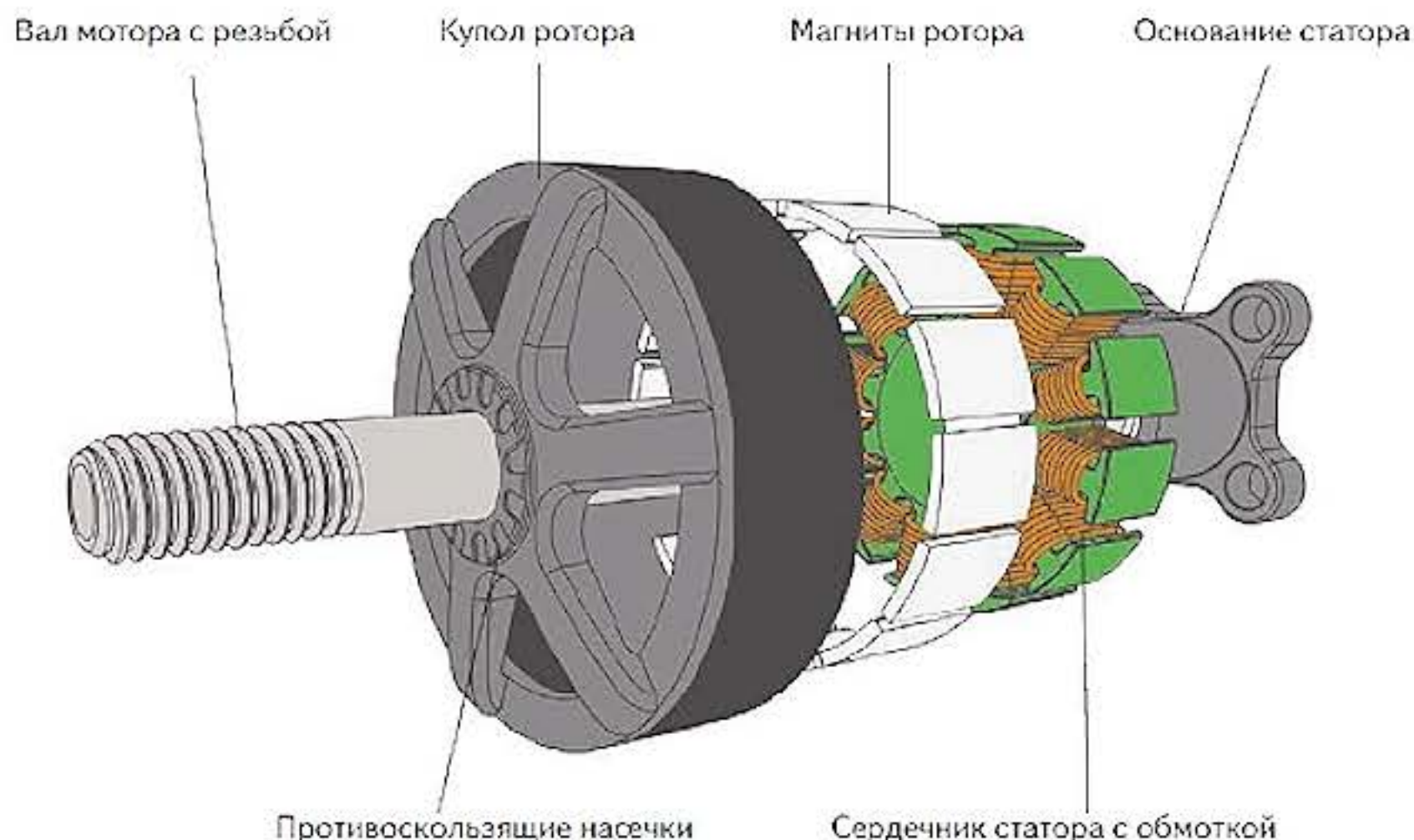


Рис. 8.5. Элементы бесколлекторного мотора типа «Outrunner»

- возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде;
- способность выдерживать большие перегрузки в моменте;
- высокие показатели эффективности (КПД более 90%);
- большой срок службы, высокую надёжность и повышенный ресурс работы за счёт отсутствия трущихся элементов.

Однако есть и недостатки:

- относительно сложная система управления двигателем;
- высокая стоимость двигателя, обусловленная использованием дорогостоящих материалов в конструкции ротора (магниты, подшипники, валы).

Большинство дронов используют бесколлекторные двигатели, поскольку они обладают более высокой скоростью вращения и лучшим динамическим откликом, что делает их хорошим выбором для решений, требующих высокой точности и скорости реакции, таких как промышленные автоматизированные системы и робототехнические устройства.

Электродвигателям и прочим электрическим системам БВС требуется источник энергии. И поскольку дрон является мобильным решением, на помощь приходят **аккумуляторные батареи** — устройства для накопления энергии с целью её последующего использования.

У типового аккумулятора есть два вида разъёмов: основной и балансировочный.

- **Основной разъём** у аккумулятора должен подходить к разъёму питания контера.
- **Балансировочный разъём** служит для балансировки аккумулятора при зарядке, т. е. он нужен, чтобы убедиться, что все банки аккумулятора заряжены одинаково.

Для питания квадрокоптеров самым популярным считается литий-полимерный аккумулятор. Однако помимо него существует ещё несколько видов аккумуляторов, используемых в этой сфере.

1. **Литий-ионный аккумулятор (Li-ion)** — тип электрического аккумулятора, который широко распространён в современной бытовой электронной технике и находит применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Литий-ионный аккумулятор (рис. 8.6) состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Пакет электродов помещён в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъёмникам. Корпус иногда оснащают предохранительным клапаном, сбрасывающим внутреннее давление при аварийных ситуациях или нарушениях условий эксплуатации.



Рис. 8.6. Литий-ионный аккумулятор

Преимущества:

- высокая энергетическая плотность (ёмкость);
- низкий саморазряд;
- высокая токоотдача;
- большое число циклов заряд-разряд;
- не требуют обслуживания.

Недостатки:

- при перезаряде, несоблюдении условий заряда или при механическом повреждении часто бывают чрезвычайно огнеопасными;
- огнеопасны в принципе;
- теряют работоспособность при переразряде;
- теряют ёмкость на холоде.

Такого вида аккумуляторы используются в маленьких коптерах.

2. **Литий-полимерный аккумулятор (Li-Po)** — это усовершенствованная конструкция литий-ионного аккумулятора. В качестве электролита используется полимерный материал (рис. 8.7).



Рис. 8.7. Литий-полимерный аккумулятор

В отличие от обычных бытовых литий-полимерных аккумуляторов, которые не способны обеспечить высокий выходной ток, существуют специализированные силовые литий-полимерные аккумуляторы. Они способны выдавать ток, который может быть в 10 и даже 130 раз больше, чем численное значение их ёмкости, выраженное в ампер-часах. Такие аккумуляторы широко используются, например, в качестве источников питания для радиоуправляемых моделей.

Преимущества:

- высокая энергетическая плотность (ёмкость);
- большая плотность энергии на единицу массы;
- низкий саморазряд;
- толщина элементов от 1 мм;
- возможность получать очень гибкие формы;
- слабо выраженный эффект памяти;
- незначительный перепад напряжения по мере разряда;
- довольно широкий диапазон рабочих температур: от  $-20$  до  $+40$  °C, по данным производителей.

Недостатки:

- пожароопасны при перезаряде и/или перегреве. Для борьбы с этим явлением все бытовые аккумуляторы снабжаются встроенной электронной схемой, которая предотвращает перезаряд и перегрев вследствие слишком интенсивного заряда. По этой же причине требуют специальных алгоритмов зарядки (зарядных устройств);
- количество рабочих циклов 800–900, при разрядных токах в 2С до потери ёмкости в 20%.

Данный тип является самым популярным для установки на квадрокоптеры.

3. **Литий-железо-фосфатный аккумулятор ( $\text{LiFePO}_4$ )** — тип литий-ионных аккумуляторов, в которых в качестве катода используется фосфат железа. Этот тип аккумуляторов считается одним из самых безопасных среди всех существующих видов. Они обладают стабильной химией и способны выдерживать большие нагрузки как при разряде (при работе с низким сопротивлением), так и при заряде (при использовании больших токов).

Преимущества:

- более длительный срок службы по сравнению с другими литий-ионными аккумуляторами;
- стабильное напряжение разряда, что упрощает регулирование напряжения в цепях;
- избежание затрат кобальта и экологических проблем, связанных с его использованием;
- высокий пиковый ток и морозостойкость;
- медленная потеря ёмкости со временем;
- термическая и химическая стабильность, повышающая безопасность.

Недостатки:

- низкая удельная плотность энергии по сравнению с некоторыми другими литий-ионными аккумуляторами;
- более низкая скорость разряда. Так как скорость разряда определяется в процентах от ёмкости аккумулятора, то более высокая скорость разряда может быть достигнута в более ёмких аккумуляторах (больше ампер-часов). Однако могут быть использованы  $\text{LiFePO}_4$ -элементы с высоким током разряда (имеющие более высокую скорость разряда, чем свинцово-кислотные батареи или  $\text{LiCoO}_2$  той же мощности);
- после некоторого времени использования  $\text{LiFePO}_4$  аккумуляторы могут иметь большую плотность энергии, чем другие типы.

Этот тип аккумуляторов находит применение в различных областях, включая автономные электроснабжающие системы, ветрогенераторы, солнечные батареи, складскую технику, погрузочные машины, водный транспорт, гольфкары, электровелосипеды, электроскутеры и электромобили.

С типами разобрались, но как выбрать аккумулятор под конкретное БВС? Обратимся к параметрам.

### 1. Напряжение и количество ячеек (S)

Li-Po-аккумуляторы собраны из ячеек, или «банок». Номинальное напряжение одной банки равно 3,7 В. Для получения более высокого напряжения их соединяют последовательно (рис. 8.8).

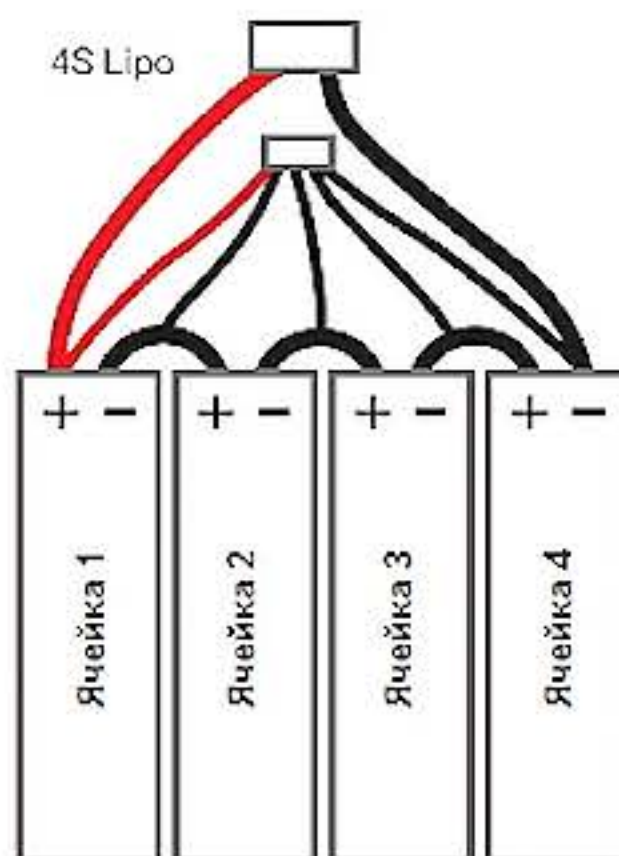


Рис. 8.8. Последовательное соединение ячеек

Для удобства вместо напряжения на аккумуляторе указывают количество банок — S, из которых состоит аккумулятор. Например, если указано 3S-аккумулятор, это значит, что он состоит из трёх ячеек, суммарное номинальное напряжение которых составляет 11,1 В.

Напряжение аккумулятора напрямую влияет на обороты бесколлекторных двигателей, поэтому если нужно увеличить скорость коптера, то нужно использовать аккумулятор с большим количеством ячеек. Однако стоит учитывать, что мотор и регулятор имеют ограничения по подаваемому на них напряжению, и если подать напряжение выше порогового, то это приведёт к поломке мотора.

Ещё момент, который стоит учитывать, — это **вес аккумулятора**. Чем больше банок, тем больше будет вес самого аккумулятора.

### 2. Ёмкость аккумулятора и его разбѐм

Ёмкость измеряется в миллиампер-часах (мА · ч). «мА · ч» означает, каким током нужно разряжать аккумулятор, чтобы он разрядился за 1 ч.

Если увеличить ёмкость аккумулятора, то это позволит увеличить полётное время. Но тут та же ловушка, что и в предыдущем пункте: увеличиваются вес и размеры аккумулятора. Увеличение ёмкости позволит увеличить и ток разряда.

### 3. Токоотдача, или C-рейтинг

Зная C-рейтинг и ёмкость аккумулятора, можно вычислить безопасный максимальный разрядный ток аккумулятора. Вычисляется он следующим образом:

$$\text{Максимальный разрядный ток} = \text{C-рейтинг} \cdot \text{ёмкость}.$$

Порой указывают два числа — постоянный ток и пиковый (ток, который может отдать аккумулятор в течение нескольких секунд).

Чем выше C-рейтинг, тем большую мощность в единицу времени может выдать аккумулятор и тем больше оборотов можно получить на двигателе. Но и слишком высокий рейтинг брать не стоит, так как это приведёт к большому весу аккумулятора, что повлияет на полётное время контера.

### 4. Внутреннее сопротивление (IR)

Чем меньше значение внутреннего сопротивления (IR), тем эффективнее аккумулятор. Высокое значение внутреннего сопротивления означает, что большая часть затрачиваемой энергии переходит в тепловую и аккумулятор нагревается.

К сожалению, текущие технологии таковы, что со временем внутреннее сопротивление аккумулятора возрастает. Чем дольше аккумулятор используется, тем выше будет IR и тем меньше энергоотдача самого аккумулятора.

В аккумуляторе у разных ячеек может быть разное значение внутреннего сопротивления. Значение самого большого IR вызывает *эффект «бутылочного горлышка»*, когда внутреннее сопротивление одной ячейки ограничивает мощность всех остальных.

Теперь, когда мы знаем параметры аккумуляторов, можно перейти к подбору аккумулятора на конкретное БВС.

Первым делом, после выбора моторов и пропеллеров для контера, нужно выяснить **максимальный потребляемый ток** всей винтомоторной группы. Следует исходить из того, какой ток будут потреблять все четыре мотора при максимальном газе. Это будет соответствовать максимальному току аккумулятора.

При выборе *ёмкости* нужно учитывать размеры контера и требуемый C-рейтинг аккумулятора. Примерное соотношение для стандартных конструкций представлено в таблице 8.1.

Таблица 8.1

ПРИМЕРНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЁМКОСТИ АККУМУЛЯТОРА К ДИАМЕТРУ ПРОПЕЛЛЕРОВ

| Размер пропеллеров | Диапазон ёмкости |
|--------------------|------------------|
| 6"                 | 1500–2200 мА · ч |
| 5"                 | 1300–1800 мА · ч |
| 4"                 | 850–1300 мА · ч  |
| 3"                 | 650–1000 мА · ч  |

Например, если диаметр ваших пропеллеров 5 дюймов, то значение ёмкости нужно выбирать в диапазоне 1300–1800 мА · ч.

Исходя из подобранной ёмкости, можно рассчитать пиковый C-рейтинг по следующей формуле:

$$\text{Пиковый C} = \text{Макс. потребляемый ток} / \text{ёмкость}.$$

Обычно производители считают пиковым значением удвоенное нормальное значение. Поэтому цифру обычного  $C$  нужно подбирать как уменьшенное вдвое значение пикового  $C$ -рейтинга.

Если вы рассчитываете летать с газом больше 50%, то нужно выбирать аккумулятор с бóльшим значением, но не забывайте про увеличивающийся вместе с рейтингом вес.

Существенный переразряд аккумулятора может быть необратим. Поэтому не рекомендуется разряжать аккумуляторы ниже значения 3,4 В на одну ячейку. Для отслеживания заряда используют встроенные датчики или внешние устройства на балансировочных разъёмах. Удобно, если полётный контроллер имеет функцию отслеживания заряда АКБ, выдаёт предупреждения и осуществляет автоматическую посадку при переразряде.

### Задача

Предположим, имеется квадрокоптер, у которого вышел из строя аккумулятор. Посмотреть его ёмкость, чтобы купить такой же, мы не можем: отсутствует маркировка, а к документации нет доступа. Однако известен тип аккумулятора, а также некоторые общие сведения о коптере. Требуется выбрать новый аккумулятор, зная характеристики коптера:

- 4 мотора с маркировкой — 1306 3100kv 6A/44W, эффективный ток 1,5–6 А;
- время полёта — 15 мин;
- тип аккумулятора — Li-Po;
- размеры коптера — 290×290×12 мм, масса — 230 г.

### Решение

Тип аккумулятора — Li-Po. Необходимо подобрать номинальное напряжение и ёмкость. Вспомним такое понятие, как разрядный ток аккумулятора:

$$\text{Максимальный разрядный ток} = C\text{-рейтинг} \cdot \text{ёмкость}.$$

Необходимо подобрать ток таким образом, чтобы он был не ниже минимального эффективного суммарного тока потребления моторов и не выше максимального. Минимальный эффективный ток мотора — 1,5 А, максимально допустимый — 6 А. Следовательно, разрядный ток лежит в пределах от 6 до 24 А. То есть

$$1,5 \cdot 4 = 6 < \text{разрядный ток} < 24 = 6 \cdot 4.$$

В то же время ёмкость рассчитывается как произведение продолжительности полёта в часах на ток разрядки:

$$\text{Ёмкость} = \text{время} \cdot \text{разрядный ток}.$$

Время полёта — 15 мин, выразим в часах и подставим в формулу:

$$\text{Ёмкость} = 1/4 \cdot \text{разрядный ток}.$$

Комбинируя уравнения выше, имеем:

$$1,5 < \text{ёмкость} < 6, \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Переводим в мА · ч, имеем ёмкость от 1500 до 6000.

Далее необходимо руководствоваться требованиями по допустимой массе аккумулятора, которая, в свою очередь, зависит от тяги.

В целях упрощения вычислений расчёт тяги производить не будем. Номинального напряжения в 3,7 В у аккумуляторов 1S зачастую не хватает для работы всей бортовой электроники, поэтому логично взять аккумуляторы 2S из двух ячеек с напряжением 7,4 В. Ближайшие минимальные значения по нормативной базе (так как моторы далеко не всё время работают на полном газе) — 1600 и 1800 мА · ч. К слову, комплектная батарея идёт 2S 1800 мА · ч.



#### Вопросы и задания

1. Что такое аккумулятор? Дайте чёткое определение.
2. Какой буквой обозначается количество «банок» в аккумуляторе?
3. Приведите формулу расчёта максимального разрядного тока.
4. Что в аккумуляторе вызывает эффект «бутылочного горлышка»? Что этот эффект означает?
5. Опишите принципы работы коллекторного и бесколлекторного двигателей.



## ГЛАВА 3 ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПОНЕНТ БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА

### §9. ПОЛЁТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР. АВТОПИЛОТ

В этом параграфе мы рассмотрим электронную «начинку» беспилотного аппарата. Познакомимся как с теми элементами, без которых беспилотник не способен взлететь в воздух, так и с теми, которые он способен носить на себе, но может обойтись и без них. Начнём, пожалуй, с самого важного элемента. Мозг дрона — полётный контроллер. Мы часто слышали такую фразу: «Мозг компьютера — это процессор». Тут то же самое. Мозг беспилотного воздушного судна — это процессор, но маленький. Его называют микроконтроллером.

Микроконтроллеры (рис. 9.1) — это микросхемы, предназначенные для управления электронными устройствами. Они сочетают функции процессора, периферийных устройств, ОЗУ и ПЗУ на одном кристалле, что делает их похожими на однокристальные компьютеры. Первый коммерческий микроконтроллер был выпущен в 1976 г. Сегодня существует множество типов микроконтроллеров с разными типами корпуса, объёмами памяти, наборами периферийных устройств и т. д. Они используются в различных приложениях — от бытовой техники до промышленной автоматики и робототехники.

Микроконтроллер находится на плате автопилота. Давайте разберёмся, что представляет собой автопилот.



Рис. 9.1. Микроконтроллер

**Полётный контроллер** (рис. 9.2) — электронное устройство, представляющее собой вычислительную систему, работающую по сложным алгоритмам и управляющую полётом беспилотного летательного аппарата. Функции полётного контроллера могут определяться установленной на борту мультикоптера дополнительной периферией (GPS, модем, OSD, подавс для фото/видеокамеры, датчики тока и напряжения, поисковые средства и т. д.).



Рис. 9.2. Полётный контроллер

Беспилотники мультироторного типа аэродинамически неустойчивы и требуют постоянной стабилизации в полёте, так как человек не способен одновременно контролировать скорость вращения трёх и более двигателей достаточно точно, чтобы сохранять баланс беспилотного летательного аппарата в воздухе. Появление быстродействующих микроконтроллеров и интегральных датчиков ускорения и угловой скорости на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) позволило решить эту задачу и стимулировать развитие высокопроизводительных полётных контроллеров (автопилотов), алгоритмы которых, в свою очередь, раскрывают новые возможности управления полётом.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Закон Мура — это эмпирическое наблюдение, сделанное Гордоном Муром, согласно которому количество транзисторов на кристалле интегральной схемы удваивается каждые 24 месяца. Этот закон стал основой для прогнозирования развития технологий в области микроэлектроники и вычислительной техники.

## Основные функции автопилота

### 1. Стабилизация аппарата в воздухе.

Сбор и обработка информации с инерциального измерительного блока (IMU), датчиков ускорений и угловой скорости в целях обеспечения аэродинамической устойчивости аппарата в горизонтальной плоскости. Некоторые IMU включают в себя магнитометры, позволяя стабилизировать ориентацию аппарата относительно магнитного меридиана и удержания направления движения.

### 2. Автоматическое удержание высоты.

Сбор и обработка информации с барометрических, ультразвуковых, инфракрасных сенсоров или радиотехнических высотомеров. Датчики рассчитывают высоту и обеспечивают стабилизацию аппарата в вертикальной плоскости. Возможность привязки позиции беспилотника на заданной высоте и в заданной точке при помощи модулей GPS/GLONASS.

### 3. Автономный полёт.

Выполнение заранее построенного маршрута полётного задания, созданного в специальном программном обеспечении с постоянным или переменным соблюдением телеметрических данных, заданных оператором, и осуществление автоматического возврата в точку старта при помощи модуля GPS/GLONASS.

4. Остановка перед препятствиями и их преодоление (система искусственного (технического) зрения) посредством набора сенсоров, определяющих расстояние до объекта. Система технического зрения может включать набор следующих сенсоров: стереоскопические (датчик изображения), инфракрасные или ультразвуковые дальномеры, двумерные лидары, 3D-лидары (Flash-LiDAR Time-of-Flight). Последние с алгоритмами одновременной навигации и построения карты (SLAM) позволяют строить 3D-модель окружающего пространства и планировать в нём безопасный маршрут, предотвращая столкновения с препятствиями.

5. Передача на землю текущих параметров полёта: положение беспилотника в пространстве, уровень заряда аккумуляторной батареи, статус выполнения полётного задания и многое другое.



## ПРОФЕССИЯ

**Программист встроенного программного обеспечения (Embedded)** — специалист, который занимается разработкой встроенного программного обеспечения для систем БВС, начиная с драйверов периферийных устройств и заканчивая системой автоматического управления БВС (автопилота). Создаёт ПО для интеграции новых полезных нагрузок в БАС. Пишет новые алгоритмы управления для расширения возможностей использования оборудования. Также эти специалисты занимаются созданием и поддержкой новых протоколов общения между наземной станцией управления (НСУ) и БВС. Основные языки программирования: C и C++.



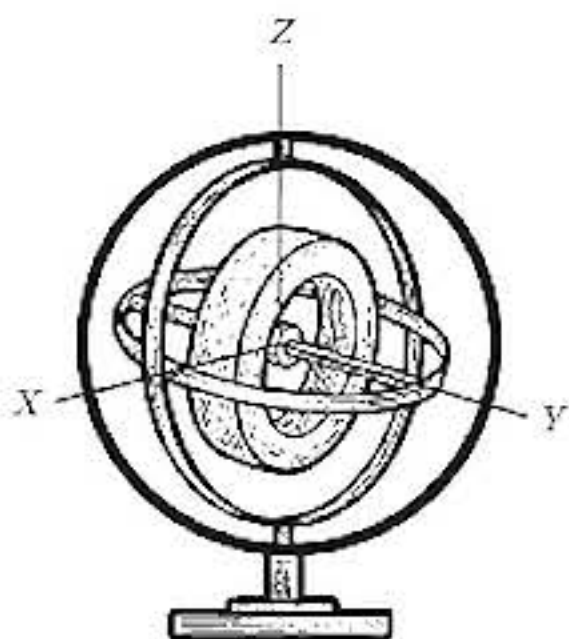
### Вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «полётный контроллер».
2. Дайте определение понятию «микроконтроллер».
3. Какие основные задачи выполняет автопилот?
4. С помощью какой системы можно привязать позицию квадрокоптера к высоте и точке?
5. В чём заключается сложность стабилизации мультироторной системы в воздухе?

## § 10. ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА

Полётный контроллер оснащён набором миниатюрных измерительных устройств (датчиков), которые лежат в основе инерциального измерительного блока. И если хотя бы один из этих датчиков не будет на БВС, то ни один аппарат не сможет летать. Речь идёт об акселерометре и гироскопе.

**Инерциальный измерительный блок, или система инерциальной навигации,** — это система, которая определяет своё положение в пространстве, используя свойства инерции тел, т. е. определяет, на какой угол и по какой оси она была повернута и смещена относительно начальной точки.



Измерительный блок включает в себя датчики линейного ускорения (акселерометр) и угловой скорости (гироскоп) (рис. 10.1). Основной задачей датчиков на полётном контроллере является непрерывное получение навигационных данных для математических расчётов микроконтроллером, который устанавливает положение беспилотника относительно горизонта и обнаруживает изменение углов ориентации относительно его предыдущего положения в пространстве, затем направляет данные в электронные регуляторы оборотов двигателей. Данные, вычисленные микроконтроллером, позволяют обеспечивать полёт мультикоптера, управляя газом, углами крена, тангажа и рыскания.

Рис. 10.1. Гироскоп

**Гироскоп** — это устройство, которое способно реагировать на изменение углов ориентации объекта относительно инерциальной системы отсчёта и определять его положение в пространстве.

## Устройство интегрального гироскопа

Чувствительным элементом интегрального гироскопа (рис. 10.2) являются две подвижные массы (грузики), которые находятся в непрерывном движении на упругом подвесе в противоположных направлениях. Источником колебаний подвижной массы являются гребенчатые электростатические двигатели. Подвижная масса вместе с электродами, расположенная на подложке, образует конденсаторы, входящие в состав дифференциальной схемы, вырабатывающей сигнал, пропорциональный разности ёмкостей конденсатора. Линейное ускорение одинаково воздействует на обе подвижные массы и подложку, поэтому сигнал на выходе дифференциальной схемы не появляется. Как только произойдёт изменение угловой скорости относительно оси вращения, то на подвижные массы начинает действовать сила Кориолиса, отклоняя подвижные массы в противоположных направлениях. Соответственно, ёмкость одного конденсатора увеличивается, а другого уменьшается, что порождает разностный сигнал, пропорциональный величине углового ускорения. Таким образом осуществляется преобразование угловой скорости гироскопа в электрический параметр, величина которого детектируется специальным датчиком. Для того чтобы мультиконтер определял положение в пространстве относительно трёх ортогональных направлений  $x$ ,  $y$  и  $z$ , внутри одного корпуса микросхемы располагаются три датчика перпендикулярно осям. Отсюда происходит название — трёхосевой гироскоп.

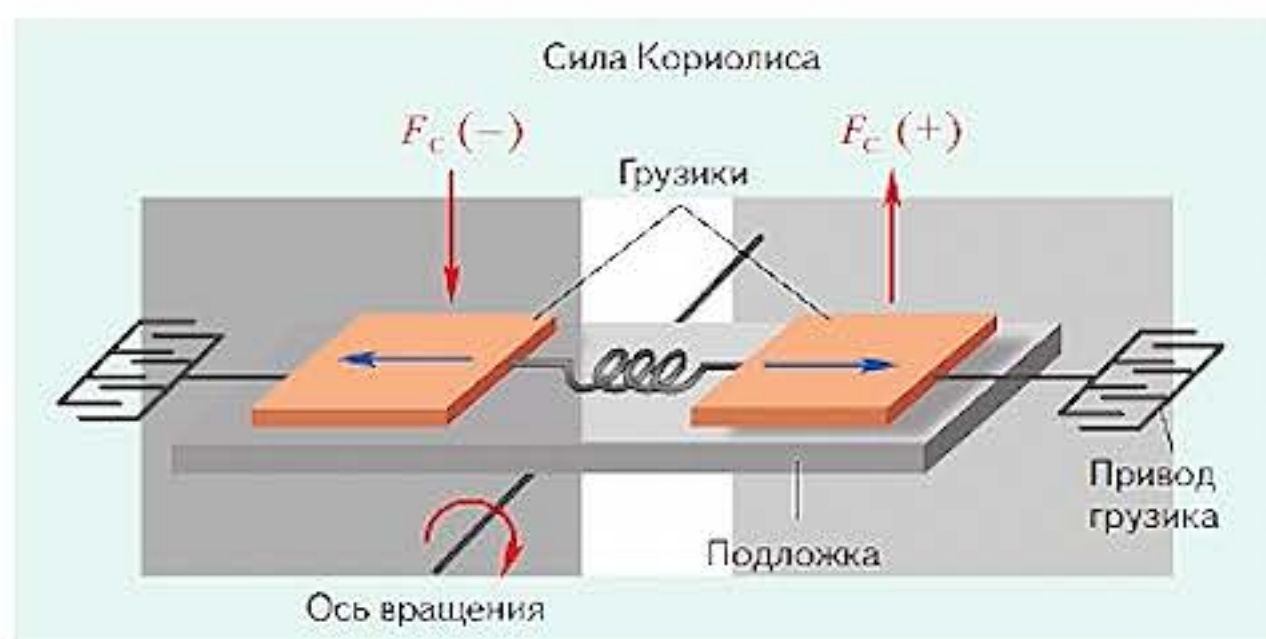


Рис. 10.2. Интегральный гироскоп

**Акселерометр** — это устройство, которое измеряет кажущееся ускорение (разность между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). В состав интегрального акселерометра входят высокоточный чувствительный элемент (движущийся) для определения ускорений и электронная часть, осуществляющая обработку сигнала.

## Устройство интегрального акселерометра

На статическом корпусе (рис. 10.3) параллельно размещены тонкие фиксированные пластины (контакты), снимающие показания, а источником данных является подвижная масса, закреплённая на упругих поликремниевых пружинах, выполненная в виде тонкой рамки с отведёнными в стороны проводниками и допускающая перемещение в определённых пределах, когда к определённой оси применяется ускорение.

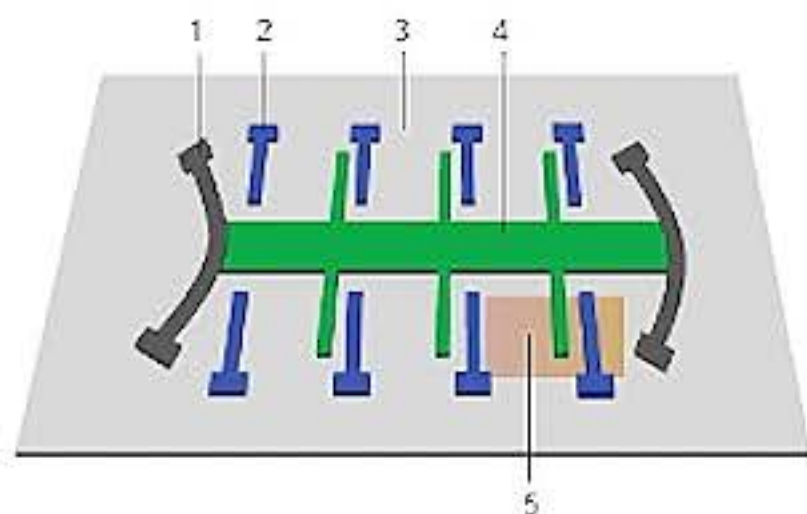


Рис. 10.3. Принцип работы интегрального акселерометра: 1 — поликремниевые пружины; 2 — фиксированные пластины (контакты); 3 — кремниевая подложка (корпус); 4 — подвижная масса с проводниками; 5 — изменение ёмкости

Отведённые в сторону проводники подвижной массы располагаются между фиксированными пластинами (контактами), через которые снимаются показания перемещения проводников. Объектом измерения выступает изменяющаяся ёмкость между фиксированными пластинами и проводниками подвижной массы, где изменение ёмкости пропорционально ускорению оси, относительно которой происходит движение.

Интегральные акселерометры, как и гироскопы в мультиконтерах, являются трёхосевыми, три датчика расположены внутри одного корпуса микросхемы перпендикулярно осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ .



### Вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «гироскоп».
2. Дайте определение понятию «акселерометр».
3. Опишите принцип работы интегрального гироскопа.
4. Почему без перечисленных в параграфе систем беспилотное воздушное судно не способно к полёту?
5. Где ещё применяется гироскоп, помимо беспилотных воздушных судов?
6. В скольких плоскостях акселерометр измеряет ускорение?

## §11. СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Мозг беспилотного воздушного судна — полётный контроллер, без которого БВС не способно к полёту. Собственно, как и без инерциальной системы, по которой БВС узнаёт своё положение в пространстве и угловую скорость. Не менее важными компонентами на БВС являются системы связи. Системы связи позволяют нам как отправлять данные на БВС, так и получать их. На борту могут располагаться различные электронные компоненты, которые задействуют разные системы связи, такие как радиоприёмник сигнала управления с пульта, FPV-камера, HD-камера и др. Рассмотрим основные системы связи.

### Радиосвязь

Радиосвязь (рис. 11.1) — наиболее распространённый способ передачи информации на длинные дистанции. Сотовая или спутниковая связь, телевидение — всё



Рис. 11.1. Радиосвязь

это функционирует на базе передачи сигналов посредством электромагнитных колебаний разной частоты. Радиосвязь на беспилотном воздушном судне чаще всего используется для передачи сигналов управления, передачи аналогового изображения с камер.

Как это работает?

Для любой радиоволны существует источник, который эту волну излучает, а также приёмник, который эту волну принимает. Для того чтобы передать информацию за счёт радиосвязи, высокочастотные колебания определённой частоты формируются в передатчике. Затем на колебания накладывается сигнал, который необходимо передать. Этот процесс называется модуляцией. Сформированный таким образом сигнал излучается антенной в виде радиоволн. Этот же сигнал принимается антенной приёмника, проходит систему фильтров, выделяющую из множества сигналов именно тот, который нам нужен, а сенсор, в свою очередь, выделяет из него модулирующий сигнал (т. е. наши данные, которые были переданы).

В зависимости от частоты передатчика излучаемый сигнал обладает разными характеристиками относительно дальности распространения, рассеивания, способности отражаться и огибать препятствия. Как известно, радиоволны распространяются в воздушной среде, а почва и вода для них непрозрачны. Однако благодаря эффектам искажения возможна связь между точками земной поверхности, не имеющими прямой видимости (в частности, находящимися на большом расстоянии).

## Физика волны

На рисунке 11.2 представлены основные элементы волны.

**Волны** — это возмущения среды, которые движутся с определённой формой и постоянной скоростью. У каждой волны есть свои свойства и характеристики.

**Длина волны** — расстояние между двумя ближайшими точками, которые колеблются в одинаковых фазах.

**Период** — время, за которое совершается одно полное колебание.

**Амплитуда** — максимальное смещение колеблющейся точки от равновесного положения.

**Частота** — количество полных колебаний за единицу времени.



Рис. 11.2. Физика волны

## Устройство передатчиков

Для передачи радиосигнала на БВС используется специальная аппаратура управления, которая модулирует и передаёт полезный сигнал. Её обычно называют пультом. Различают два основных вида пультов — джойстиковые и пистолетные (рис. 11.3). Для БВС используют джойстиковый пульт. Управление подвижными моделями основывается на взаимосвязи манипуляций человека с каналами связи на пульте и самой моделью. Аппаратура радиоуправления состоит из передатчика, который находится у пилота, и размещённых на БВС приёмников (рис. 11.4).



Рис. 11.3. Типы радиоаппаратуры: а — джойстиковый; б — пистолетный



Рис. 11.4. Взаимосвязь передатчика и приёмника

Для управления БВС требуется воздействие на несколько каналов связи, поэтому передатчики радиоуправления делают многоканальными. Оптимальным является наличие четырёх каналов связи: управление газом, углом крена, тангажа и рыскания. Пульты управления могут различаться количеством каналов управления, протоколом передачи и другими характеристиками.

## Устройство приёмников

Приёмник (рис. 11.5) — устройство, предназначенное для радиоприёма, т. е. для выделения полезного сигнала из радиоизлучения. Приёмник чаще всего установлен



Рис. 11.5. Приёмник

на БВС, принимает сигнал с пульта управления и передаёт его в полётный контроллер. Управление по радиоканалу может использоваться для отслеживания состояния БВС по присылаемой телеметрии или, к примеру, для перевода управления с автоматического режима на ручной при нештатной ситуации.

Сигналы, принятые антенной, подаются на колебательный контур, в котором работает приёмник. Этот контур является преселектором (устройство, соединяющее антенну и приёмник). После преселектора сигнал попадает в усилитель высокой частоты, затем усиленный сигнал подаётся на смеситель. На смеситель также подаётся сигнал с гетеродина (высокочастотного генератора). Антенна воспринимает сигналы со всех передатчиков, находящихся рядом, в смесителе происходит процесс первичной фильтрации сигнала.

Из смесителя отфильтрованные сигналы поступают на селектор промежуточной частоты, который должен выбрать из всех полученных сигнал нужного приёмника и подавить остальные. После этого сигнал проходит через усилитель промежуточной частоты и попадает на демодулятор-дискриминатор, где сигнал проходит обратную модуляции процедуру, когда из принятого сигнала выделяется полезный сигнал. Затем он попадает на триггер Шмидта, формирующий необходимую амплитуду и крутизну PPM-сигнала, а затем подаётся на декодер полётного контроллера.

Как известно, сигнал радиопередатчика ограничен, поэтому при необходимости использования БВС в удалённых районах надо позаботиться о его усилении. В этом нам помогают антенны усиления сигналов. От характеристик и типов антенн приёмников и передатчиков очень сильно зависит радиус приёма и передачи сигнала.

## Устройство антенн

Рассмотрим основные элементы антенн, а также какие бывают антенны по типу поляризации. Все эти характеристики влияют на приём/передачу и обработку радиосигнала. Традиционно устройство антенны состоит из следующих элементов.

**Активный элемент** — проводник, передающий или принимающий сигнал.

Активный элемент антенн обычно делают из медных сплавов, таких как латунь, а также из алюминиевых сплавов. Эти материалы обладают хорошими характеристиками и устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям.

**Коаксиальный кабель** — специальный кабель в оплётке для передачи сигнала между разъёмом и активным элементом без вывода сигнала в эфир.

**Разъём** — используется для соединения антенны с приёмником или передатчиком.

**Поляризация** — в зависимости от поляризации сигнала существует два типа антенн.

### АНТЕННЫ С ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В этом случае сигнал колеблется горизонтально или вертикально, но только в одной из плоскостей.

Антенны линейной поляризации широко распространены из-за простоты конструкции. Эти антенны имеют малый размер, низкую цену, их легко ремонтировать и собирать.

Линейная поляризация отлично подходит для больших расстояний, так как вся энергия будет сосредоточена в одной плоскости. Для того чтобы получить максимальный уровень сигнала, антенны приёмника и передатчика должны быть расположены параллельно для получения максимального перекрытия сигнала.

**Монополь** — это простейшая антенна линейной поляризации — коаксиальный кабель без оплётки (рис. 11.6). Чаще всего применяется в приёмниках, так как она достаточно дешёвая и легко ремонтируется. Однако монополь не так эффективен, как диполь, так как рабочую частоту антенны составляет длина провода. **Диполь** — это лёгкий и устойчивый к повреждениям вид антенн, похожий по своему устройству на монополи, однако имеющий заземлённую гильзу под активным элементом (рис. 11.7). Эта гильза может значительно улучшить характеристики антенны.



Рис. 11.6. Монополь



Рис. 11.7. Диполь

#### АНТЕННЫ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

При круговой поляризации сигнал распространяется в обеих плоскостях (в вертикальной и горизонтальной) со сдвигом фазы на  $90^\circ$ . Его ещё представляют в виде штопора. Он, как и антенны линейной поляризации, имеет несколько разновидностей.

**Четырёхлепестковый клевер** — антенна круговой поляризации, имеющая отличную устойчивость к отражённым сигналам. Используется там, где аэродинамическое сопротивление не критично. Как правило, клевер монтируют на приёмник, однако этот вид антенны можно поставить и на передатчик.

**Трёхлепестковый клевер** (рис. 11.8) — обычно используется на передатчиках. Можно комбинировать с четырёхлепестковым для увеличения радиуса приёма и улучшения качества сигнала.

**Пагода** (рис. 11.9) — довольно новый тип антенн. Это ненаправленная антенна с круговой поляризацией. Уникальный дизайн и используемый материал (текстолит) делают её очень прочной.

**Хеликс** (спиралька, рис. 11.10) — это направленная антенна с круговой поляризацией, имеющая в своей конструкции пружинку. Спиральная антенна может иметь очень большой коэффициент усиления, усиление зависит от числа витков. Спиральная антенна незаменима в случае, когда необходимо многолучевое распространение сигнала.



Рис. 11.8. Трёхлепестковый клевер



Рис. 11.9. Пагода



Рис. 11.10. Хеликс

**Патчи** — это тоже направленные антенны, они бывают как с линейной, так и с круговой поляризацией. По сравнению с хеликсом у них более широкий луч, но меньший размер. Сигнал с круговой поляризацией всегда попадает на антенну, независимо от угла между антенной на контере и на приёмнике. Именно поэтому антенны с круговой поляризацией приоритетны для полётов в FPV-режиме.

Главное достоинство антенн с круговой поляризацией — возможность не принимать отражённый сигнал. Многолучевое распространение сигнала — главная причина плохого качества видео (изменение цвета, помехи, двоение и т. п.). Так бывает, когда сигнал отражается от объектов и приходит с другой фазой, при этом сменяясь с основным сигналом.



*Рис. 11.11.* Левая (LHCP) и правая (RHCP) поляризация

Круговая поляризация бывает как **левой (LHCP)**, так и **правой (RHCP)** (рис. 11.11). На передатчике и приёмнике должны быть антенны с одним и тем же направлением, в противном случае возможна сильная потеря сигнала.

Круговая поляризация хорошо защищает от переотражённых сигналов, потому что, когда сигнал отражается от объекта, меняется направление поляризации, т. е. антенна LHCP отсекает RHCP-сигнал и наоборот (кросс-поляризация). Антенна с левой поляризацией не принимает сигнал с правой поляризацией, и наоборот.



*Рис. 11.12.* Типы разъёмов антенн

## Разъёмы антенн

У антенн обычно бывает один из двух видов разъёмов: SMA или RP-SMA (рис. 11.12). Они различаются внешне и между собой несовместимы. По качеству передачи видеосигнала между этими разъёмами нет никаких различий.

### РАЗЪЁМЫ UFL



*Рис. 11.13.* Разъём UFL

Также известны как IPEX, UFL (рис. 11.13), часто использовались в мелких видеопередатчиках и антеннах для них. Благодаря малому размеру их можно встретить во многих приёмниках управления. В этих разъёмах нет резьбы, соединяются они простым прижатием одного к другому. Они значительно более хрупкие (по сравнению с SMA/RP-SMA), и в своей эксплуатационной «живучести» они плохо себя показывают (в среднем их можно подключать/разъединять не более 30 раз).

## РАЗЪЕМЫ MMCX

MMCX легче и компактнее (рис. 11.14), чем SMA, но значительно прочнее UFL. Они более «живучие», и их можно использовать около 100 раз. Всё больше видеопередатчиков оснащается этими разъёмами, так что можно ожидать, что они будут популярны в ближайшем будущем.



Рис. 11.14. Разъём MMCX



### Вопросы и задания

1. Что такое радиосвязь?
2. Перечислите основные виды антенн.
3. Перечислите основные характеристики радиоволны.
4. Что увеличивается с уменьшением длины радиоволны?
5. Что меняется у антенны с изменением частоты, на которой антенна должна работать?

## § 12. ПОЛЕЗНАЯ НАГРУЗКА

Вначале следует пояснить разницу между теоретическими понятиями полезной и целевой нагрузки беспилотника.

**Полезная нагрузка беспилотника** — общий термин, обозначающий все компоненты и оборудование, которые устанавливаются на беспилотное воздушное судно с целью выполнения конкретных задач. Это могут быть различные сенсоры (камеры, радары, лидары и т. д.), устройства связи, полезные грузы (контейнеры для доставки, датчики и т. д.) и другие компоненты, необходимые для сбора данных, выполнения миссий или осуществления других функций.

**Целевая нагрузка беспилотника** — часть полезной нагрузки, непосредственно связанная с целью миссии или задачей, которую выполняет БВС. Например, если цель миссии — аэрофотосъёмка, то целевая нагрузка может включать в себя камеры высокого разрешения и другие сенсоры для сбора геопространственных данных. Если задача — доставка грузов, то целевая нагрузка будет состоять из контейнеров или других устройств, предназначенных для переноса грузов.

Часто эти понятия путают и под полезной нагрузкой подразумевают исключительно целевую, закреплённую снаружи БВС. Согласно первому определению, предлагается рассматривать всю техническую составляющую нагрузки беспилотника как полезную (рис. 12.1). Однако следует учитывать, что конструктивно она может быть реализована как стационарная (встроенная), так и мобильная (подвесная) относительно основного устройства.



Рис. 12.1. Весь беспилотник как полезная нагрузка

Критерии, позволяющие разграничить полезную нагрузку на стационарную и мобильную, следующие:

- по виду конкретного технического элемента нагрузки;
- по месту размещения относительно основного устройства;
- по техническим параметрам;
- по функциональному предназначению с учётом решаемых задач.

В этой связи следует обратить внимание на то, что *стационарная* полезная нагрузка беспилотного воздушного судна, совместно с программным обеспечением, отвечает за реализацию основных функциональных возможностей:

- автономное управление полётом;
- стабилизация аппарата в воздухе;
- предоставление светового освещения близлежащего пространства;
- осуществление наблюдения, поиска, выявления, фиксации и передачи информации в режиме реального времени.

После полётного контроллера, винтомоторных групп, систем питания, связи и геопозиционирования следующими по значимости элементами стационарной полезной нагрузки беспилотного воздушного судна являются различные встроенные датчики и камеры. Они обеспечивают автономное стабильное удержание в воздухе воздушного судна в условиях как значительного, так и ограниченного территориального пространства, минимизируя воздействие внешних факторов. Среди них могут быть:

- магнитометр, функционирующий как электронный компас и выравнивающий направление полёта воздушного судна;
- акселерометр, обеспечивающий стабильность аппарата и плавное движение в воздухе;
- гироскоп, позволяющий аппарату реагировать на изменение углов ориентации и определять его положение в пространстве;
- барометрический датчик скорости и высоты, контролирующий заданную высоту полёта и обеспечивающий плавное движение;
- ультразвуковой датчик (сонар), повышающий точность измерений на небольших высотах и в помещениях;
- IR (инфракрасный) датчик расстояния, определяющий параметры расстояния до объекта;
- датчик визуального позиционирования, анализирующий пространство под дроном для стабильного полёта в помещениях или вблизи земли;
- сенсорные event-камеры, обеспечивающие высокий динамический диапазон съёмки и отсутствие размытости изображения при движении контролируемого объекта.

*Мобильная* же полезная нагрузка БВС обычно устанавливается на стабилизирующих подвесах, располагается вне корпуса или в оконечных его частях. По степени принадлежности к выполняемой задаче чаще всего является *целевой полезной нагрузкой*.

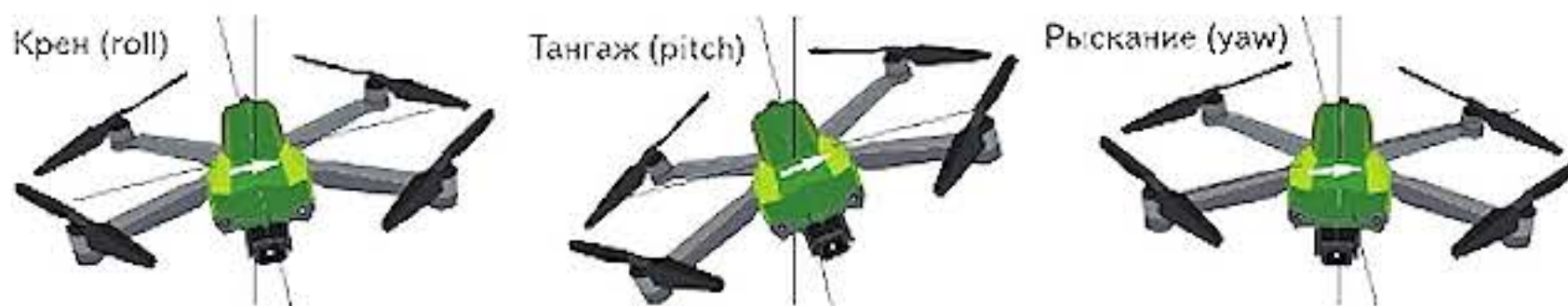
Впрочем, и сам стабилизирующий подвес тоже можно считать целевой нагрузкой. Рассмотрим подробнее.

**Гиростабилизированные платформы для беспилотных воздушных судов** — базовые конструкции, способные обеспечить пространственную устойчивость для высокотехнологичной аппаратуры или другой подвески (рис. 12.2). Эти платформы компенсируют внешние воздействия, такие как турбулентность воздуха или механические тряски, предотвращая смещение приборов, размещённых на них, относительно заданной позиции, установленной оператором.



*Рис. 12.2.* Пример квадрокоптера с системой гиростабилизации и установленными на неё камерами

В настоящее время в БВС преимущественно используются двух- и трёхосевые типы гиростабилизаторов. Двухосевой подвес работает над стабилизацией устройства в двух осях — тангажа и крена (рис. 12.3). Трёхосевой подвес, помимо перечисленных углов ориентации БВС, осуществляет контроль над рысканием и обеспечивает поглощение нефункциональных колебательных движений. Применение данных платформ исключает горизонтальную вибрацию дрона.



*Рис. 12.3.* Крен, тангаж и рыскание

Учитывая разницу в точности производимых измерений и вычислений, более целесообразным предполагается использование беспилотных воздушных судов с трёхосевыми гиростабилизированными платформами, включающими демпфер (амортизатор) подвесной целевой нагрузки.

**Демпфер**, также известный как амортизатор вибраций, играет важную роль в стабилизации и защите камеры от вибраций, генерируемых беспилотным летательным аппаратом. Конструкция демпфера обычно включает в себя пластину со специальными элементами из резины, которые напоминают амортизаторы или рессоры.

Важность этого компонента обусловлена его способностью снижать или поглощать вибрации средних и высоких частот, которые могут повлиять на качество

изображения. Демпфер также позволяет пластине двигаться на низкочастотном уровне вместе с корпусом контера, обеспечивая стабильность работы целевой нагрузки (например, в случае аэрофотосъёмки).

Качественные демпферы производятся с использованием композитных материалов и высококачественной резины для амортизации, обеспечивая надёжную защиту камеры от вибраций.

Целевая нагрузка, которая может быть установлена на трёхосевой подвес беспилотного воздушного судна, включает в себя различные виды оборудования и сенсоров, зависящих от конкретной задачи или миссии. Вот несколько типов целевой нагрузки, которую можно установить на трёхосевой подвес БВС.

- Камеры высокого разрешения, включая видеокамеры и фотокамеры с высоким разрешением для аэрофотосъёмки и видеозаписи (рис. 12.4), инфракрасные камеры. Используются для теплового зондирования, поиска тепловых источников, поиска людей и животных в условиях плохой видимости.



*Рис. 12.4.* Пример БВС с камерой высокого разрешения

- Лидары — системы лазерной локации для создания точных карт местности и пространственного моделирования.
- Радиосканеры — для обнаружения и анализа радиочастотного спектра, включая радиоперехват и радиодетекцию.
- Мультиспектральные камеры — используются для сбора информации в различных спектральных диапазонах, таких как видимый, инфракрасный и УФ-диапазоны, для анализа растительности, почвы и других объектов (рис. 12.5). Для обнаружения различных газов и вредных веществ в воздухе.
- Иные контрольно-измерительные приборы — для сбора данных о температуре, влажности, давлении и других параметрах окружающей среды.



*Рис. 12.5.* Пример БВС самолётного типа во время выполнения аэрофотосъёмки

- Системы распыления — для направленного распыления различных удобрений и химических составов. Применяются в агропромышленности.

Также к целевой нагрузке можно отнести устройство захвата и удержания груза. В данном случае стабилизирующий подвес не используется как ввиду отсутствия необходимости стабилизации груза относительно корпуса, так и по причине малой прочности и грузоподъёмности таких подвесов. Устройства захвата и удержания груза могут включать в себя механические захваты, магнитные системы, а также другие механизмы, позволяющие беспилотному летательному аппарату эффективно выполнять задачи, связанные с транспортировкой или доставкой грузов. Эти устройства обычно устанавливаются на специальные крепёжные точки или рамы на корпусе БВС и могут быть управляемыми с дистанционного пульта или программно через автономное управление.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Знаете ли вы, что в России прямо сейчас происходит внедрение грузовых БВС? Компании и правительственные структуры активно проводят испытания и развивают новые технологии для беспилотных воздушных судов.

Центр «Бирюч» российской группы компаний «ЭФКО» протестировал прототип грузового беспилотного дрона Hi-Fly Cargo (рис. 12.6), предназначенного для работы в чрезвычайных ситуациях. Дрон способен выполнять экстренную доставку грузов и даже эвакуировать пострадавших. Инженеры успешно перевезли манекен весом 80 кг, что подтверждает работоспособность системы. Аппарат рассчитан на подъём до 200 кг полезного груза.

Совместно с компанией «Аэромакс» и правительством Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) Почта России также провела успешные испытания по доставке грузов с помощью беспилотного воздушного судна. Тяжёлый беспилотный вертолёт «Аэромакс» SH-350 (рис. 12.7) совершил несколько полётов по маршруту Салехард — Аксарка — Салехард, перевозя макет груза на расстояние 53 км. SH-350 способен перевозить до 100 кг груза на расстояние до 150 км с крейсерской скоростью 90 км/ч.

Эти достижения показывают потенциал беспилотных дронов как средства доставки и в спасательных операциях, а также подтверждают рост интереса к этой технологии в России.



Рис. 12.6. Грузовой дрон Hi-Fly Cargo



Рис. 12.7. Беспилотный вертолёт «Аэромакс» SH-350

В заключение стоит отметить, что при проектировании БВС, квадрокоптера в частности, и определении его полезной нагрузки необходимо учитывать не только

вес, но и распределение массы. Неправильное распределение массы может привести к неустойчивости и ухудшению маневренности квадрокоптера. Кроме того, важно учитывать не только массу полезной нагрузки, но и её влияние на производительность и дальность полёта квадрокоптера. Чем больше полезная нагрузка, тем выше требования к мощности моторов и ёмкости аккумулятора.

Также важно отметить, что полезная нагрузка квадрокоптера может быть изменяемой и адаптированной под конкретные задачи. Некоторые квадрокоптеры имеют специальные системы крепления, которые позволяют легко устанавливать и снимать различные типы полезной нагрузки в зависимости от потребностей пользователя (модульность).



### Вопросы и задания

1. Перечислите отличия целевой нагрузки от полезной.
2. Перечислите места установки мобильной полезной нагрузки на беспилотных воздушных судах.
3. Что такое гиросtabilизированные платформы для БВС и какую функцию они выполняют?
4. Какую роль играет демпфер (амортизатор вибраций) в составе полезной нагрузки БВС?
5. Перечислите типы оборудования и сенсоров, которые могут входить в состав целевой нагрузки, устанавливаемой на трёхосевой подвес БВС.



## ГЛАВА 4    ОСНОВЫ РУЧНОГО ПИЛОТИРОВАНИЯ

### ■ § 13. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

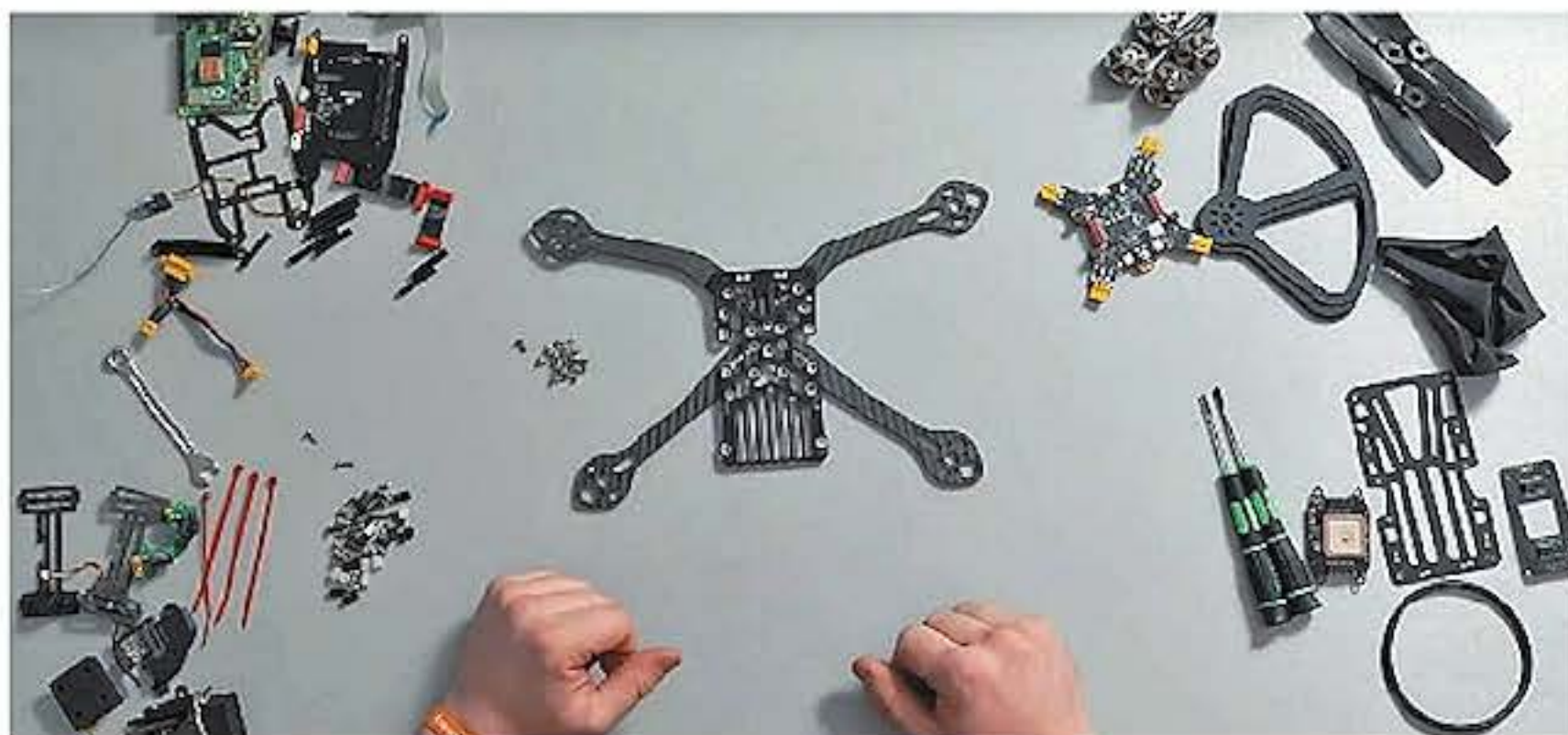
С постоянным ростом интереса к использованию беспилотных воздушных судов в различных областях вопросы безопасности приобретают ключевое значение. Это связано как с потенциальными возможностями для развития и улучшения окружающей среды и людей, так и с возможностью обеспечения безопасности и предотвращения непредвиденных ситуаций. В данном параграфе рассматриваются основные принципы и методы обеспечения безопасности при использовании беспилотных летательных аппаратов, включая технические инновации, стандарты безопасности, обучение персонала и соблюдение регулятивных требований. Понимание и эффективное применение этих мероприятий способствуют не только минимизации рисков, но и развитию безопасной и успешной эксплуатации БВС.

Если у вас в руках оказался беспилотник, важно иметь представление о правилах обращения с ним. БВС представляют собой технически сложные изделия, которые при правильном обращении могут стать полезным инструментом для различных целей. Поэтому соблюдение определённых правил поможет безопасно использовать дрон, продлить срок его службы и, что самое главное, предотвратить несчастные случаи.

Любой пилот дрона, будь то небольшой квадрокоптер игрушечного происхождения или крупный БВС весом 30 кг, может быть частью захватывающего путешествия. Пилотирование беспилотников открывает мир новых возможностей и перспектив. Ответственность за безопасность и правильное использование устройства лежит на пилоте. Чтобы воплотить в жизнь свои идеи и получить максимальное удовольствие от полётов, важно соблюдать правила безопасности и быть готовым к любым действиям в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

#### **Сборка/ремонтные работы**

Перед началом сборки и/или ремонтных работ (рис. 13.1) необходимо подготовить рабочее пространство, освободив его от лишних предметов, и по возможности приготовить небольшие ёмкости для мелких деталей. Сборка должна производиться строго в соответствии с прилагаемой инструкцией.



*Рис. 13.1.* Проведение сборки и/или ремонтных работ

## Работа с аккумуляторами

Важно также обращать внимание на безопасность при работе с Li-Po-аккумуляторами, без которых невозможен полёт беспилотника, поскольку именно они обеспечивают необходимое питание дрону. Существует несколько важных правил, которые следует соблюдать при обращении с этими аккумуляторами:

1) бережно обращаться с аккумуляторами, избегая падений, ударов и деформаций;

2) при подключении/отключении аккумуляторов (рис. 13.2) следует держаться только за разъёмы, избегая тяги или дёргания за провода;

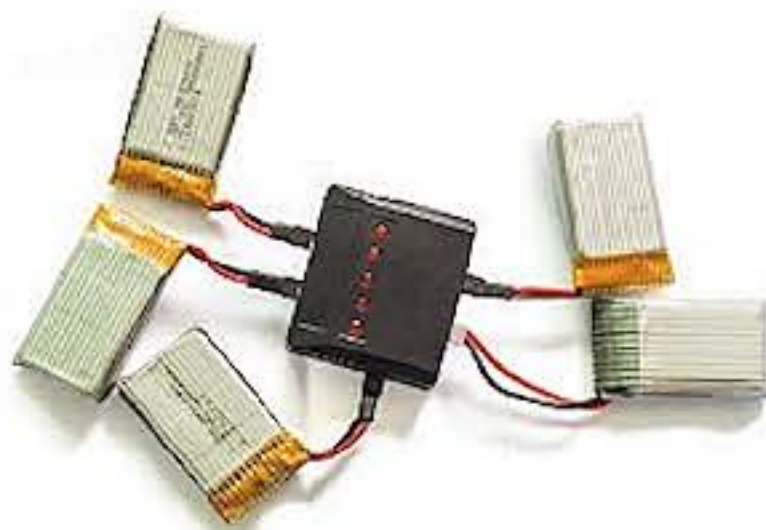
3) в случае обнаружения обрыва разъёмов, нарушения целостности изоляции или корпуса аккумулятора необходимо немедленно сообщить инструктору;

4) не рекомендуется заряжать аккумуляторы самостоятельно и оставлять их заряжаться на продолжительное время.

Аккумуляторы типа Li-Po, наиболее часто применяемые в БВС мультироторного типа, подвержены «вздутию» из-за частой предельной разрядки/зарядки и перенагрузки.

В результате такого воздействия аккумуляторы теряют свою ёмкость и перестают быть пригодными для использования. При покупке новой Li-Po-аккумуляторной батареи вы, возможно, заметили, что её напряжение колеблется в пределах 3,8–3,85 В на ячейку, что соответствует примерно 40 % их ёмкости. Это считается идеальным состоянием для длительного хранения таких батарей и является рекомендацией производителей.

Для зарядки литий-полимерных батарей крайне важно использовать зарядное устройство, предназначенное специально для Li-Po-ячеек и обладающее функцией балансировки. Это обеспечивает безопасную зарядку и продлевает срок службы аккумуляторов.



*Рис. 13.2.* Подключение аккумулятора в процессе зарядки

Напряжение типичной Li-Po-ячейки составляет от 3 до 4,2 В при полной зарядке. Разрядка ячейки ниже 3 В или зарядка выше 4,2 В крайне нежелательны, так как это может привести к необратимым изменениям и внутренним повреждениям. При использовании универсального зарядного устройства всегда следует выбирать тип Li-Po, чтобы избежать перезарядки батареи. Перезарядка может привести к вздутию ячеек и в конечном итоге к возгоранию. Поэтому важно быть крайне внимательным во время процесса зарядки.

Также важно следить за температурой аккумулятора во время его зарядки. Если батареи хранились при температуре ниже 0 °C, то заряжать их сразу после извлечения из холодного места крайне опасно. Дайте им время самостоятельно нагреться до комнатной температуры, иначе может возникнуть риск возгорания.

Никогда не пытайтесь заряжать вздутые, с повреждённой изоляцией или другими следами внешних повреждений аккумуляторы. Их следует обязательно утилизировать. Также не рекомендуется заряжать полностью заряженные батареи, которые долгое время находились на хранении.

Срок службы литий-полимерных аккумуляторов зависит от множества факторов. Правильное обращение с аккумуляторами может обеспечить до 200 стабильных циклов зарядки/разрядки. Однако, если батарея не держит более 80 % своей изначальной ёмкости, её следует утилизировать, так как дальнейшее использование может привести к всучиванию и возможному возгоранию.

## **Подготовка к полёту**

Техника безопасности при подготовке к эксплуатации БВС предполагает ряд мероприятий. Каждый летательный аппарат должен пройти предполётный осмотр, чтобы убедиться в исправности всех систем. Желательно, чтобы БВС было готово к полёту при половине нормы газа, а также следует проверить исправность всех деталей.

Необходимо контролировать, чтобы перед полётом не было подключения кабеля к плате. При использовании GPS-модуля для контролируемого пилотирования важно, чтобы аппарат определил необходимое количество спутников перед разблокированием пропеллеров. Также следует проверить точку возвращения: если она не установлена, необходимо перезагрузить аппарат и обновить координаты точки возврата.

Модели, в которых используются карбон и стекловолокно, считаются наиболее небезопасными, так как эти материалы могут нанести серьёзные травмы и повредить имущество в случае аварии. Пилотирование дрона требует определённых навыков, которые лучше приобретать на недорогой и лёгкой модели, чтобы избежать серьёзных последствий при ошибке.

После приобретения БВС не следует сразу переходить к полётам. Важно внимательно изучить инструкцию и начать с использования простых режимов. Постепенно освоив их, можно переходить к более сложным.

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПОЛЁТУ**

1. Перед использованием квадрокоптера важно визуально проверить его на целостность и надёжность узлов (рис. 13.3), а также на правильную установку винтов и моторов.

1.1. Проверить затянутость гаек крепления рамы.

1.2. Проверить затянутость гаек (кошачков) винтов.

1.3. Убедиться, что нет повреждений на основных элементах квадрокоптера.

1.4. Проверить надёжность крепления проводов и при необходимости затянуть торчащие и болтающиеся провода стяжками.



*Рис. 13.3.* Визуальный осмотр квадрокоптера

- 1.5. Проверить целостность защиты.
2. Убедиться, что аккумуляторы Li-Po заряжены.
3. Проверить настройку и уровень заряда пульта дистанционного управления.
4. Обозначить зону пилотирования заранее, предпочтительно в безопасном воздушном пространстве с сеткой, чтобы защитить как пилота, так и окружающих от непредвиденных ситуаций.
5. Расположить зрителей за спиной пилота. И не допускать выхода зрителей в область перед лицом пилота (в зону пилотирования БВС).
6. Включить пульт управления и лишь затем подключать аккумулятор.
7. Соблюдать расстояние не менее 3 м от квадрокоптера при пилотировании на открытой площадке. При наличии специальной ограниченной зоны, огороженной сеткой, можно находиться ближе.

8. Произвести активацию квадрокоптера.
9. Если при включении винтов (ARM) вы слышите какие-либо посторонние звуки, немедленно отключите его (DISARM) и проверьте дрон на наличие неполадок. Возможно, в пропеллеры попали провода или шлейф.
10. Взлёт произвести с земли с ровной площадки.

Пилот дрона должен всегда помнить о времени полёта, на которое рассчитаны батареи аппарата, и не превышать указанное в инструкции время. Несоблюдение рекомендаций производителя может привести к повреждению дрона. При снижении тяги возможна дестабилизация и авария дрона, что может привести к травмам и ущербу. Многие страны уже ввели законы, регулирующие использование квадрокоптеров и запрещающие их запуск вблизи людей из-за несчастных случаев, произошедших в последние годы.

На определённом расстоянии любой квадрокоптер представляет потенциальную опасность для окружающих. Трагедия может быть вызвана не только ошибкой пилота, но и программным сбоем. Соблюдение безопасной дистанции является первым правилом безопасности при каждом запуске дрона. Даже самый лёгкий квадрокоптер способен нанести серьёзные травмы и даже привести к смерти. Для обеспечения безопасности важно не терять дрон из виду и следить за перемещением людей вокруг.

#### ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ПОЛЁТА:

- выполнять все указания преподавателя или лётного инструктора;
- при обучении полётам летать на уровне ниже собственной груди;
- летать рядом с собой на расстоянии, на котором видна ориентация коптера в пространстве;
- при управлении выполнять все движения стиками аккуратно и плавно, избегая резких манёвров, чтобы предотвратить возможность резкого ускорения и потенциального разрушения коптера;

- летать осторожно и выполнять только те манёвры, в которых уверены. Запрещается выполнять фигуры пилотажа, при которых возникают сомнения, а также манёвры, связанные с повышенным риском;
- соблюдать скоростной режим и держать скорость полёта коптера в пределах скорости человека;
- возвращать коптер к месту посадки к рассчитанному времени, избегая полной разрядки аккумулятора в полёте;
- выполнять посадку только на ровную открытую площадку, вдали от препятствий;
- в случае удара о землю или жёсткой посадки следует:
  - прекратить полёт и посадить коптер на землю,
  - выполнить действие DISARM,
  - отключить аккумулятор на коптере,
  - выключить пульт,
  - осмотреть коптер и при необходимости провести ремонт;
- после запланированной посадки выполнить следующие действия:
  - выполнить действие DISARM,
  - отключить аккумулятор на коптере,
  - выключить пульт.

## Аварийные ситуации

Если случилась авария с вашим беспилотником (рис. 13.4), важно знать, как правильно реагировать. Вот несколько шагов, которые следует предпринять после того, как вы заберёте дрон с места падения.

1. Выключите дрон, достаньте батарею и отсоедините пропеллеры.
2. Очистите дрон от грязи и мусора. Используйте стерильные салфетки для удаления песка, пыли и других загрязнений.
3. Поверните винты, чтобы сместить песок и грязь, затем подуйте в каждый или используйте сжатый воздух, чтобы удалить остатки грязи.
4. Проверьте батарею на наличие повреждений корпуса.
5. Снимите все пропеллеры и проверьте их на деформации и трещины. При необходимости замените их новыми.
6. Проверьте все детали стабилизатора и устройства для защиты от падения, убедитесь, что они надёжно закреплены и не повреждены.
7. Осмотрите раму на наличие трещин, включая стойки.
8. Проверьте каждый двигатель и шуруны.
9. После тщательной очистки вставьте обратно батарею.
10. Перезагрузите дрон на ровной поверхности и проверьте его работу.
11. Запустите двигатели без пропеллеров и проверьте, не вибрируют ли они.
12. Подсоедините пропеллеры и повторно запустите двигатели. Проверьте, нет ли вибрации.



Рис. 13.4. Пример аварии беспилотника

13. Поднимите беспилотник на небольшую высоту, чтобы проверить, нет ли непонятных движений или покачиваний.

14. Произведите один полёт на большую дистанцию с низкой скоростью и не слишком высоко над землёй, чтобы убедиться, что всё работает исправно.

Подводя итоги, следует заметить, что правильно подготовленный и внимательно пилотируемый беспилотник может избежать большинства аварийных ситуаций. Хотя вы не можете контролировать программное обеспечение и аппаратуру напрямую, есть несколько важных моментов, на которые стоит обратить внимание, чтобы уменьшить риск аварии и потери квадрокоптера.

1. Предполётная подготовка. Внимательно проверьте все системы и компоненты квадрокоптера перед полётом. Убедитесь, что аккумуляторы заряжены, пропеллеры установлены правильно и нет повреждений или деформаций на корпусе.

2. Бдительность во время полёта. Следите за дроном во время полёта и будьте готовы к реагированию на любые изменения в его поведении. Избегайте полётов в условиях сильного ветра или вблизи препятствий.

3. Обучение и практика. Приобретите необходимые навыки управления квадрокоптером через обучение и практику. Это поможет вам чувствовать себя более уверенно и уменьшит вероятность ошибок во время полёта.

4. Соблюдение правил безопасности. Всегда соблюдайте правила безопасности и законы, регулирующие использование беспилотных аппаратов. Избегайте полётов в запрещённых зонах и будьте внимательны к окружающим.

С учётом этих мер предосторожности и бдительности вы сможете минимизировать риск аварий и обеспечить безопасный и эффективный полёт вашего квадрокоптера.

## Согласование полётов

Законодательство о беспилотных летательных аппаратах (БЛА/БВС) в России предусматривает ряд требований и процедур, которые владельцы и пилоты дронов должны соблюдать для обеспечения безопасности полётов и соблюдения законов.

1. Регистрация БЛА. Любое беспилотное гражданское воздушное судно (БГВС) с максимальной взлётной массой от 0,15 до 30 кг должно быть зарегистрировано. Владельцы должны подать заявление в Федеральное агентство воздушного транспорта в течение 10 рабочих дней с момента приобретения или ввоза БГВС на территорию России. Сейчас это можно сделать достаточно легко через портал «Госуслуги».

2. Согласование полётов. Для осуществления полётов БЛА необходимо получить специальное разрешение на использование воздушного пространства. Зональный центр Единой системы организации воздушного страхования выдаёт разрешение на полёты.

3. Разрешения на полёты над населёнными пунктами. Для запуска БАС над населёнными пунктами требуется разрешение от органов местного самоуправления. Заявление на установление режима полёта следует подать за сутки до предполагаемого полёта в зональный центр по организации воздушного движения, а за 2 ч до вылета внешний пилот должен связаться с диспетчером.

4. Запретные зоны для полётов. Использование БАС полностью запрещено в определённых местах, таких как *аэропорты, вокзалы, опасные производства, военные объекты и стратегические государственные объекты*.

Соблюдение этих требований и процедур является **обязательным** для всех владельцев и пилотов БВС в России и направлено на обеспечение безопасности полётов и соблюдение законодательства.



## ПРОФЕССИЯ

Профессия **оператора беспилотных летательных аппаратов** становится всё более востребованной в современном мире. Операторы БВС ответственны за управление дронами и квадрокоптерами, выполняя различные задачи, начиная от аэрофотосъёмки и видеосъёмки до геодезических работ и наблюдения за инфраструктурой (рис. 13.5). Эта профессия требует тщательной подготовки и профессиональных навыков в управлении дронами, а также исполнения законодательства и правил полётов.

Операторы БВС должны обладать умением анализировать данные, полученные от дронов, и принимать решения на основе этих данных. Они также должны быть внимательными к деталям и способными реагировать на непредвиденные ситуации во время полётов. С учётом растущего спроса на услуги, связанные с беспилотными летательными аппаратами, профессия оператора БВС обещает быть важной и перспективной в будущем.



Рис. 13.5. Оператор БВС за работой



### Вопросы и задания

1. Какие действия следует предпринять после аварии с беспилотным летательным аппаратом?
2. Перечислите меры безопасности, которые необходимо соблюдать при подготовке к полёту и непосредственно во время полёта БВС.
3. Что делать, если дрон вышел из строя во время полёта?
4. Перечислите меры безопасности, которые следует соблюдать при хранении и зарядке аккумуляторов Li-Po.
5. Какие последствия могут возникнуть при неправильной подготовке к эксплуатации БВС?
6. Какие требования предъявляются к операторам беспилотных летательных аппаратов в России?

## § 14. ВИЗУАЛЬНОЕ ПИЛОТИРОВАНИЕ

В данном параграфе рассмотрим визуальное пилотирование БВС — способ управления, требующий от пилота не только технической грамотности, но и чёткого визуального восприятия окружающей обстановки. Разберём ключевые аспекты визуального пилотирования — от основных принципов безопасности до методов управления и оптимизации полёта квадрокоптера в условиях прямой видимости.

Прежде всего поговорим о различных методах пилотирования.

**Визуальное пилотирование** — контроль местоположения и ориентации летательного аппарата оператором, происходящий при непосредственном визуальном контакте. Пилотирование происходит в зоне прямой видимости.

Именно зоной видимости данный метод отличается от пилотирования с использованием вспомогательных средств, где контроль местоположения и ориентации БВС оператором происходит при наличии телеметрии и/или видеосигнала с курсовой камеры (FPV). Соответственно, зона пилотирования значительно увеличивается.

Далее поговорим о различных аспектах визуального пилотирования и управления БВС в целом.

## Органы управления

В типовом варианте квадрокоптер управляется при помощи пульта дистанционного управления, схема которого приведена на рисунке 14.1. Левый стик отвечает за регулирование высоты полёта и вращение квадрокоптера вокруг своей оси, в то время как правый стик контролирует крен и тангаж для определения направления полёта и управления наклоном.



Рис. 14.1. Схема пульта ДУ

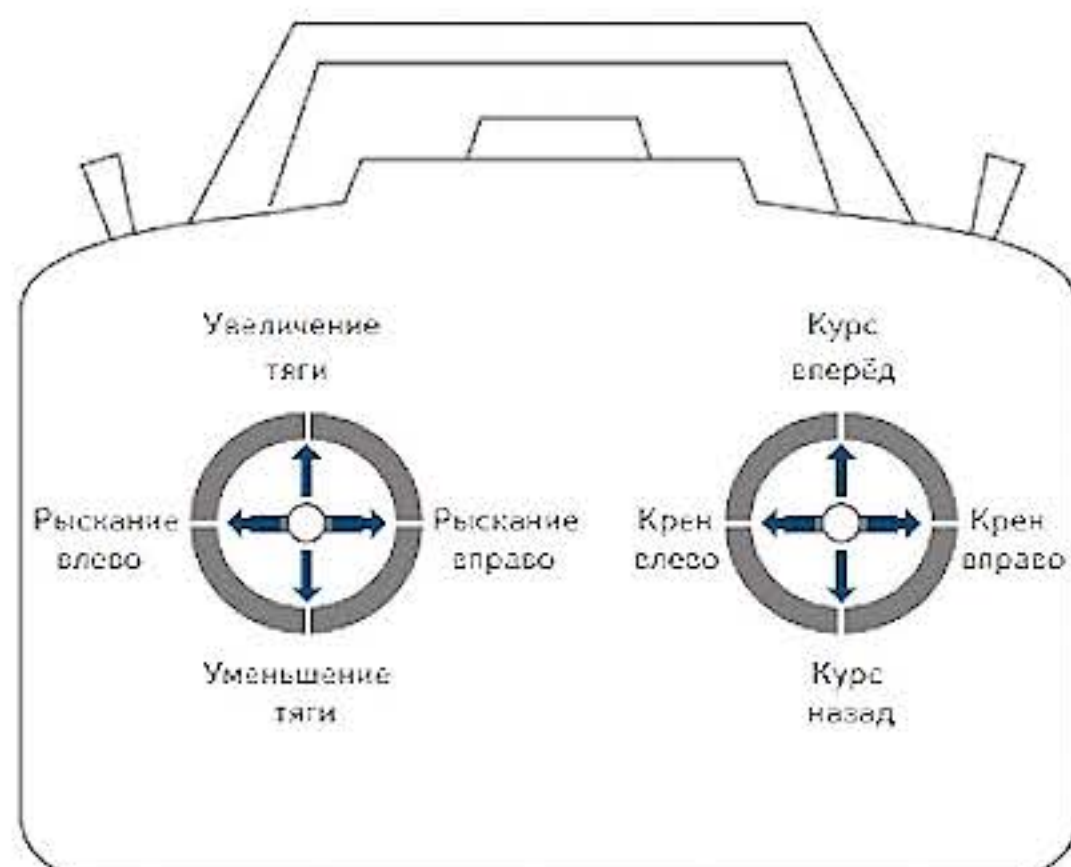


Рис. 14.2. Назначение элементов управления

Набор двух/трёхпозиционных тумблеров, кнопок и слайдеров для назначения  
различных функций и режимов



Рис. 14.3. Назначение дополнительных элементов управления

Квадрокоптер в пространстве перемещается по трём осям: тангаж (Pitch), крен (Roll), рыскание (Yaw). На каждую ось есть свой канал в пульте управления, плюс отдельный канал на газ (Throttle).

Назначение элементов управления, согласно рисунку 14.2, следующее.

Левый стик

1. Увеличить газ (обороты двигателя). При перемещении вверх БЛА взлетает.
2. Уменьшить газ. Торможение и снижение дрона.
3. Рыскание влево. Вращение дрона вокруг оси против часовой стрелки.
4. Рыскание вправо. Вращение дрона вокруг оси по часовой стрелке.

Правый стик

1. Крен (наклон) влево.
2. Крен (наклон) вправо.
3. Тангаж (наклон) вперёд.
4. Тангаж (наклон) назад.

В ручном управлении через стики на пульте присутствуют дополнительные элементы (рис. 14.3).

Так, например, на переключатель SwC (второй справа) назначаются вспомогательные режимы управления:

- ручной режим (тумблер от себя) — полностью передаёт контроль газа пилоту, что требует от него постоянной корректировки. Рекомендуется опытным пилотам;
- режим удержания высоты (тумблер по центру) — обеспечивает удержание заданной высоты при нахождении стика газа в центральном положении, что

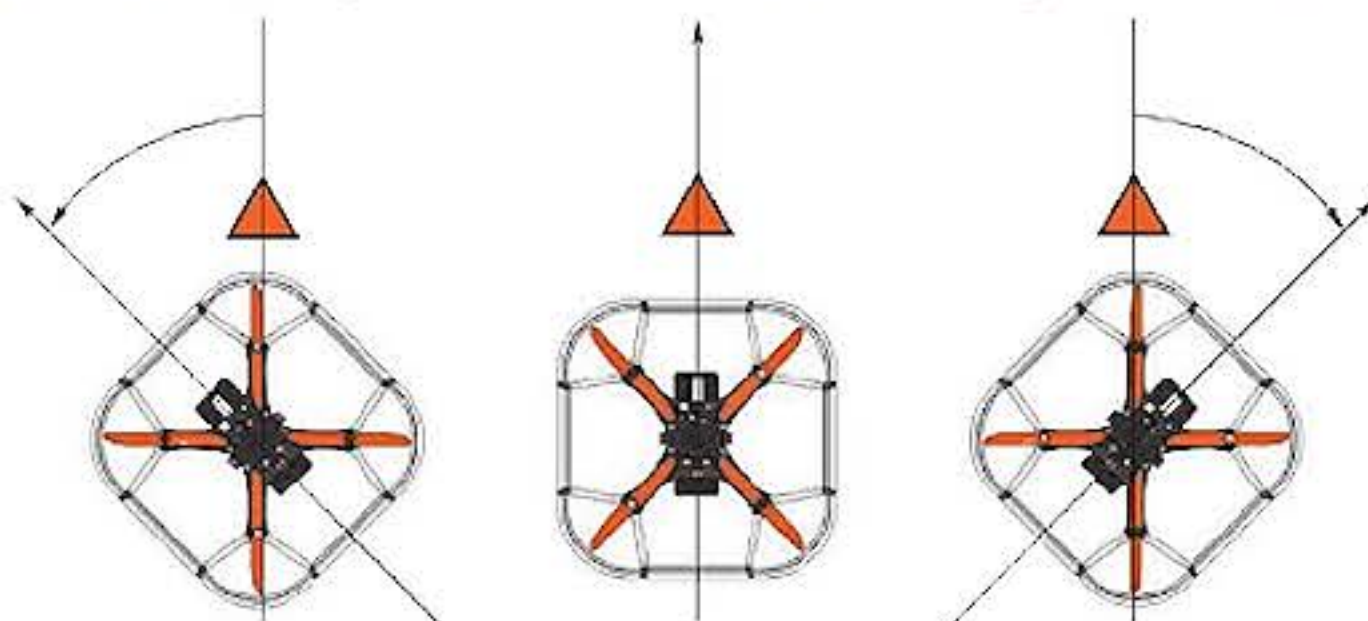


Рис. 14.4. Всенаправленный режим пилотирования

исключает постоянную корректировку газа со стороны пилота и обеспечивает более плавное пилотирование. Перевод стика газа в нулевое положение исключает падение дрона и ведёт лишь к сбросу высоты;

- режим удержания высоты и курса (тумблер к себе) — обеспечивает удержание заданной высоты и сохраняет оси перемещения относительно первоначальной ориентации дрона. Рекомендуется начинающим пилотам.

Режим удержания высоты и курса ещё называют Headless Mode (всенаправленный режим, рис. 14.4). Преимущества режима Headless Mode заключаются в отсутствии необходимости контроля поворота квадрокоптера по вертикальной оси (Yaw) и уровня газа.

Нет необходимости запоминать, куда и на сколько был выполнен поворот по рысканию. Облегчает управление ЛА начинающим пилотам и позволяет привыкнуть к его поведению в воздухе.

## Подготовка к полёту

В процессе подготовки требуется:

- проверить квадрокоптер и пульт РУ на исправность;
- соблюдать все пункты техники безопасности, в том числе убедиться в отсутствии людей в предполагаемой полётной зоне;
- предусмотреть и отработать действия в экстренных ситуациях. При необходимости пройти инструктаж.

Рекомендуется:

- по возможности первые навыки пилотирования получать в симуляторе. Это поможет избежать лишних поломок и ремонта оборудования;
- первые полёты проводить в режиме удержания высоты и курса в присутствии наставника/наблюдателя;
- обеспечить удобство оператора.

Техника безопасности была подробно изложена в § 13, однако напомним, что перед каждым вылетом необходимо тщательно проверить все системы БВС. Небрежное отношение к проверкам может привести к разрушению БВС или травмам. Перед взлётом, даже если не было никаких происшествий, следует выполнить следующие проверки.

1. Пропеллеры: убедитесь, что они правильно установлены и свободно вращаются. Проверьте их на наличие повреждений, зазубрин или трещин. При необходимости замените повреждённые пропеллеры и убедитесь, что гайки пропеллеров надёжно затянуты.

2. Рама и защитные элементы: проверьте их на наличие повреждений и убедитесь, что все винты затянуты. При необходимости замените или отремонтируйте повреждённые детали.

3. Аккумуляторы: убедитесь, что они не имеют механических повреждений, вздутий или запаха химической реакции. При малейших подозрениях на повреждения не используйте аккумулятор и замените его. Если всё в порядке, проверьте заряд аккумуляторов пульта управления и самого БВС. Аккумулятор БВС подключать к плате непосредственно перед вылетом.

4. Полезная (целевая) нагрузка: если используется, проверьте её установку, фиксацию и отсутствие повреждений.

5. Провода: убедитесь, что они не выступают и надёжно закреплены. При необходимости зафиксируйте и убедитесь, что пропеллеры не соприкасаются с ними.

Для проведения быстрого технического обслуживания БВС между полётами целесообразно подготовить следующие компоненты:

- сменные аккумуляторы для пульта и БВС;
- зарядное устройство (при наличии места подключения);
- мультиметр или другой измеритель напряжения;
- запасные пропеллеры и элементы защиты;
- изоленту, ножницы, набор отвёрток;
- ленту или скотч для обозначения зоны полётов.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Оказывается, для стандартной компоновки пульта управления БВС выработаны различные техники удержания стиков. Эти методы имеют свои особенности и преимущества. Давайте рассмотрим каждую из них более подробно.

- Геймпадная техника (thumb grip, рис. 14.5): при этой технике большие пальцы находятся сверху стиков, и движения пальцев часто кажутся неуклюжими и дёрганymi. Она часто используется новичками или теми, кто предпочитает более прямое управление, например гонщиками, которым требуется совершать резкие и быстрые действия.
- Щипковая техника (pinch grip, рис. 14.6): здесь большие и указательные пальцы держат верх стика, что обеспечивает более контролируемые и плавные движения. Эта техника позволяет лучше чувствовать реакцию квадрокоптера и более точно управлять им, что делает её предпочтительной для опытных пилотов и тех, кто стремится к высокой точности. Также эту технику иногда используют пилоты-фристайлеры, так как такой хват позволяет им лучше контролировать управление и плавность траектории движения, что важно, например, для видеосъёмки. Ещё эта техника интересна тем, что при таком расположении снимается мышечная нагрузка на большие пальцы, следовательно, снижается риск получения тремора в случае переутомления или при нервной ситуации.
- Упорная техника (hybrid grip): при этой технике указательные пальцы находятся под корешком стика, а большие пальцы сверху, создавая прочную опору для точных движений. Это обеспечивает лучший контроль над квадрокоптером и позволяет делать мелкие и точные манёвры без лишних рывков или сдвигов.

*Рекомендация:* для большей точности и контроля над квадрокоптером рекомендуется использовать щипковую или упорную технику. Эти методы обеспечивают более плавные и точные движения, что особенно важно при выполнении сложных манёвров или полёте в ограниченном пространстве. Однако выбор техники может зависеть от индивидуальных предпочтений и стиля управления каждого пилота.



Рис. 14.5. Геймпадная техника управления



Рис. 14.6. Щипковая техника управления

## Базовые действия

Основным назначением визуального пилотирования ввиду малой дальности зоны полётов является прежде всего обучение пилотированию БВС. Предлагаем к ознакомлению перечень базовых упражнений.

### *Включение/выключение*

Процедура включения — последовательность действий после установки контера на взлётную площадку перед взлётом:

- пульт управления — включить;
- заряд батареек пульта — проверить, при необходимости заменить;
- Li-Po-аккумулятор на борту контера подключить;
- выполнить команду ARM.

Для включения двигателей квадрокоптера выполняется действие ARM (англ. «вооружить») — режим активации моторов квадрокоптера. После активации моторов их рабочее состояние соответствует минимальным значениям.

Этот режим является опасным, так как контер реагирует на движение стиков и полностью готов к взлёту. Активировать режим необходимо непосредственно перед взлётом, когда будет совершена предполётная проверка всех систем и соблюдена техника безопасности перед полётом. В типовом варианте это действие выполняется наклоном стика Yaw вправо вниз в течение 3 с;

- газ включить на 10%.

Процедура выключения:

- газ перевести в минимум;
- выполнить команду DISARM.

**DISARM** (англ. «разоружить») — режим деактивации (отключения) моторов. После деактивации моторов их рабочее состояние соответствует нулевым значениям, регуляторы оборотов находятся в режиме ожидания и питание на моторы не подаётся. БВС не реагирует на движение стиков управления. В типовом варианте команда DISARM выполняется наклоном стика Yaw влево вниз в течение 3 с;

- газ — включить на 10% для проверки, что DISARM прошёл успешно;
- аккумулятор на борту контера отключить;
- пульт управления выключить.

### *Взлёт и посадка*

- Сначала следует освоить аккуратный взлёт и безопасную посадку (рис. 14.7).

На первых этапах рекомендуется проводить упражнения в режиме удержания высоты (тумблер SwC по центру), что поможет привыкнуть к углам поворота квадрокоптера. Вначале избегайте резких изменений по оси рыскания (Yaw), чтобы избежать путаницы в осях и углах наклона. Плавно увеличивайте газ, пока квадрокоптер не достигнет высоты 0,5–1 м. Наблюдение сверху облегчит определение его положения. Осторожно снижайте газ до тех пор, пока контер не коснётся поверхности.



Рис. 14.7. Взлёт/посадка

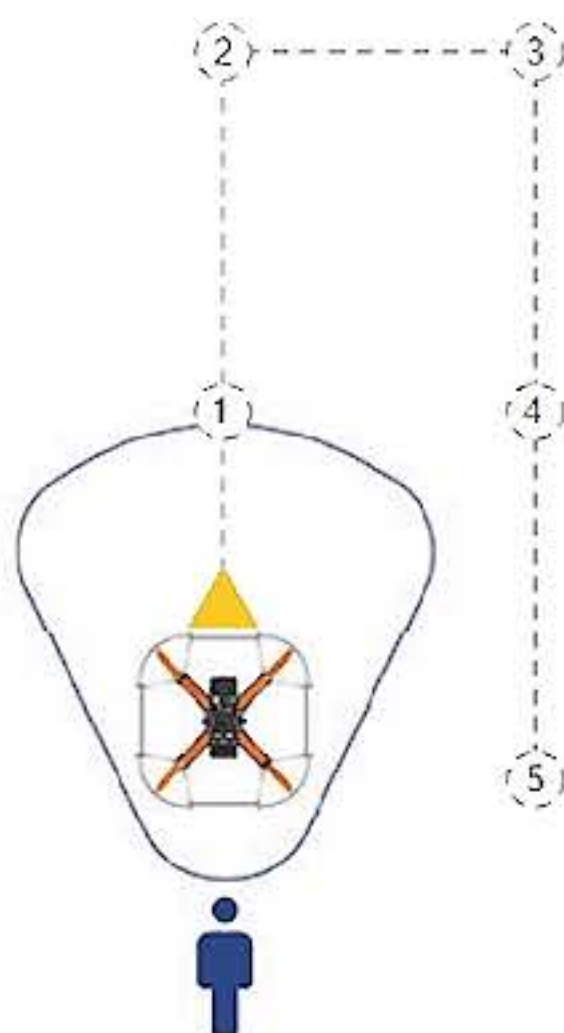


Рис. 14.8. Взлёт и следование

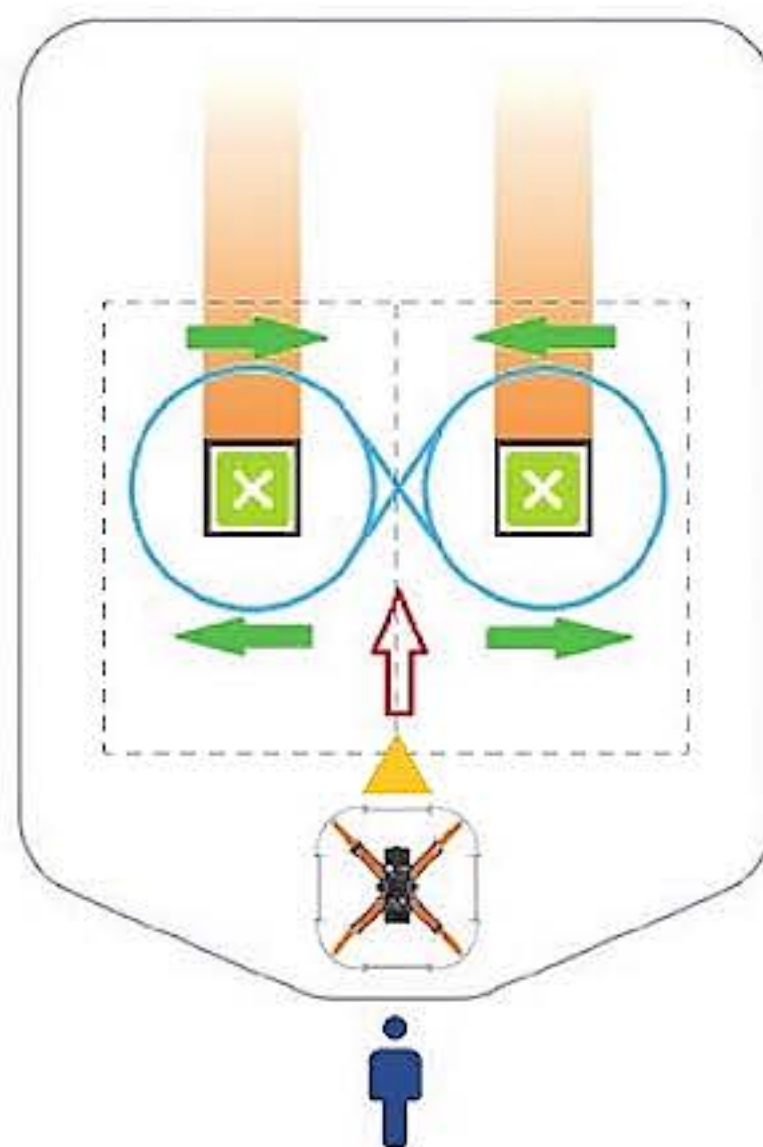


Рис. 14.9. «Восьмёрка» без рыскания

- Повторяйте эти действия, пока не освоите скорость снижения и взлёта, обращая особое внимание на аккуратность при посадке.

#### *Взлёт и следование*

Спланируйте простой маршрут (рис. 14.8). Затем:

- выполните взлёт на 0,5–1 м в режиме удержания высоты;
- плавно отклоните правый стик от себя (тангаж), чтобы контер начал двигаться вперёд. Когда он достигнет нужной дистанции, верните стик в центральное положение, чтобы остановить его движение, и подойдите на безопасное расстояние;
- поверните квадрокоптер вокруг его оси левым стиком (рыскание), направив носовую часть в следующую точку маршрута. Вы также поворачиваетесь в этом направлении;
- повторяйте эти действия, пока не достигнете запланированного места посадки.

Повторяйте упражнение до тех пор, пока вы не сможете свободно идти по маршруту, удерживая квадрокоптер на расстоянии 2–3 м и одновременно контролируя его полёт.

#### *«Восьмёрка» без рыскания*

- В полётной зоне установите две метки (некрупные предметы) для последующего облёта.
- Выполните взлёт на 0,5–1 м в режиме удержания высоты.
- Выполняйте облёт препятствий вокруг меток восьмёркой, не используя при этом повороты вокруг оси (БВС всегда смотрит в одну сторону) (рис. 14.9).

- Повторяйте действия, пока не будет получаться выполнять облёт достаточно быстро.

Оператор при выполнении находится на месте и контролирует положение на расстоянии.

В процессе работы стиком газа будут незначительные отклонения по рысканию. Следует контролировать этот момент и периодически выравнивать контер носовой частью от оператора.

#### *«Восьмёрка» с рысканием*

- В полётной зоне установите две метки (некрупные предметы) для последующего облёта.
- Выполните взлёт на 0,5–1 м в режиме удержания высоты.
- Выполняйте облёт препятствий вокруг меток восьмёркой, поворачиваясь в каждой точке маршрута.
- Повторяйте действия, пока не будет получаться выполнять облёт достаточно быстро.

Оператор при выполнении находится на месте и контролирует положение на расстоянии.

В процессе работы стиком газа будут незначительные отклонения по рысканию. Следует контролировать этот момент и периодически выравнивать контер носовой частью от оператора.

## **Во время полёта**

В случае тестовых/обучающих полётов целесообразно принять во внимание следующие указания.

1. Во время полёта квадрокоптера следуйте чётким указаниям преподавателя или лётного инструктора.

2. Учебные полёты проводите строго в обозначенной зоне и не выходите за её пределы. В случае нарушения зоны немедленно верните контер в предписанное пространство или совершите посадку на месте, отключите двигатели и пульт дистанционного управления и вернитесь на исходную позицию.

3. Во время обучения лётным навыкам летайте на уровне ниже своего роста и рядом с собой на расстоянии, при котором видна ориентация контера в пространстве. При сомнениях в ориентации совершите немедленную посадку, отключите двигатели и пульт дистанционного управления и вернитесь на исходную стартовую позицию.

4. При управлении контером избегайте резких движений стиков. Все движения выполняйте плавно и аккуратно, стараясь не отрывать пальцы от стиков управления.

5. Осуществляйте лётную практику с максимальной осторожностью, выполняя только те элементы пилотирования, в которых уверены. Избегайте выполнения фигур пилотажа, если существует даже небольшая неуверенность, и избегайте фигур, связанных с высоким риском аварийности.

6. Соблюдайте скоростной режим, держа скорость полёта контера в пределах скорости человека. Обратите внимание на инерцию контера и выполняйте плавные движения стиков управления для контроля над ним.

7. Возвращайте контер на место посадки к рассчитанному времени и не допускайте полной разрядки аккумулятора в полёте.

8. Посадку осуществляйте только на ровную открытую площадку, удалённую от препятствий.

9. После запланированной посадки выполните действия в соответствии с выключением контера.



### Вопросы и задания

1. Что такое визуальное пилотирование квадрокоптера и в чём заключаются его особенности?
2. Какие преимущества имеет режим удержания высоты и курса (Headless Mode)?
3. Перечислите рекомендации по использованию различных техник управления при визуальном пилотировании.
4. Какие действия необходимо выполнить для аккуратного взлёта и посадки квадрокоптера?
5. Определите, в чём заключается важность выполнения упражнений для освоения визуального пилотирования квадрокоптера.

## § 15. ОСНОВЫ FPV-ПОЛЁТОВ

В отличие от визуального пилотирования, FPV (First Person View) — это система управления полётами от первого лица. Технология FPV позволяет получать видеонаблюдение с БВС по дополнительному видео- и радиоканалу в режиме реального времени. Пилот, управляющий дроном, видит изображение с видеокамеры через устройства отображения (телефоны, мониторы, FPV-шлем/очки). Основное предназначение технологии FPV — возможность управлять беспилотником на больших расстояниях и в режиме реального времени наблюдать за тем, что захватывает камера (рис. 15.1).

Эту технологию можно использовать как для массовых мероприятий (дрон-рейсинг), так и для решения задач в профессиональной сфере. Также она используется органами правопорядка и спасательными службами в местах, где присутствие человека связано с высоким риском для жизни, и для осмотра объектов перед принятием мер при возникновении чрезвычайных ситуаций. Полезна для осмотра объектов в труднодоступных зонах, таких как опоры ЛЭП, ветрогенераторы, трубы ТЭС.

При этом стоит отметить, что в случае FPV беспилотное воздушное судно эксплуатируется в режиме ACRO. **ACRO-режим** (от слова «акробатический») в контексте управления квадрокоптером представляет собой один из самых сложных и продвинутых режимов полёта. В этом режиме коптер предоставляет пилоту полную свободу управления, не используя автоматические стабилизации. Ниже приведены ключевые особенности.

**Полное управление.** Пилот полностью контролирует углы наклона (Roll), крена (Pitch) и рыскания (Yaw) БВС без вмешательства систем автоматической стабилизации.

**Высокая манёвренность.** Этот режим позволяет выполнять сложные манёвры, такие как флипы, бочки и перевороты, что недоступно в стабилизированных режимах.

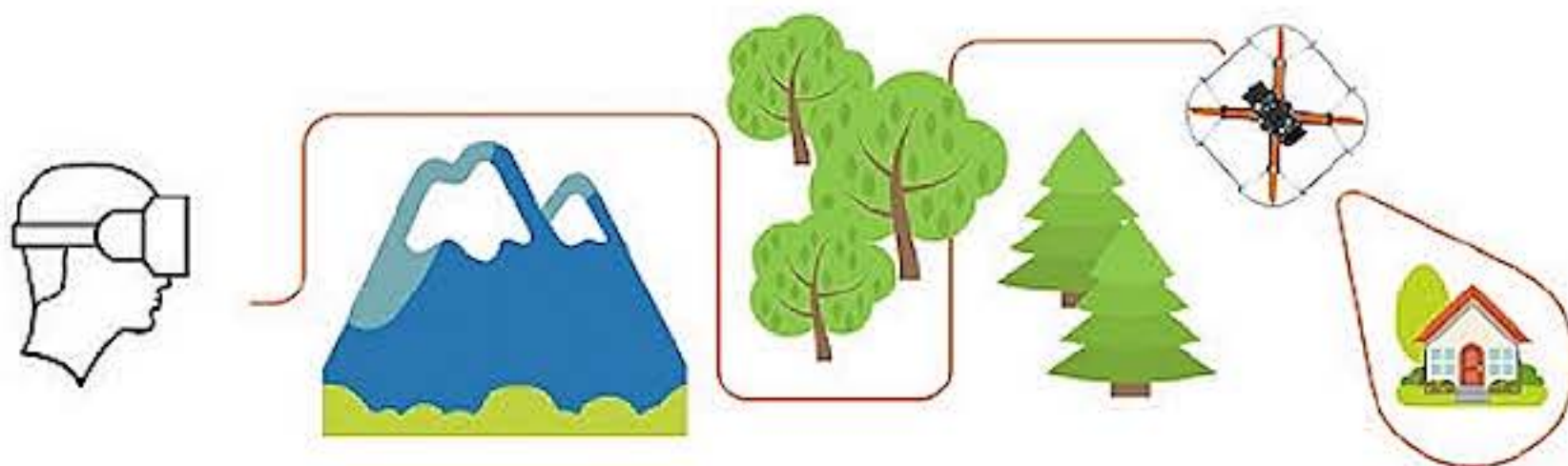


Рис. 15.1. Применение технологии FPV

**Без автокоррекции.** В отличие от стабилизированных режимов (например, Angle или Horizon), квадрокоптер не выравнивается автоматически при отпускании стиков. Это означает, что БВС будет продолжать движение в заданном направлении, пока пилот не компенсирует его движение.

**Непрерывный контроль углов.** В ACRO-режиме стик отвечает за скорость изменения углов, а не за фиксированные позиции, что требует постоянного контроля и корректировки со стороны пилота.

## Устройство системы FPV

Система FPV многокомпонентна и реализована с использованием нескольких технологий.

**Захват изображения:** обеспечение захвата изображения посредством видеокамеры. Камеры, установленные на квадрокоптер, могут различаться по габаритам и характеристикам. Часто используются микрокамеры с наклонно-поворотным механизмом и камеры, установленные на стабилизирующий подвес. Основные показатели для FPV-камер включают угол обзора, разрешающую способность и диафрагму, время задержки матрицы.

**Беспроводная связь:** передача и приём сигнала для вывода картинки и основной информации на экран. Передача видеопотока осуществляется с помощью передатчика и приёмника (рис. 15.2). Основные характеристики включают мощность передатчика, влияющую на максимальную дальность сигнала, и несущую частоту. Большинство передатчиков работают в диапазонах 900 МГц (0,9 ГГц), 1,2 ГГц, 2,4 ГГц, 5,8 ГГц и по технологии Wi-Fi.



Рис. 15.2. Подсистема беспроводной связи FPV

### 2,4 ГГц (АНАЛОГОВОЕ)

Частота 2,4 ГГц менее популярна для FPV из-за высокой чувствительности аналогового сигнала к помехам, размытию и шумам. Это происходит из-за большого количества приборов, работающих в этом диапазоне (Wi-Fi-устройства, Bluetooth, пульты дистанционного управления и т. д.). Как следствие, сигнал будет неустойчивым, а изображение — некачественным.

Преимущество — цена и доступность, дальность сигнала и малая задержка (низкий ping).

### WI-FI НА 2,4 ГГц (ЦИФРОВОЕ)

Наиболее универсальная технология передачи данных для полётов в FPV-режиме. В качестве преимущества можно отметить качество изображения (HD, 1920×1080).

Минусы:

- радиус передачи сигнала ограничен зоной Wi-Fi;
- задержка изображения увеличивается с удалением БВС от пульта управления;
- высокая стоимость оборудования (камера/передатчик/шлем).

### 5,8 ГГц (АНАЛОГОВОЕ)

Диапазон 5,8 ГГц наиболее подходит для FPV-пилотирования, обеспечивая передачу видеоизображения с хорошей пропускной способностью на значительные расстояния. Задержка передачи данных минимальна и практически не заметна, что оптимально для скоростных полётов. Однако различные препятствия, такие как стены, существенно снижают дальность надёжной работы видеоканала, поэтому эта частота чаще используется на небольших квадрокоптерах.

В зависимости от несущей частоты сигнал принимается приёмником, частота которого должна соответствовать частоте передатчика. Преобразованный видеосигнал передаётся на экран монитора или очков. Важно понимать, что приёмников большой дальности не существует, поскольку диапазон сигнала зависит от мощности передатчика и антенны.

**Обработка данных:** обработка полученных данных и дополнение их информацией с датчиков (скорость полёта, высота, состояние аккумулятора и т. д.) для реализации сопряжённой технологии OSD.

**OSD (On-Screen Display — в пер. с англ. — информация на экране, т. е. поверх основной картинки)** — это технология вывода телеметрической информации на видеопоток с последующим отображением на дисплее очков, планшета или телефона.

OSD может быть как встроенной в оборудование квадрокоптера, так и представлять собой отдельную внешнюю плату, которая позволяет контролировать различные параметры БВС в режиме реального времени. OSD для полётов в FPV не обязательна, но она служит полезным инструментом, позволяющим следить за состоянием БВС и избегать различных проблем в процессе полёта.

Ниже приведена основная информация, которую предоставляет OSD:

- скорость полёта: текущая скорость квадрокоптера;
- высота: текущая высота над уровнем земли;
- состояние аккумуляторной батареи: уровень заряда и напряжение батареи;
- линия горизонта (помогает выравнивать коптер, опираясь на положение линии);
- режим полёта: текущий режим работы квадрокоптера (например, ручной, автоматический и т. д.).

Использование OSD помогает пилоту в реальном времени контролировать важные параметры полёта, что способствует безопасной и эффективной эксплуатации беспилотника.

## Просмотр изображения с камеры

**1. Приём видеоизображения по Wi-Fi на телефон** — в этом варианте телефон обычно крепится к пульта дистанционного управления для удобства просмотра и управления. Однако этот способ доступен только в случае использования цифровой FPV-системы.

**2. FPV-очки и FPV-шлем** — эти устройства принимают видеопоток в реальном времени и отображают его на встроенном экране, создавая реалистичное погружение в полёт, несравнимое с визуальным управлением БВС. Чаще всего используются в гоночных дронах.

**3. Монитор** — небольшой экран с козырьком для защиты от боковых солнечных лучей. Монитор может быть установлен на пульт дистанционного управления или использоваться как отдельное устройство. Обычно не применяется в гоночных дронах.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Для корректной работы типовой FPV-системы необходимо настроить видеопередатчик и видеоприёмник на одну частоту. Для возможности групповых полётов диапазон 5,8 ГГц разбит на подчастоты.

Видеопередатчик и видеоприёмник настраиваются согласно сетке частот при помощи выбора определённой группы (Band) и канала (CH) (рис. 15.3).



| Band/CH | CH 1 | CH 2 |
|---------|------|------|
| A       | 5865 | 5845 |
| B       | 5733 | 5752 |

| Band/CH | CH 1 | CH 2 |
|---------|------|------|
| A       | 5865 | 5845 |
| B       | 5733 | 5752 |

Рис. 15.3. Настройка приёмника и передатчика по сетке частот

Для настройки видеопередатчика необходимо настроить его частоту (при помощи выбора группы и канала) и мощность работы. Высокая мощность обеспечивает более стабильный сигнал и хорошую дальность передачи сигнала, но может привести к помехам на устройствах, работающих на смежных частотах.

Например, на видеопередатчике Eachine VTX03 (рис. 15.4) для индикации параметров служит дисплей, а для настройки и переходов между режимами — кнопка.

*Составные части передатчика*

1. Разъём для подключения антенны.
2. Кнопка для настройки.
3. Дисплей для отображения настроек.

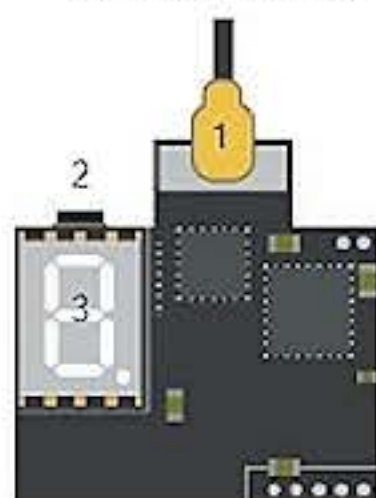


Рис. 15.4.  
Видеопередатчик  
Eachine VTX03

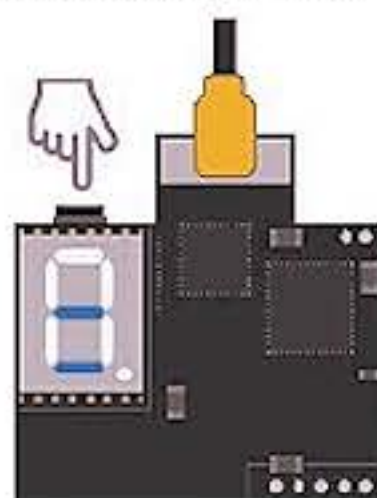


Рис. 15.5. Настройка видеопередатчика Eachine VTX03

|   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|---|------|------|------|------|------|
| A | 5865 | 5845 | 5865 | 5845 | 5845 |
| B | 5733 | 5752 | 5733 | 5752 | 5752 |
| E | 5733 | 5752 | 5733 | 5752 | 5752 |

|  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
|  | 0 | — | = | ≡ |
|--|---|---|---|---|

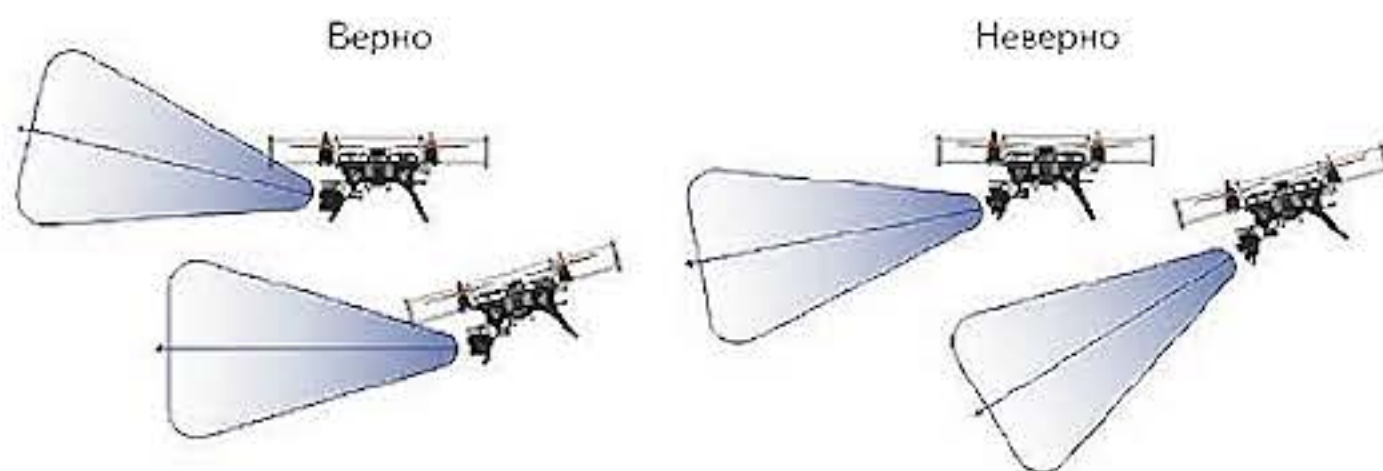
*Режимы настройки* (рис. 15.5)

- Режим настройки канала — кратковременное нажатие.
- Режим настройки группы — нажатие в течение 2 с.
- Режим настройки мощности — нажатие в течение 5 с.

**Настройка FPV-шлема** аналогична настройке передатчика, за вычетом некоторых различий в органах управления.

- **SEARCH** — автоматический поиск сигнала. Поиск остановится на канале с допустимым качеством сигнала. В процессе поиска все остальные кнопки не работают. Следует обратить внимание, что автопоиск не всегда может попасть на необходимую частоту, и этот момент необходимо контролировать либо выбирать группу и канал вручную.
- **POWER** — удержание кнопки в течение 5 с включает либо выключает шлем.
- **CH+** — в стандартном режиме переключает каналы (CH) от 1 до 8 согласно таблице частот видеоприёмника, расположенного в шлеме. В режиме меню соответствует значению «-» (минус).
- **Band+** — в стандартном режиме переключает группу (Band) от A до R согласно таблице частот видеоприёмника, расположенного в шлеме. В режиме меню соответствует значению «+» (плюс).
- **Menu** — удержание в течение 2 с открывает меню настроек. В режиме меню соответствует выбору следующей опции настроек.
- **Band+/CH+** — полностью дублируют функции ранее описанных кнопок Band+ и CH+.
- Кроме инструментов управления, на корпусе имеется разъём для зарядки, индикация зарядки и разъём для подключения антенны.

**Настройка угла наклона камеры** — играет важную роль в оптимизации полётной оныта и достижении желаемых результатов. Угол наклона камеры влияет на обзор и устойчивость дрона в полёте (рис. 15.6). Для агрессивного полёта и более высокой скорости часто выбирают более высокий угол наклона, что позволяет дрону меньше тормозить воздух и увеличить скорость вперёд. С другой стороны, для более плавного и контролируемого полёта, особенно при съёмке видео или фотографировании, часто используют более низкий угол наклона камеры. Этот параметр следует настраивать в зависимости от конкретных целей полёта и предпочтений пилота, чтобы достичь оптимального баланса между скоростью и манёвренностью.



*Рис. 15.6. Настройка угла наклона камеры*

## Безопасность при FPV-пилотировании

Основные правила техники безопасности пилотирования (подробнее см. § 13)

### 1. Предполётная подготовка:

- проверьте состояние всех компонентов и функциональность дрона;
- убедитесь в исправности аккумулятора и зарядки.

### 2. Обеспечение безопасности при подготовке к вылету:

- выберите безопасное место для запуска, избегая людей и животных;
- проверьте связь между пультом дистанционного управления и дроном.

### 3. Подготовка зоны полётов:

- для FPV-пилотирования выберите просторную зону;
- убедитесь, что площадка свободна от препятствий и безопасна для полётов.

### 4. Чек-лист:

- составьте список действий и проверок перед полётом;
- проверьте все пункты чек-листа перед запуском.

### 5. Обеспечение безопасности перед взлётом:

- убедитесь, что вокруг вас нет посторонних;
- проверьте направление ветра и убедитесь, что дрон готов к взлёту.

### 6. Обеспечение безопасности во время полёта:

- постоянно контролируйте состояние дрона и окружающую обстановку;
- сохраняйте визуальный контакт с дроном, если это возможно.

## ПРОСТОРНАЯ ЗОНА ДЛЯ ПИЛОТИРОВАНИЯ

Полёты в режиме FPV связаны с высоким риском потери ориентации и столкновения с объектами, так как внимание сосредоточено на экране (телефона, очков). Для полётов в FPV-режиме выбирайте просторные и открытые площадки вдали от зданий, линий электропередачи, вышек сотовой связи, мест скопления людей, железнодорожных и автомобильных дорог, а также любых источников сигнала или электромагнитного излучения.

## РАССТОЯНИЕ

Из-за особенностей линз камер, особенно с эффектом рыбьего глаза, восприятие расстояния при FPV-полётах отличается от визуального пилотирования. Необходимо привыкнуть к размерам БВС и дистанции до объекта. Объект может казаться дальше или ближе, чем на самом деле. Летайте осторожно и на низкой скорости, чтобы привыкнуть к ощущению расстояния.

## ПОЛЁТЫ ЗА ПРЕДЕЛЫ ВИДИМОСТИ

Полёты за пределы видимости представляют высокую опасность, так как видеоизображение с камеры БВС ограничивает представление о реальности и может исказить восприятие высоты, скорости и направления. Увеличиваются риски столкновения с объектами, неразличимыми на экране, такими как провода. Не летайте за пределами видимости, если не уверены в полной безопасности окружения.

## СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ

При полётах на высокой скорости на пути могут возникнуть неожиданные препятствия, и риск столкновения возрастает, так как вы можете не успеть остановиться. При первых полётах лучше держаться низкой скорости. Помните о тормозном пути БВС и выполняйте торможение заранее, чтобы избежать аварий.

## Практические упражнения пилотирования

Для получения опыта пилотирования предложены следующие упражнения, рассчитанные на выполнение в режимах без удержания высоты и курсовой стабилизации.

### Упражнение 1: взлёт и посадка

Основной навык, который необходимо освоить, — это правильные взлёт и посадка.

#### *Взлёт*

- Плавно подвигайте стик газа вперёд до тех пор, пока БВС не начнёт подниматься. Звук двигателей при этом немного изменится.
- Увеличьте тягу плавным движением стика, чтобы БВС поднялся на высоту 30–40 см.

#### *Посадка*

- Плавно уменьшайте газ, снижая БВС над поверхностью.
- Не убирайте стик газа полностью вниз, так как это приведёт к резкому падению.

Держите пульт двумя руками, используя пальцы обеих рук для управления стиками. Левая рука — стик газа и поворот вокруг оси, правая — направление вперёд-назад-влево-вправо. Выполняйте движения стиками плавно и без резких движений. Повторяйте упражнение «взлёт-посадка» не менее 10 раз, постепенно увеличивая высоту взлёта до 1,5 м. Подробнее с техниками удержания пульта управления можно ознакомиться в § 14.

### Упражнение 2: зависание в воздухе (кормовой частью дрона к себе / боком к себе / носом к себе)

Навык удержания БВС в воздухе на одной высоте и в одной точке вручную без помощи режима поддержания высоты важен для стабильного управления.

#### *Зависание*

- Поднимите БВС на высоту 1–1,5 м.
- Контролируйте высоту, двигая стик газа вверх-вниз в течение 30 с, не допуская движения влево-вправо.
- При отклонении БВС корректируйте положение правым стиком (вперёд-назад, влево-вправо).

#### *Стабилизация*

- Работайте левым стиком газа и правым стиком для стабилизации БВС в одном положении (рис. 15.7).

#### *Усложнение*

- Выполните аналогичные манёвры, учитывая, что поворот вокруг вертикальной оси осуществляется стиком, который также управляет газом. Поворачивайте БВС на 90°/180° (боком / носом к себе) против часовой стрелки, фиксируя его на одной высоте и в одном положении в течение 30 с. Затем поворачивайте БВС обратно по часовой стрелке на 90°/180° и выполните мягкую посадку в точку взлёта.

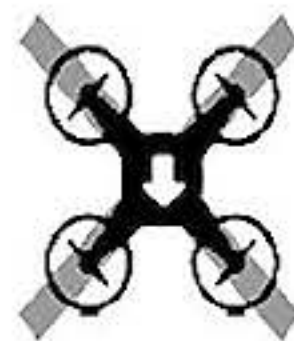


Рис. 15.7. Схема выполнения упражнения 2

Для более точного управления удерживайте стики управления указательным и большим пальцами. Это позволяет лучше контролировать скорость и направление БВС.

Особенность усложнённого варианта — удерживать БВС на одной высоте. При смещении стика влево или вправо для поворота БВС можно неумышленно изменить тягу, из-за чего БВС может подняться или опуститься. Старайтесь контролировать высоту одновременно с поворотами. Также при повороте не забывайте, что БВС полетит туда, куда направлен его нос, а не туда, куда смотрите вы.

Повторяйте упражнение не менее 10 раз, пока отклонение по высоте не будет превышать 20 см и пока не научитесь удерживать БВС в пределах воображаемого полуметрового круга.

**Упражнение 3: полёты вперёд-назад и влево-вправо (кормовой частью дрона к себе / боком к себе)**

После освоения манёвров по зависанию в воздухе и посадке приступаем к движению БВС по сторонам.

*Взлёт*

- Взлетите и удерживайте БВС на высоте 1–1,5 м над местом взлёта.

*Манёвры*

- Одновременно с левым стиком газа работайте правым стиком тангажа (вперёд-назад) и крена (влево-вправо), чтобы отлететь в стороны (рис. 15.8).
- После выполнения манёвров кормой к себе выполните аналогичные боком к себе (рис. 15.9).

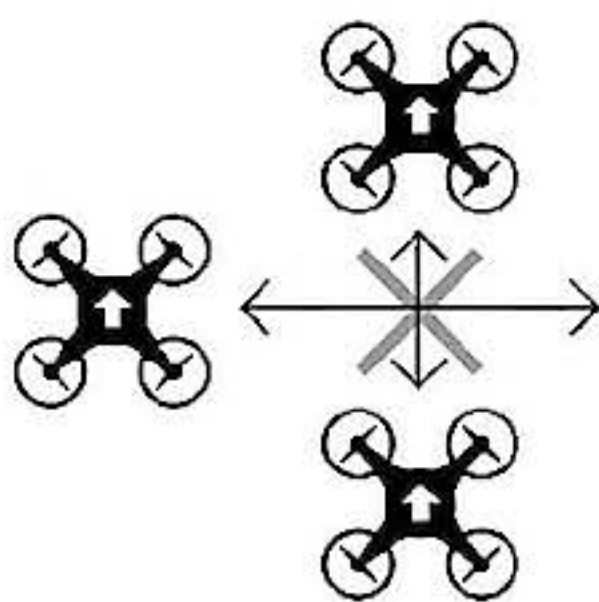


Рис. 15.8. Схема выполнения упражнения 3

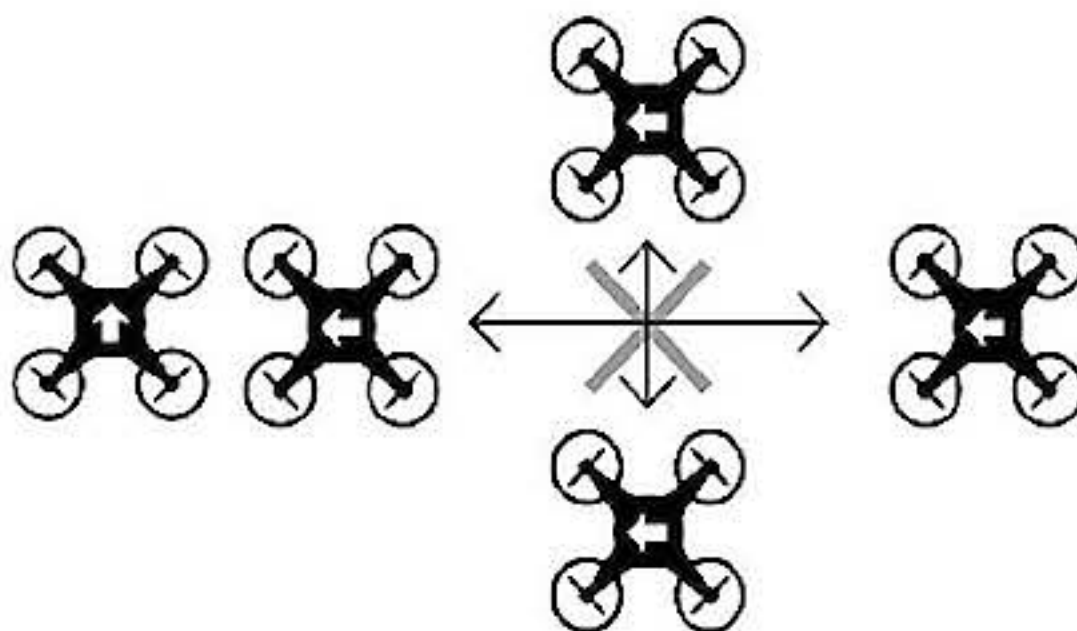


Рис. 15.9. Схема выполнения упражнения 3

При движении БВС с развёрнутым на  $90^\circ$  носом будьте особенно внимательны. Когда стик управления перемещается вперёд, БВС полетит в направлении его носовой части, а не туда, куда направлен ваш взгляд.

Повторяйте упражнение не менее 10 раз до полной уверенности в манёврах и автоматизма действий.

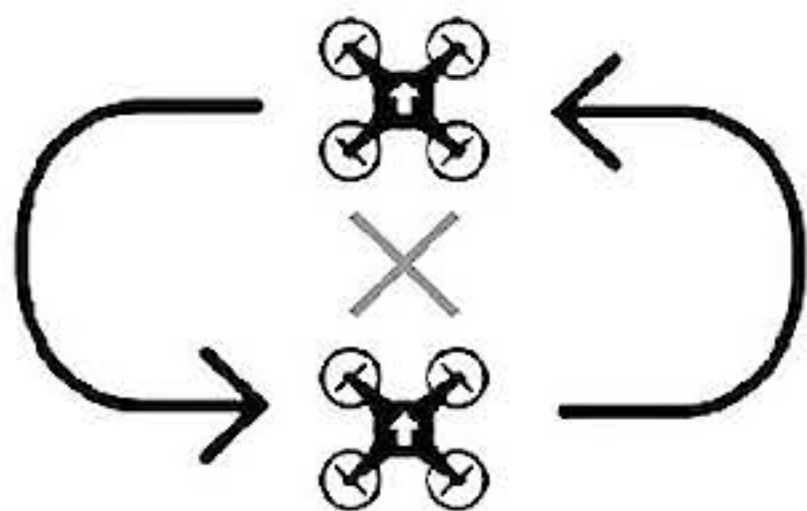
**Упражнение 4: полёт по кругу (кормой к себе / носом вперёд)**

*Взлёт*

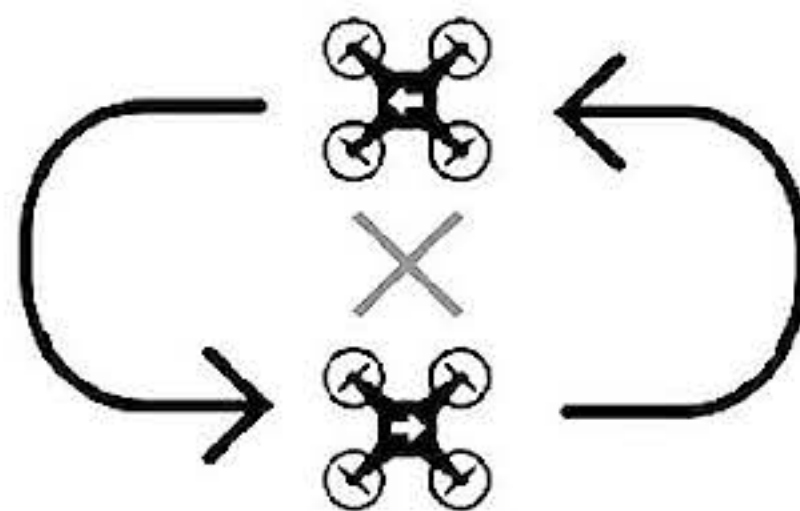
- Взлетите и удерживайте БВС на высоте 1–1,5 м над местом взлёта.
- Отлетите на небольшое расстояние от точки взлёта, чтобы визуально хорошо контролировать стороны БВС.

#### *Полёт по кругу*

- Контролируя высоту полёта левым стиком, плавно работайте правым стиком тангажа (вперёд-назад) и крена (влево-вправо) для полёта вокруг точки взлёта (рис. 15.10).
- Прodelайте аналогичные манёвры с БВС, развёрнутым носом вперёд (рис. 15.11).
- После завершения манёвра выполните мягкую посадку в точку взлёта.



*Рис. 15.10.* Схема выполнения упражнения 4



*Рис. 15.11.* Схема выполнения упражнения 4

Повторяйте упражнение не менее 10 раз до полной уверенности в манёвре и автоматизма действий.

**Упражнение 5:** полёт по линии с разворотами в крайних положениях (боком к себе)

#### *Взлёт*

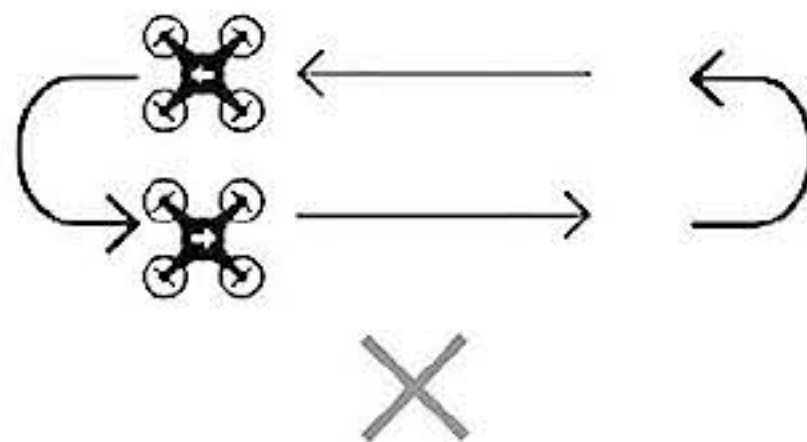
- Взлетите и удерживайте БВС на высоте 1–1,5 м над местом взлёта.
- Поверните БВС на 90° по часовой стрелке или против часовой стрелки.

#### *Движение*

- Начните движение по прямому отрезку вперёд.
- В конце отрезка выполните разворот, сдвигая правый стик (крен) вправо или влево, одновременно сдвигая левый стик (рыскание).

#### *Контроль высоты*

- Контролируйте высоту, чтобы не свалиться в штопор, и верните стики в вертикальное положение для завершения манёвра разворота (рис. 15.12).



*Рис. 15.12.* Схема выполнения упражнения 5

Очень важно соблюдать плавность и синхронность действий двух стиков при развороте. Повторяйте упражнение не менее 20 раз до полной уверенности в маневре и автоматизма действий.

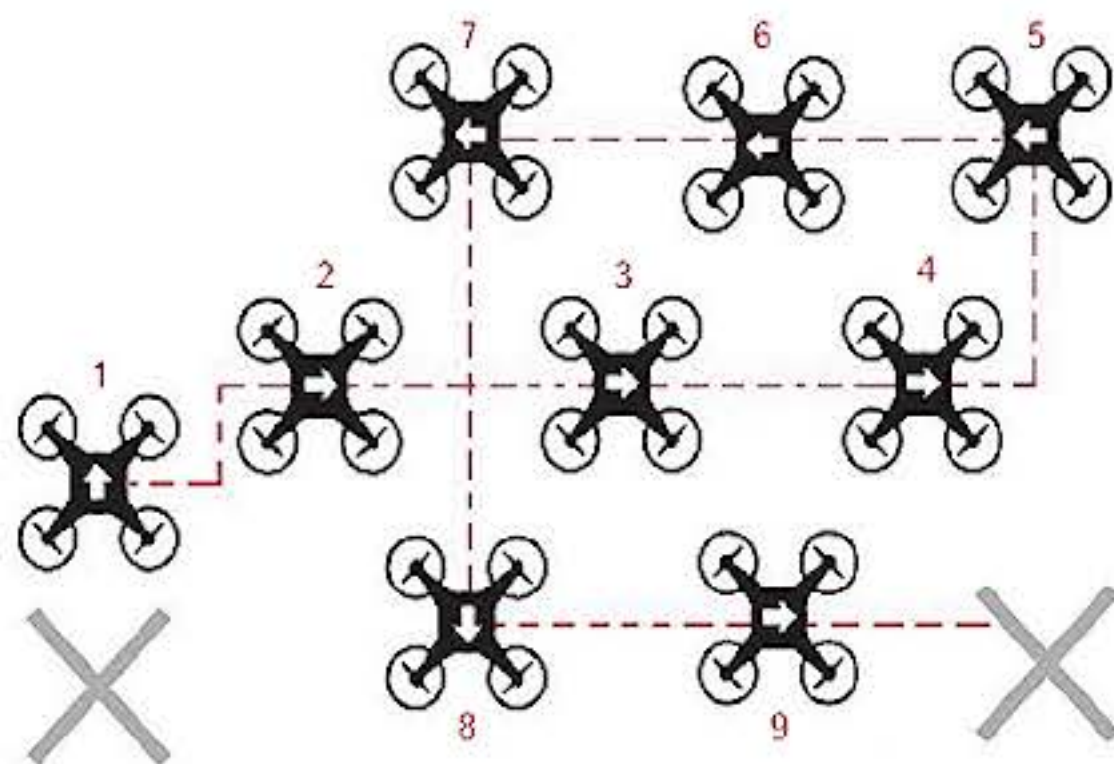
#### **Упражнение 6: пилотирование в FPV (без препятствий / с препятствиями)**

##### *Взлёт*

- Взлетите и удерживайте контер на высоте 1–1,5 м над местом взлёта.
- Контролируйте высоту полёта с помощью газа, особенно если полёт осуществляется без режима удержания высоты.

##### *Пилотирование*

- Плавно работайте правым стиком тангажа (вперёд-назад) и крена (влево-вправо) для преодоления строго обозначенного маршрута (рис. 15.13).



**Рис. 15.13.** Схема выполнения упражнения 6

##### *Маршрут*

- Следуйте заранее подготовленному маршруту, который может включать в себя различные направления и маневры.

##### *Усложнение*

- В качестве более продвинутого варианта маршрут может проходить через различные препятствия: кольца, ворота и прочие объекты (рис. 15.14).

##### *Посадка*

- После преодоления маршрута выполните мягкую посадку контера в точке, противоположной точке взлёта.

Повторяйте упражнение несколько раз, чтобы освоить навыки маневрирования в FPV-режиме. Старайтесь избегать резких движений и держать контер в поле зрения по маршруту. Для усложнённого варианта этого упражнения крайне важна аккуратность управления. Повторяйте упражнение до тех пор, пока не будете уверенно и точно преодолевать препятствия. Начинайте с простых маршрутов и постепенно усложняйте их.

Овладев всеми описанными упражнениями, вы приобретёте необходимые навыки для уверенного пилотирования квадрокоптера в режиме FPV. Постепенно усложняя задачи, вы сможете развить свою реакцию, координацию движений и точность управления, что особенно важно для безопасных и эффективных полётов.

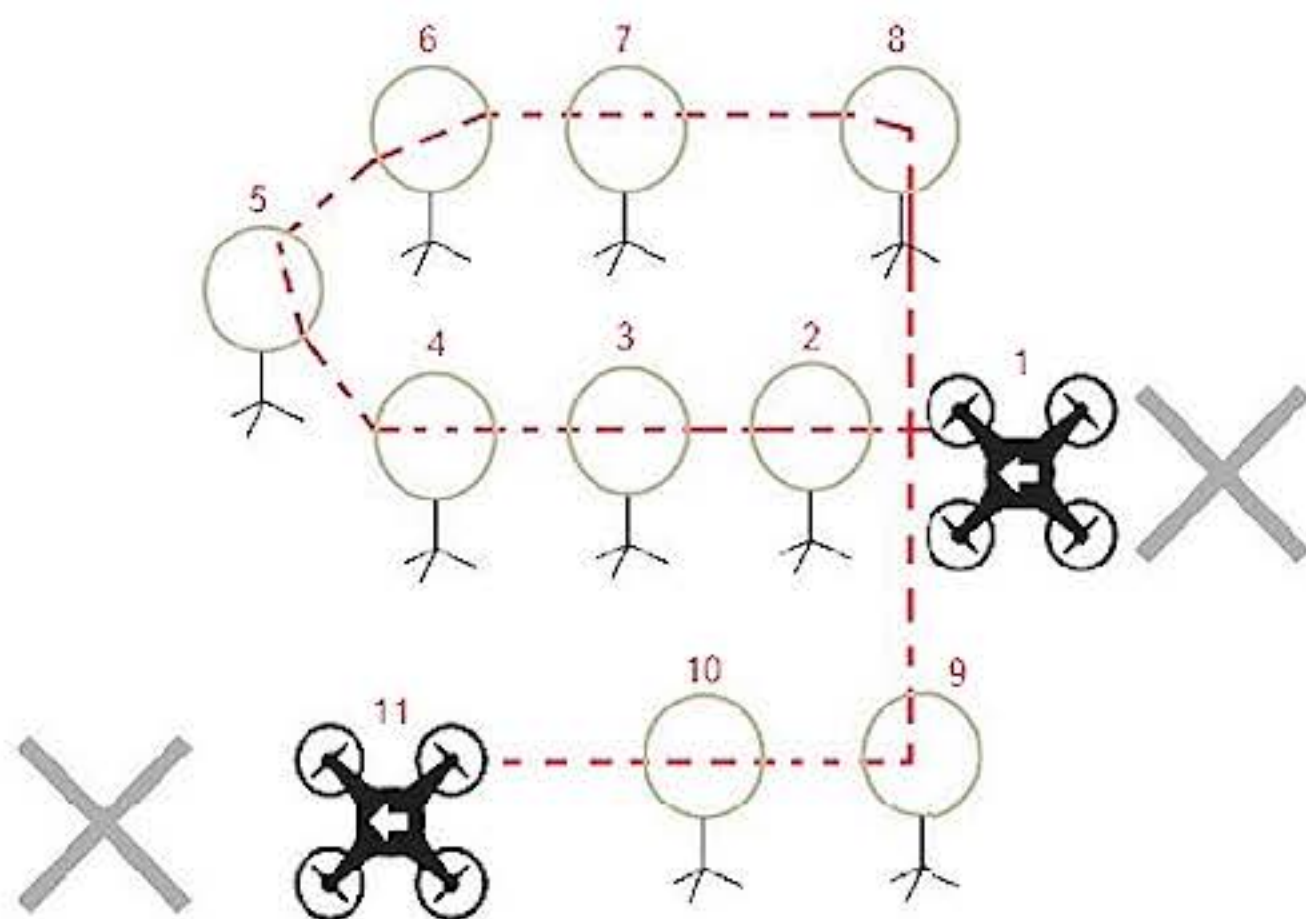


Рис. 15.14. Схема выполнения упражнения 6

### Советы по дальнейшему пилотированию

1. Настройте комфортный для себя угол камеры.
2. Научитесь переходить из FPV-пилотирования в визуальное и обратно. Это поможет в экстренных ситуациях либо в моменты, когда необходима высокая точность полёта/посадки.
3. Как только освоите пилотирование с удержанием высоты, переходите к практике полётов в ручном режиме. Режим позволяет быстрее проходить элементы трассы, выполнять резкие развороты, ускорения и торможения.
4. При отработке FPV-пилотирования первое время старайтесь не менять место тренировочных полётов.
5. Чаще практикуйтесь. Усложняйте маршрут. Отрабатывайте элементы в симуляторе.
6. Тренируйтесь с наблюдателем. Он подскажет, в каких моментах вы допускаете ошибки. Наблюдайте самостоятельно за полётами товарищей. Для удобства можно привязать несколько FPV-шлемов к одному видеопередатчику (рис. 15.15).

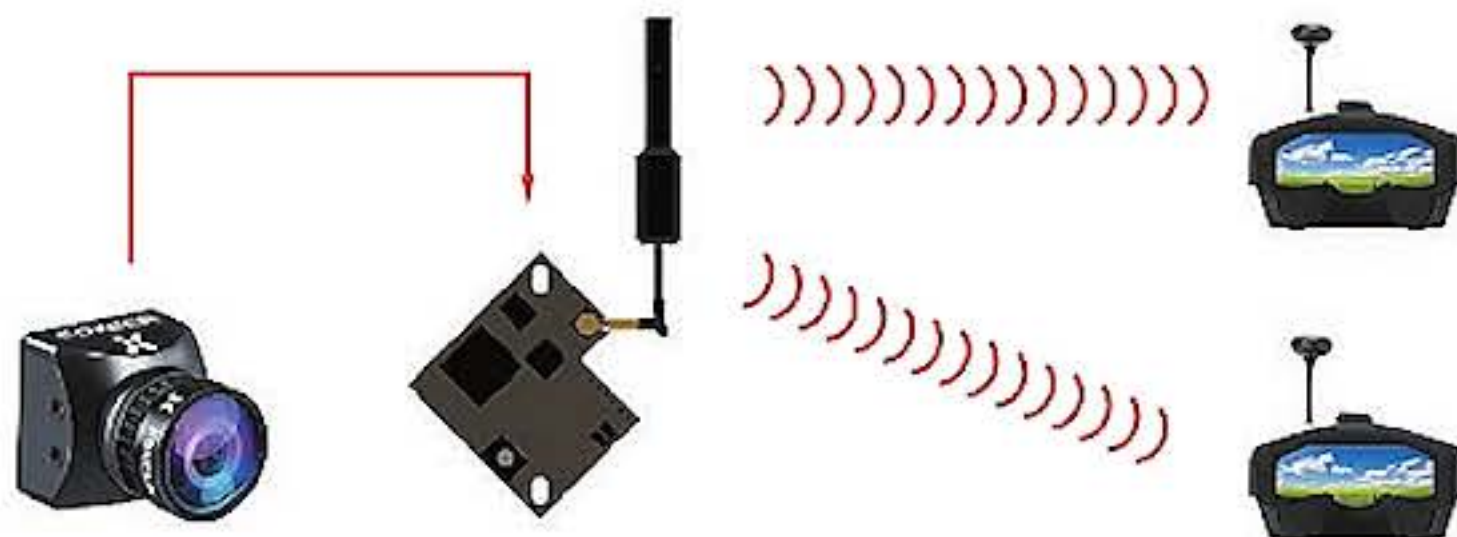


Рис. 15.15. Привязка нескольких FPV-шлемов к одному видеопередатчику



### Вопросы и задания

1. Что такое система FPV и из каких компонентов она состоит?
2. Перечислите диапазоны частот, которые используются для беспроводной связи в FPV, их преимущества и недостатки.
3. Приведите порядок настройки видеопередатчика и видеоприёмника для FPV.
4. Какие устройства можно использовать для просмотра изображения с камеры FPV?
5. Что такое ACRO-режим и каковы его особенности?



## ГЛАВА 5 ПРОГРАММИРОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОЛЁТОВ

### § 16. ГЛОБАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Навигация в пространстве играет важную роль в современной технике, особенно для беспилотных летательных аппаратов. Эти системы позволяют устройствам точно определять своё местоположение и эффективно ориентироваться в пространстве. В данном параграфе мы рассмотрим основные системы навигации, используемые в типовых БВС. Мы подробно остановимся на глобальных спутниковых системах GPS и ГЛОНАСС, ультразвуковой и инфракрасной локальных системах позиционирования, а также на системах оптического потока, радиопозиционирования и Motion Capture. Каждая из этих систем имеет свои уникальные преимущества и ограничения, которые мы рассмотрим в контексте их применения на беспилотных летательных аппаратах.

#### Системы спутникового позиционирования (GNSS: GPS, ГЛОНАСС и др.)

GNSS (Global Navigation Satellite System) — это общий термин, используемый для описания любой спутниковой системы навигации, предоставляющей автономные геопространственные данные с глобальным охватом. GNSS-системы используются для определения точного местоположения объектов на Земле и в пространстве. В перечень данных систем входят: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (ЕС), BeiDou (Китай), QZSS (Япония), IRNSS (Индия).



#### ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

GPS (Global Positioning System) и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) являются ключевыми спутниковыми системами навигации, обеспечивающими глобальное покрытие. Система GPS была разработана в 1970-х гг. Первый спутник системы был выведен на орбиту в 1974 г., а полный набор спутников для глобального покрытия был завершён в 1993 г.

Система ГЛОНАСС была создана в СССР. Первый спутник ГЛОНАСС был запущен в 1982 г., а система была завершена в 1995 г.

Оба комплекса прошли множество этапов модернизации и совершенствования, чтобы обеспечить высокую точность и надёжность навигации.

#### ПРИНЦИП РАБОТЫ

Принцип работы систем GPS и ГЛОНАСС заключается в измерении времени, за которое сигнал проходит от спутника до приёмника. Спутники непрерывно

передают синхронизированные сигналы, которые принимаются навигационным устройством. Зная точные координаты спутников и время прохождения сигнала, приёмник может вычислить своё местоположение методом триангуляции или трилатерации. Для точного определения трёхмерных координат требуется сигнал как минимум от четырёх спутников.

На каждом спутнике установлены высокоточные атомные часы, обеспечивающие синхронизацию времени с точностью до наносекунд. Это позволяет точно измерять время прохождения сигнала и, следовательно, расстояние до спутника. Приёмник на Земле также использует кварцевые часы, но для обеспечения точности он получает корректирующие сигналы от спутников.

Каждый спутник передаёт на приёмник два типа данных: эфемериды и альманах. Эфемериды содержат точные орбитальные данные о положении спутника в любой момент времени, а альманах — данные о положении всех спутников системы. Эти данные позволяют приёмнику быстро находить и отслеживать спутники, что значительно ускоряет процесс определения координат.

### ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ

Точность систем GPS и ГЛОНАСС в горизонтальной плоскости составляет около 1–3 м при хорошей видимости небосвода. Точность определения высоты обычно ниже и может достигать 5–15 м. Основные факторы, влияющие на точность, включают погодные условия, плотность облаков, наличие препятствий, таких как здания или деревья, и интерференцию (наложение) радиосигналов.

Особенно сильно точность может снижаться в условиях плотной городской застройки, где значительная часть небосвода закрыта посторонними объектами (рис. 16.1). Это приводит к уменьшению числа видимых спутников и ухудшению качества сигнала. В таких условиях точность может падать до 20–30 м или даже больше.

Существуют методы улучшения точности GPS, такие как дифференциальный GPS (DGPS), который использует стационарные наземные станции для коррекции сигналов и уменьшения погрешностей. Эти станции принимают сигналы от тех же спутников, что и мобильные приёмники, и передают корректирующую информацию, которая позволяет уменьшить ошибки, вызванные атмосферными и другими факторами.



**Рис. 16.1.** Снижение покрытия в условиях городской застройки

Ещё одним методом повышения точности является технология RTK (Real-Time Kinematic). RTK-системы используют фазовые измерения несущей волны GPS и включают базовую станцию и подвижный приёмник. Базовая станция фиксируется в известной точке и передаёт поправки на подвижный приёмник в реальном времени, что позволяет достичь сантиметровой точности. RTK применяется в таких областях, как геодезия, сельское хозяйство, строительство и управление беспилотными летательными аппаратами (например, большие группировки в составе шоу дронов, рис. 16.2), обеспечивая высокоточное позиционирование и навигацию.



Рис. 16.2. Подготовка роя дронов к запуску, синхронизация со станцией RTK

#### ПРИМЕНЕНИЕ НА БВС

На типовом квадрокоптере модуль GPS/ГЛОНАСС используется для отслеживания текущего положения и скорости аппарата (рис. 16.3). Антенне модуля необходим обзор неба для достижения максимальной точности позиционирования. В комплекте с модулем, как правило, идёт компас для точной ориентации в пространстве. Модуль GPS подключается к полётному контроллеру и позволяет БВС отслеживать своё текущее положение и скорость. Если обзор неба перекрыт, модуль не сможет получать данные от спутников, поэтому не рекомендуется использовать режим GPS в помещениях. Компас, встроенный в модуль, помогает ориентироваться в пространстве, но его показания могут искажаться вблизи массивных металлических объектов и зданий.

Настройка модуля GPS/ГЛОНАСС на квадрокоптере включает выбор режима позиционирования по GPS в параметрах автопилота. В реальном времени отображается количество спутников, доступных для работы. Чем больше спутников «видит» модуль, тем выше точность позиционирования. При первом включении модуля в новой точке синхронизация занимает от 1 до 3 мин.

В случае, если модуль является внешним, может встречаться индикация состояния работы модуля по светодиодам. Зелёный светодиод горит постоянно, когда спутники найдены и модуль готов к полёту. Красный светодиод сигнализирует о поиске спутников или неверных параметрах настройки, требующих корректировки.



Рис. 16.3. GNSS-модуль квадрокоптера

## Достоинства и недостатки GPS/ГЛОНАСС

### Достоинства:

- глобальное покрытие, позволяющее определять местоположение в любой точке мира (за исключением приполярных областей);
- высокая точность в открытых пространствах при хорошей видимости небосвода;
- относительная простота установки и настройки в качестве внешнего модуля.

### Недостатки:

- зависимость от видимости спутников, что ограничивает использование в помещениях и вблизи высоких зданий;
- низкая точность в условиях плотной городской застройки и под плотной листвой деревьев;
- ограничения по точности при высоких скоростях и резких изменениях направления движения.

## Ультразвуковая система LPS

Ультразвуковая локальная система позиционирования (UsLPS) была разработана для использования в условиях, где сигналы GPS недоступны, например в закрытых помещениях. Эта система позволяет точно определять местоположение объекта на основе ультразвуковых сигналов, излучаемых маяками, расположенными в заранее определённых точках (рис. 16.4). Ультразвуковые системы стали особенно популярными для применения в промышленной автоматизации и робототехнике, где требуется высокая точность позиционирования на ограниченных территориях.

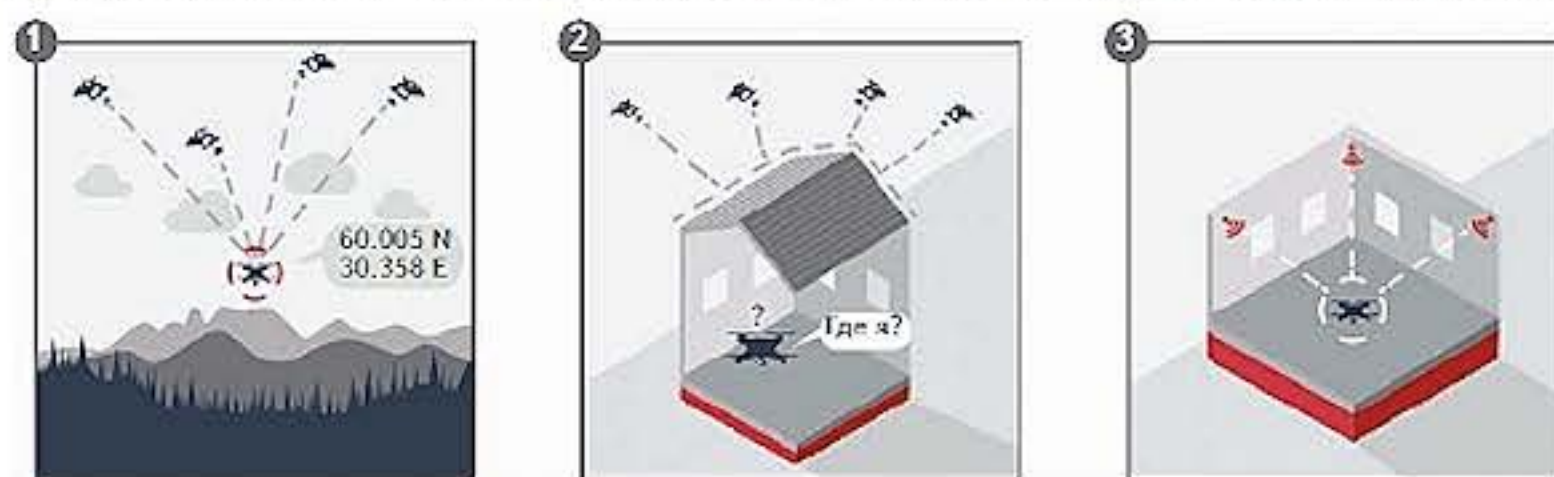


Рис. 16.4. Система позиционирования UsLPS

### ПРИНЦИП РАБОТЫ

Ультразвуковая система LPS работает по принципу трилатерации, аналогичному GPS, но вместо спутников используются ультразвуковые маяки. Каждый маяк излучает ультразвуковые сигналы, которые принимаются микрофонами на квадрокоптере (рис. 16.5). Измеряя время прохождения сигнала, система определяет расстояние до каждого маяка и вычисляет координаты квадрокоптера.

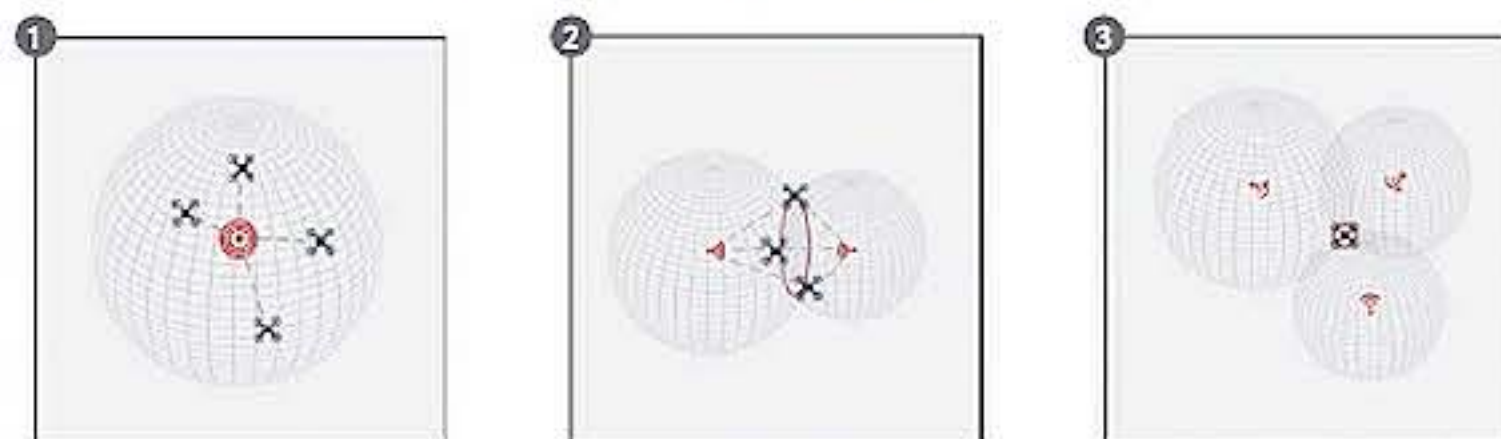


Рис. 16.5. Принцип работы системы UsLPS

## ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ

Максимальный охват ультразвуковой системы составляет  $10 \times 10 \times 4$  м, а частота обновления данных достигает 100 Гц. Точность позиционирования по горизонтали составляет около 2 см, а по высоте — около 5 см. Система также способна определять скорость перемещения и направление квадрокоптера.

Для работы ультразвуковой системы LPS необходимо установить маяки в зоне полёта. Маяки должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное перекрытие зоны покрытия. Они соединяются проводами с блоком управления, который обрабатывает сигналы и передаёт данные на квадрокоптер (рис. 16.6).

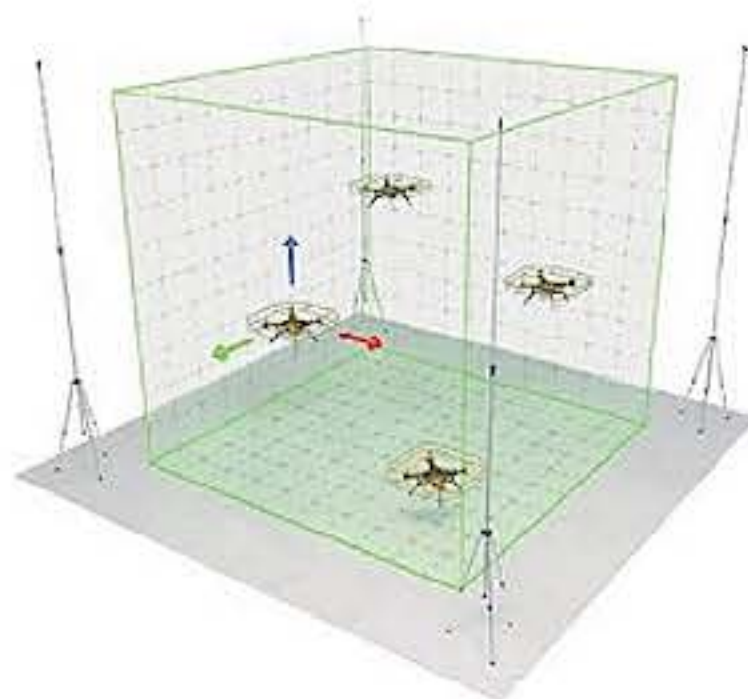


Рис. 16.6. Применение системы UsLPS

## ПРИМЕНЕНИЕ

На типовом квадрокоптере ультразвуковые маяки устанавливаются в зоне полёта, и их сигналы принимаются двумя микрофонами на плате модуля навигации (рис. 16.7). Для обеспечения надёжной работы все маяки должны быть установлены выше уровня квадрокоптера и направлены на него. В случае отказа одного из маяков система может продолжать работать с резервными маяками.

Установка ультразвуковых излучателей (рис. 16.8) требует точного соблюдения определённых правил. Минимальная высота установки излучателей составляет 2 м, а минимальная дистанция между ними — 3 м. Излучатели должны быть направлены к центру полётной зоны, чтобы сигналы пересекались в пространстве и создавали необходимую для трилатерации геометрию.



Рис. 16.7. Модуль навигации UsLPS



Рис. 16.8. Излучатели системы UsLPS

После установки излучателей необходимо подключить их к блоку управления (рис. 16.9) и настроить систему с помощью программного обеспечения. В программе LPS вводятся координаты излучателей, и система автоматически рассчитывает полётную зону. Настройка также включает прошивку блока управления и модуля на квадрокоптере, чтобы обеспечить синхронизацию и корректную работу системы.

Индикация состояния ультразвуковой системы осуществляется с помощью светодиодов на блоке управления и модуле на квадрокоптере. Зелёный светодиод сигнализирует о штатной работе системы, а красный указывает на ошибки или недостаточное количество видимых излучателей.

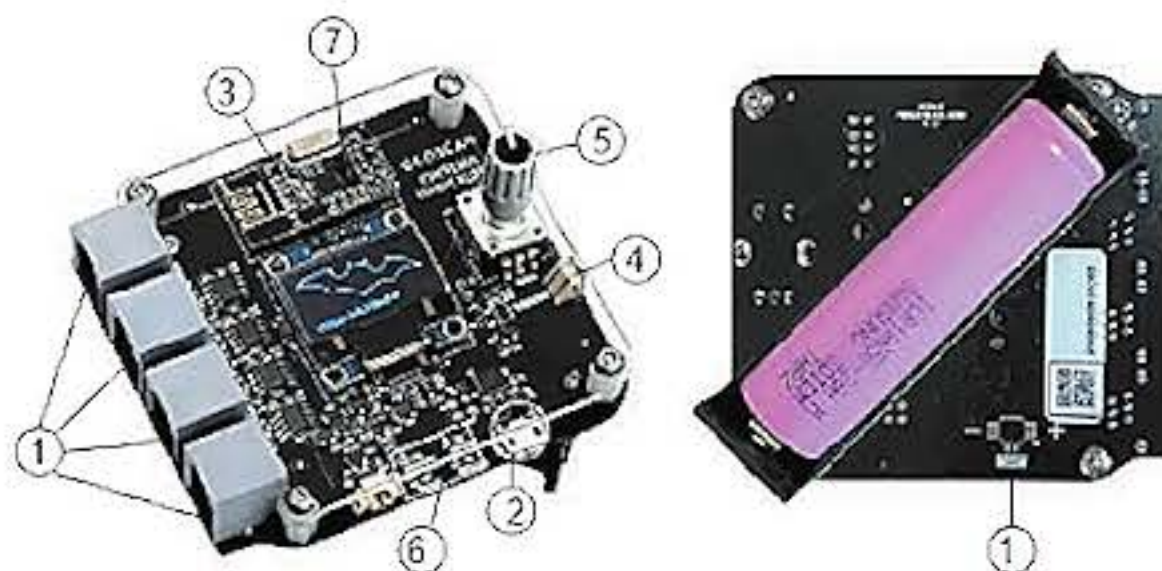


Рис. 16.9. Блок управления системой позиционирования UsLPS

### Достоинства и недостатки ультразвуковой LPS

#### Достоинства:

- высокая точность позиционирования в ограниченных зонах, достигающая нескольких сантиметров;
- возможность использования в закрытых помещениях, где сигналы GPS недоступны;
- низкая стоимость оборудования по сравнению с другими системами локального позиционирования.

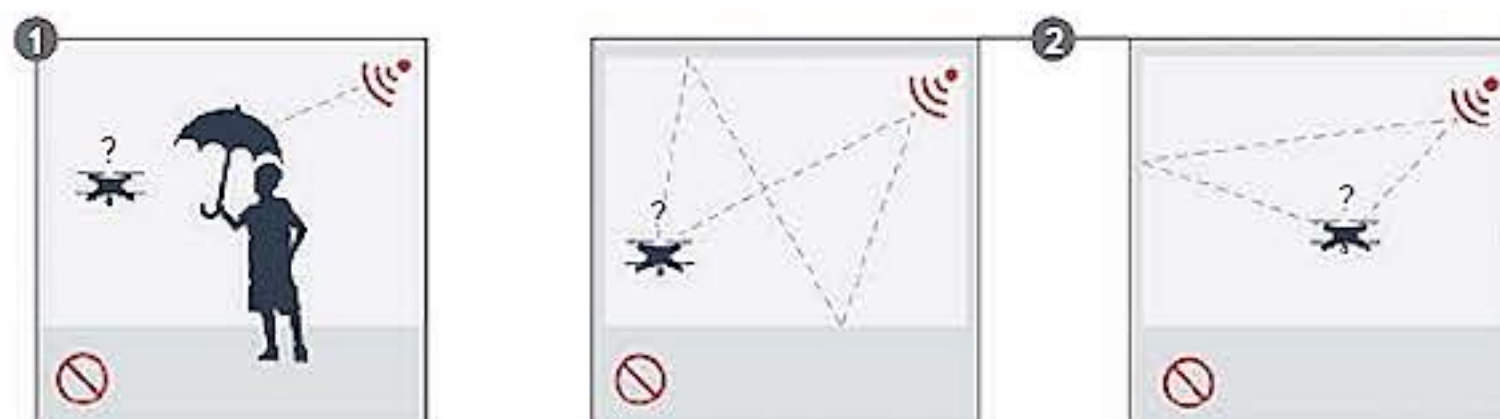


Рис. 16.10. Схематичное изображение недостатков системы UsLPS

#### Недостатки (рис. 16.10):

- установка и настройка системы, требующей точного расположения излучателей;
- ограниченный радиус действия, зависящий от конфигурации зоны полёта;
- уязвимость к отражённым сигналам и препятствиям, которые могут исказить данные.

## Инфракрасная система LPS

Инфракрасная локальная система позиционирования (IrLPS) была разработана для обеспечения высокой точности навигации в закрытых помещениях и на ограниченных территориях. Эта система использует инфракрасные сигналы, испускаемые базовой станцией, для определения положения квадрокоптера. Инфракрасные системы позиционирования широко используются в виртуальной реальности и автоматизации, где требуется высокая точность и надёжность в ограниченных зонах.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ

Принцип работы инфракрасной системы LPS заключается в использовании базовой станции, испускающей сигнал в инфракрасном спектре. Приёмники на квадрокоптере улавливают этот свет и фиксируют время его прихода. По разнице во времени между приёмниками система рассчитывает координаты квадрокоптера относительно базовой станции.

## ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ

Точность инфракрасной системы достигает 2 см по каждой из трёх осей. Базовая станция устанавливается на высоте более 2 м и направляется под углом к полу. Пространство в зоне видимости станции должно быть свободно от посторонних предметов для обеспечения надёжного сигнала.

Базовая станция испускает инфракрасные сигналы, которые улавливаются приёмниками на квадрокоптере. Для обеспечения высокой точности базовая станция должна быть установлена на устойчивой поверхности и надёжно зафиксирована. Поле обзора станции составляет  $150^\circ$  по горизонтали и  $110^\circ$  по вертикали (рис. 16.11).

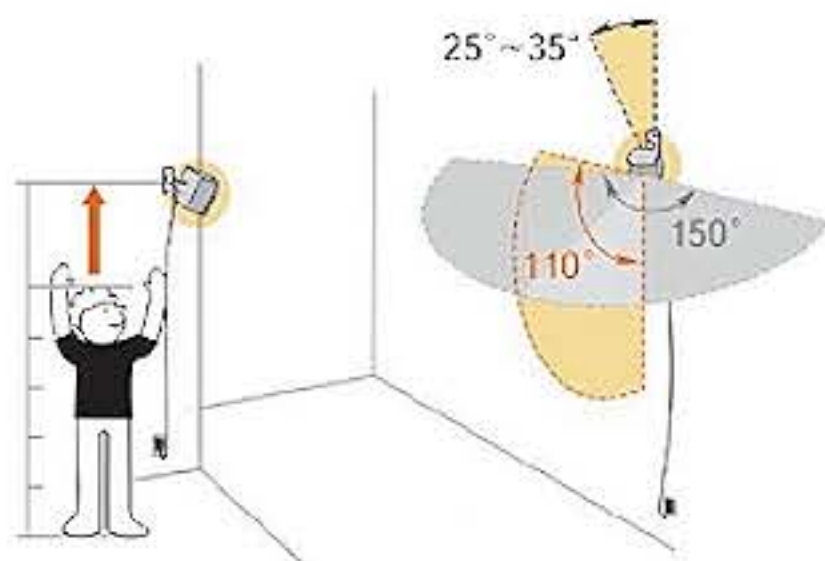


Рис. 16.11. Установка и углы обзора базовой станции IrLPS

## ПРИМЕНЕНИЕ НА КВАДРОКОПТЕРЕ

На типовом квадрокоптере используется базовая станция SteamVR Base Station 2.0 и специальный модуль инфракрасной навигации (рис. 16.12 и 16.13). Установка модуля на квадрокоптер производится через адаптер расширения. Настройка включает прошивку модуля и калибровку базовой станции для точного позиционирования.

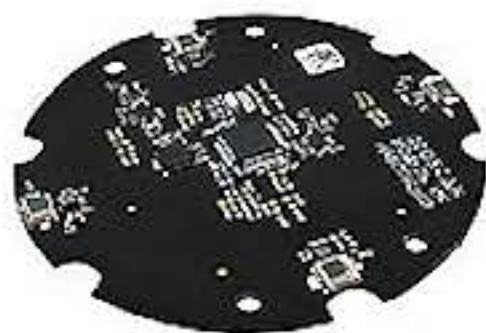


Рис. 16.12. Модуль инфракрасной навигации



Рис. 16.13. Базовая станция

Процесс настройки инфракрасной системы включает установку базовой станции на высоте более 2 м и под углом к полу. Базовая станция должна быть направлена в центр полётной зоны, чтобы обеспечить равномерное покрытие сигналом. Приёмники на квадрокоптере фиксируют время прихода сигналов и передают данные на бортовой компьютер для расчёта координат.

Индикация состояния инфракрасной системы осуществляется с помощью светодиодов на базовой станции и модуле на квадрокоптере. Белый или зелёный светодиод на базовой станции сигнализирует о готовности к работе, а красный указывает на ошибки. На модуле квадрокоптера зелёный светодиод сигнализирует о штатной работе, а красный — об ошибках или о недостаточной видимости станции.

#### *Достоинства и недостатки инфракрасной LPS*

##### Достоинства:

- высокая точность позиционирования до 2 см по каждой из трёх осей;
- простота установки и настройки по сравнению с ультразвуковыми системами;
- надёжная работа в закрытых помещениях и на ограниченных территориях.

##### Недостатки:

- ограниченная зона действия, зависящая от поля обзора базовой станции;
- зависимость от свободного пространства и отсутствия препятствий, которые могут блокировать сигналы;
- ограниченная совместимость с другими системами навигации и оборудованием.

## **Система оптического потока**

Система оптического потока широко используется в компьютерном зрении для определения скорости и направления движения объектов. Эта технология нашла своё применение и в навигации беспилотных летательных аппаратов, позволяя им ориентироваться в пространстве на основе визуальной информации. Система оптического потока используется в робототехнике, автоматизации и других областях, требующих точного отслеживания движений и изменений в пространстве.

### **ПРИНЦИП РАБОТЫ**

Система оптического потока использует камеру, установленную на квадрокоптере, для захвата последовательности изображений. Анализируя изменения между изображениями, система определяет сдвиги в пространстве и вычисляет параметры движения. Для точного функционирования система требует хороших условий освещённости и наличие текстурированных поверхностей.

Оптический поток работает в паре с датномером, который определяет высоту полёта квадрокоптера. Комбинированные данные позволяют системе точно позиционировать квадрокоптер в горизонтальной плоскости и удерживать заданную точку. Точность работы системы зависит от множества факторов, включая освещённость, текстуру поверхности, разрешение камеры и мощность процессора.

### **ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ**

Точность работы оптического потока сильно зависит от множества условий: освещённости, правильности выбора функции, подходящей поверхности (на однотонной поверхности работа оптического потока осложнена или вообще невозможна), разрешения матрицы камеры, мощности процессора и т. д.

На практике — при хороших условиях освещённости и поверхности, на которой много выделяющихся точек, — точность сравнима с LPS. Чем хуже эти условия, тем меньше точность и велика вероятность ошибки.

#### ПРИМЕНЕНИЕ НА КВАДРОКОПТЕРЕ «ГЕОСКАН ПИОНЕР»

На квадрокоптерах модуль оптического потока устанавливается на нижнюю часть аппарата, а камера должна быть ориентирована вниз. Настройка модуля минимальна и сводится к выбору режима работы в программном обеспечении.

Например, на квадрокоптере «Геоскан Пионер» установка модуля оптического потока (рис. 16.14) проста и не требует сложных манипуляций. Плата модуля заменяет крышку отсека аккумулятора и подключается к базовой плате с помощью шлейфа.

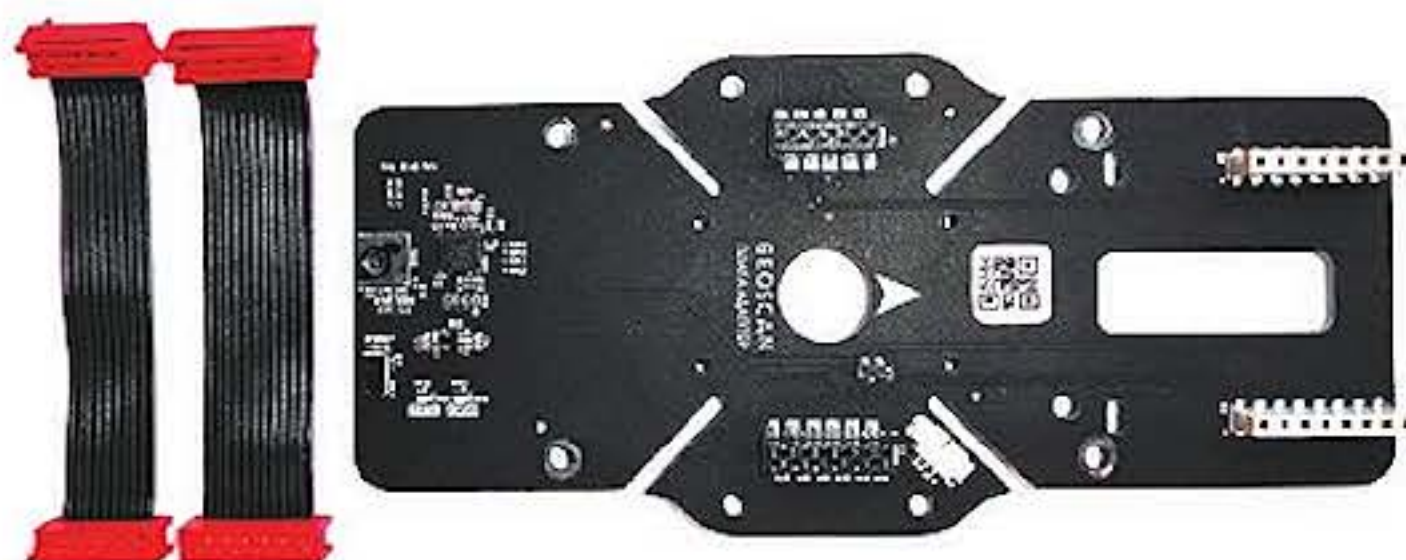


Рис. 16.14. Модуль оптического потока (камера при полёте направлена вниз)

Для работы системы оптического потока необходимо выбрать соответствующий режим в программном обеспечении. В этом режиме квадрокоптер будет использовать данные с камеры и дальномера для позиционирования в горизонтальной плоскости, удержания заданной точки и следования по координатам в полётном задании. Зелёный светодиод на модуле сигнализирует о штатной работе системы, а красный — об ошибках или недостаточных условиях для работы.

#### *Достоинства и недостатки системы оптического потока*

##### *Достоинства:*

- работа без необходимости внешних сигналов и маяков;
- высокая точность при хороших условиях освещённости и наличии текстурированных поверхностей;
- простота установки и настройки модуля на квадрокоптере;
- автономность и независимость от внешних источников сигналов.

##### *Недостатки:*

- зависимость от освещённости и текстуры поверхности;
- ошибки при больших скоростях и углах наклона квадрокоптера;
- ограниченная точность в условиях недостаточной освещённости или на однотонных поверхностях.

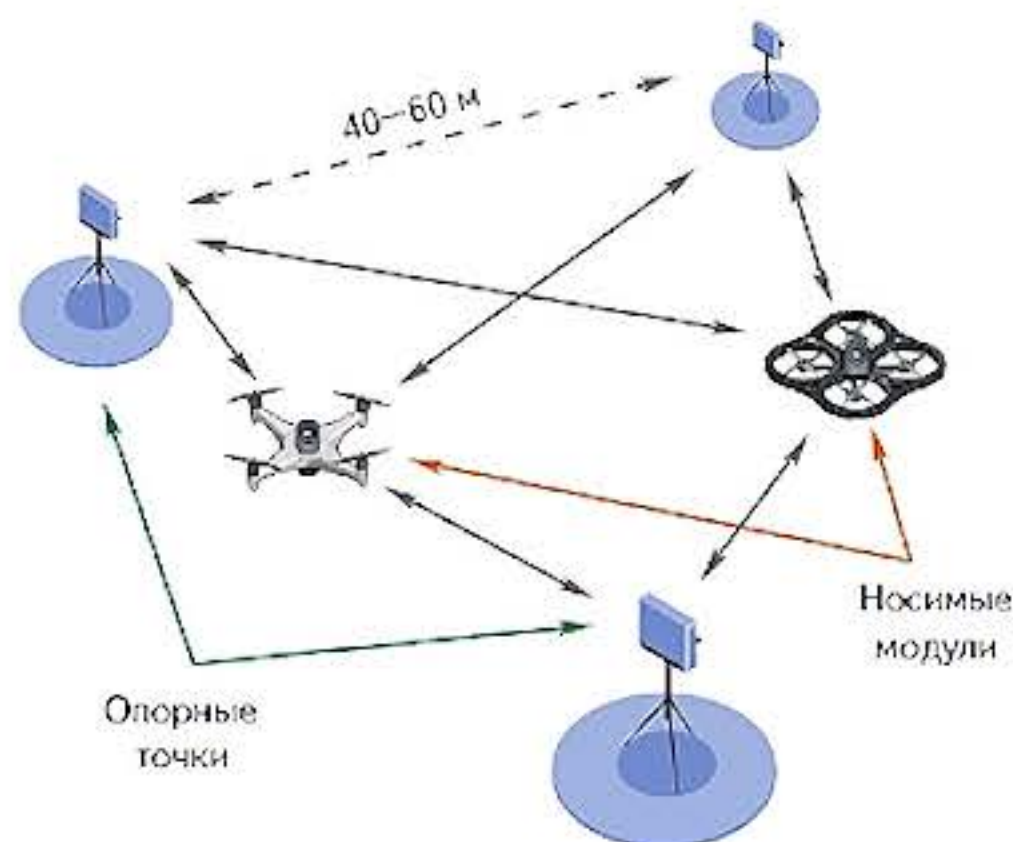


Рис. 16.15. Схема работы системы СШП-позиционирования

## Системы радиопозиционирования

Системы сверхширокополосного (СШП) позиционирования на примере отечественной компании «Пирс» используют технологию сверхширокополосных радиосигналов (СШП, англ. Ultra-Wide Band, UWB) стандарта IEEE 802.15.4-2011 для высокоточного позиционирования объектов в локальной рабочей зоне (рис. 16.15). Эта технология обеспечивает точность до 30 см, электромагнитную совместимость с системами связи, дальность действия до 100 м и устойчивость к многолучёвости и отсутствию прямой видимости.

### ПРИНЦИП РАБОТЫ

Система может работать в двух конфигурациях: как система мониторинга и как система навигации (рис. 16.16 и 16.17). Основой обеих конфигураций является раз-

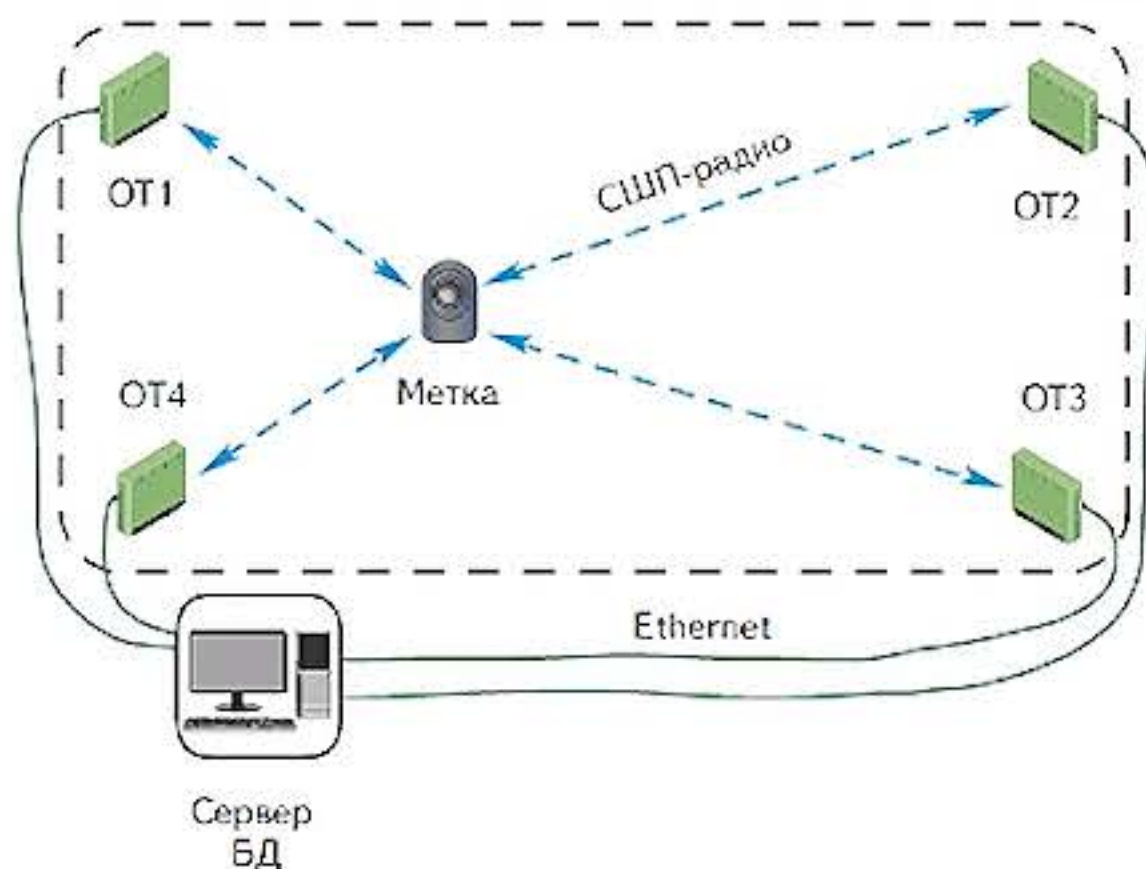


Рис. 16.16. Принцип работы системы в режиме мониторинга

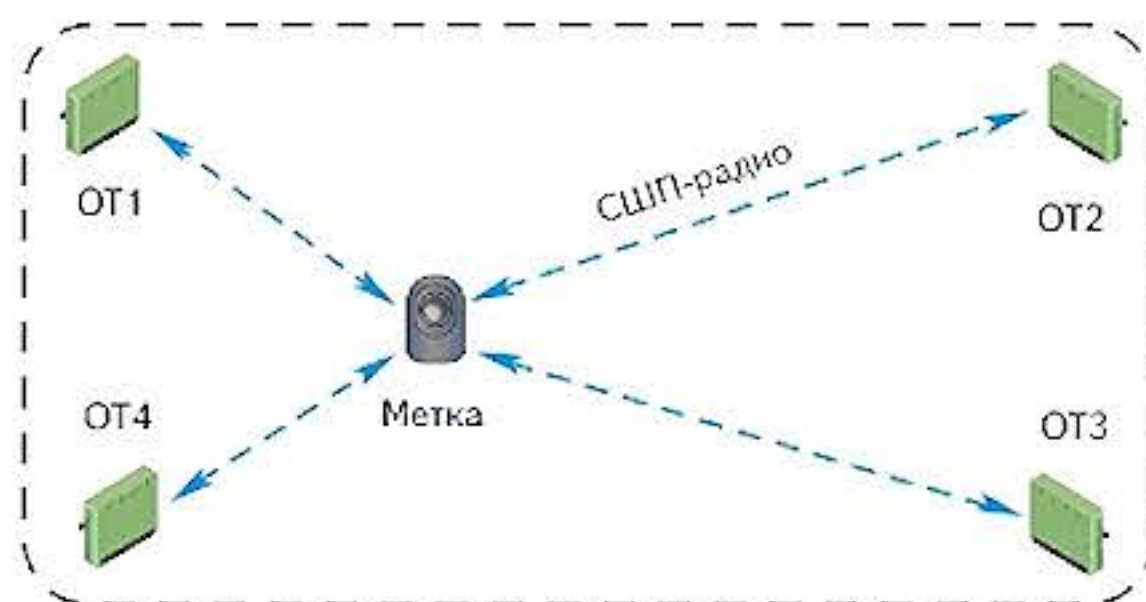


Рис. 16.17. Принцип работы системы в режиме навигации

ностно-дальномерный метод позиционирования. В системе мониторинга расчёт координат всех объектов осуществляется на стороне инфраструктуры с использованием сервера, в то время как в системе навигации координаты рассчитываются на борту в реальном времени.

#### *Система мониторинга*

- Используется сервер для расчёта координат.
- Метки оснащены уникальными идентификаторами и не знают своих координат.
- Электропитание меток осуществляется от аккумулятора или бортового источника.
- Опорные точки питаются через PoE (Power over Ethernet).
- Программное обеспечение на сервере обеспечивает конфигурацию, запуск, сбор и логирование данных, отображая координаты всех меток в реальном времени.

#### *Система навигации*

- Координаты рассчитываются на борту квадрокоптера в реальном времени и передаются через USB/UART.
- Метки питаются от бортового источника.
- Опорные точки могут питаться либо от аккумулятора (индивидуальная настройка через USB), либо через PoE (настройка всей инфраструктуры через серверное ПО).

### ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ

В системе мониторинга точность составляет до 10 см, а в системе навигации — менее 15 см. Минимальное число опорных точек для 2D-позиционирования составляет три, для 3D-позиционирования — четыре. Темп обновления координатной информации достигает 100 Гц для системы мониторинга и 40 Гц для системы навигации.

### ПРИМЕНЕНИЕ НА КВАДРОКОПТЕРЕ

На БВС система может использоваться для высокоточного позиционирования в закрытых помещениях и на ограниченных территориях, где сигналы GPS недоступны. Метки и опорные точки устанавливаются на аппаратах и в зоне полёта соответственно. Конфигурация и настройка системы осуществляются через программное

обеспечение, что позволяет быстро адаптировать её под конкретные условия эксплуатации.

#### *Достоинства и недостатки систем на базе СШН*

##### Достоинства:

- высокая точность позиционирования (менее 30 см);
- возможность работы в закрытых помещениях и на ограниченных территориях;
- устойчивость к перегруженности частотных каналов и помехам, отсутствию прямой видимости;
- гибкость настройки и масштабируемость системы.

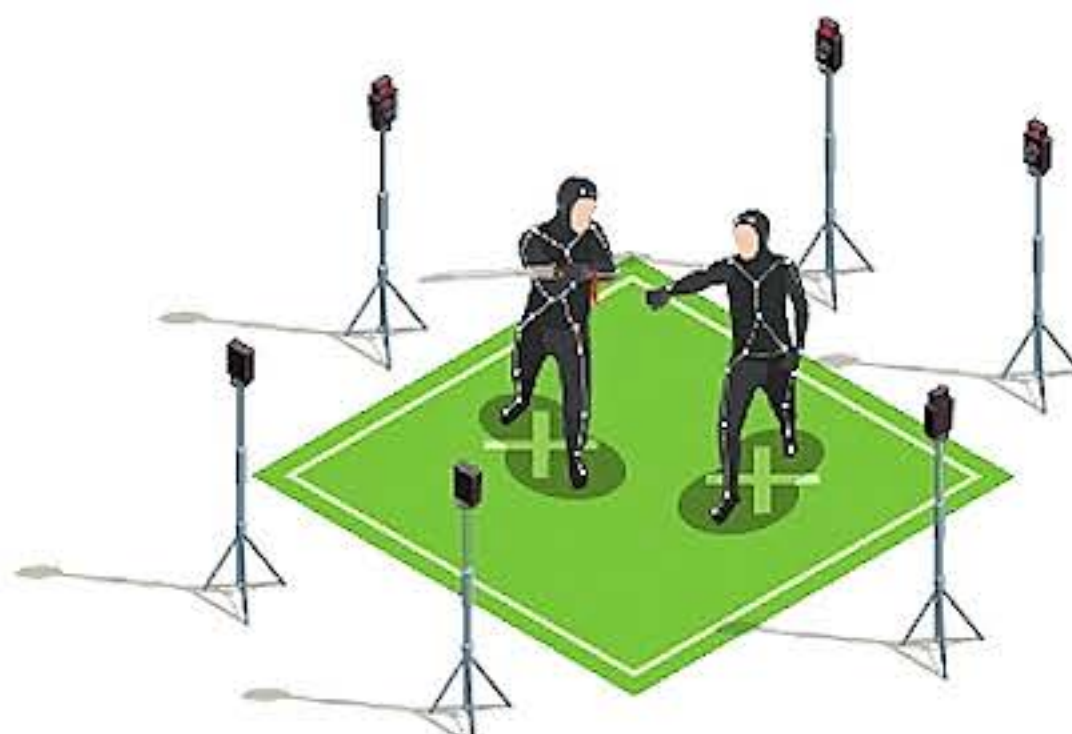
##### Недостатки:

- зависимость от инфраструктуры (сервер и опорные точки);
- большой, но ограниченный радиус действия (до 100 м);
- необходимость точной установки и настройки опорных точек для достижения максимальной точности.

Радиосистемы indoor-позиционирования представляют собой инновационное решение для высокоточного позиционирования объектов в локальной рабочей зоне. Система обладает высокой точностью, масштабируемостью и устойчивостью к различным условиям эксплуатации, что делает её полезной в различных промышленных и коммерческих приложениях.

## **Системы Motion Capture**

Системы захвата движения (Motion Capture, Mocap) — относительно новое решение в навигации и управлении автономными дронами в закрытых помещениях (рис. 16.18). Эти системы позволяют точно отслеживать положение и движение дронов в реальном времени, что особенно важно в условиях, где использование GPS невозможно или ограничено.



**Рис. 16.18.** Система Motion Capture

Системы захвата движения используют камеры и датчики для регистрации маркеров, установленных на дроне. Камеры фиксируют изменения в положении маркеров и передают эти данные на центральный сервер или непосредственно на бортовой компьютер дрона для дальнейшей обработки.

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ

### Калибровка камер

- Камеры устанавливаются вокруг рабочей зоны и калибруются для точного определения положения маркеров.
- Используются многокамерные установки для обеспечения полного охвата и минимизации слепых зон.

### Съёмка и анализ данных

- Камеры захватывают изображения маркеров с высокой частотой кадров.
- Алгоритмы обработки изображений анализируют последовательные кадры, вычисляя сдвиги маркеров и определяя их положение в пространстве.

### Расчёт координат

- Системы используют методы трилатерации и другие алгоритмы для расчёта трёхмерных координат маркеров на основе данных с камер.
- Результаты передаются на бортовой компьютер дрона или на центральный сервер для дальнейшего использования.

Системы захвата движения находят всё большее применение в беспилотных системах, обеспечивая высокую точность позиционирования и управления в закрытых помещениях. Приведём примеры таких систем.

### Easy Rocap

- Низкозатратная и простая в использовании система захвата движения.
- Обеспечивает быструю и надёжную оценку положения и ориентации наземных и воздушных дронов с точностью до 8 мм и 0,65°.
- Применяет алгоритмы фильтрации объектов и многокамерное отслеживание для поддержания непрерывности траекторий.

### OptiTrack

- Обеспечивает высокую точность данных о положении и ориентации дронов благодаря использованию продвинутых камер и алгоритмов.
- Система может работать как в закрытых помещениях, так и на открытых площадках благодаря мощным стробоскопам и фильтрам.

### Low-Cost Mocap

- Открытая система захвата движения, использующая камеры и компоненты.
- Поддерживает автономное управление несколькими дронами в закрытых помещениях.
- Реализует структурное восстановление движения (Structure from Motion) для расчёта координат дронов.

### Qualisys

- Система обеспечивает высокоточное позиционирование и трекинг в шести степенях свободы (6DOF).
- Обладает масштабируемостью, портативностью и устойчивостью к погодным условиям, что позволяет использовать её как в помещении, так и на открытых площадках.
- Широкие возможности применения — от отслеживания манипуляторов до управления дронами.

- Технология активных маркеров позволяет отслеживать объекты на больших расстояниях с низкой задержкой и высокой точностью. Системы Qualisys используются в сложных инженерных и научных приложениях.

#### *Достоинства и недостатки*

##### *Достоинства:*

- высокая точность позиционирования в трёхмерном пространстве;
- возможность работы в условиях, где использование GPS невозможно;
- адаптивность и масштабируемость системы для различных сценариев и условий эксплуатации.

##### *Недостатки:*

- высокая стоимость коммерческих систем захвата движения;
- подверженность помехам от освещения и препятствий в рабочей зоне;
- необходимость сложной калибровки и настройки камер.

Каждая из рассмотренных систем навигации обладает уникальными характеристиками, что делает их пригодными для различных задач и условий эксплуатации.

Использование локальных систем позиционирования в БАС имеет огромное значение для различных отраслей, включая сельское хозяйство, строительство, мониторинг окружающей среды, спасательные операции и логистику. Совершенствование технологий навигации открывает новые возможности и повышает эффективность выполнения задач.

Современные разработки в области искусственного интеллекта и машинного обучения способствуют улучшению анализа данных навигационных систем и повышению точности позиционирования. Это особенно важно для выполнения сложных операций в динамично изменяющихся условиях, таких как спасательные миссии или автоматизированные доставки.



#### **Вопросы и задания**

1. Какие факторы влияют на точность систем GPS и ГЛОНАСС?
2. Где используется ультразвуковая система LPS?
3. Какие преимущества/недостатки у инфракрасной системы LPS?
4. Расскажите о принципе работы систем оптического потока.
5. Определите, какую технологию используют радиосистемы позиционирования и в чём заключается их принцип работы.
6. Перечислите, в каких областях находят применение системы захвата.

## § 17. СРЕДЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЁТА

Современные квадрокоптеры играют значимую роль в различных отраслях, от сельского хозяйства и инженерии до развлечений и образования. Их популярность обусловлена широкими возможностями применения и относительной простотой управления. Одним из ключевых аспектов успешного использования БВС является возможность их программирования для конкретных задач. В этом контексте визуальное программирование выделяется как наиболее доступный и эффективный метод, особенно для пользователей с разным уровнем технической подготовки.

Визуальное программирование позволяет создавать сложные алгоритмы управления беспилотными аппаратами с помощью интуитивно понятных графических интерфейсов. В отличие от традиционного текстового программирования, визуальные среды используют блоки, представляющие различные команды и действия. Эти блоки можно легко соединять, формируя логические последовательности, что значительно упрощает процесс разработки программ.

Рассмотрим принципы визуального программирования квадрокоптеров на примере TRIK Studio и Geoscan Jump — двух отечественных инструментов, предлагающих широкий набор функций и возможностей. TRIK Studio предоставляет мощный набор инструментов для профессионального программирования, включая поддержку текстовых языков, таких как Lua и Python. Geoscan Jump, с другой стороны, ориентирован на образовательный рынок и предоставляет упрощённый интерфейс, идеально подходящий для начинающих пользователей.

Рассмотрим более детально возможности и особенности каждого из этих инструментов, а также их применение в различных сценариях программирования квадрокоптеров.

### TRIK Studio

TRIK Studio — это среда для графического программирования, предназначенная для разработки программ управления квадрокоптерами и другими роботами. Этот инструмент позволяет создавать сложные алгоритмы, используя интуитивно понятный интерфейс и функциональные блоки.

#### ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ TRIK STUDIO

1. **Интерфейс и блоки.** Интерфейс TRIK Studio позволяет пользователям создавать программы, перетаскивая и соединяя блоки. Каждая программа начинается с блока «Начало» и заканчивается блоком «Конец». Важные блоки представлены в таблице 17.1.

Таблица 17.1

БЛОКИ TRIK STUDIO

| Описание блока                                                                                                                                                                                                                                                | Изображение блока                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Условие</b> — позволяет создать два сценария действия в зависимости от заданного логического условия. У блока должны быть две исходящие связи, в одной из которых в редакторе свойств должно быть назначено значение параметра «условие» (истина или ложь) |  |

| Описание блока                                                                                                                                                                                                                                 | Изображение блока                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Конец условия</b> — обозначает слияние двух веток условного оператора. Никаких действий не выполняет, но полезен для обеспечения структурности программы                                                                                    |    |
| <b>Цикл</b> — блок, организующий выполнение последовательности блоков несколько раз                                                                                                                                                            |    |
| <b>Цикл с постусловием</b> — обозначает слияние двух веток условного оператора. Никаких действий не выполняет, но полезен для обеспечения структурности программы                                                                              |    |
| <b>Инициализация переменной</b> — позволяет объявить новую переменную. В редакторе свойств или прямо на диаграмме задаётся имя переменной и её значение                                                                                        |   |
| <b>Случайное число</b> — присваивает выбранной переменной случайное значение из выбранного диапазона                                                                                                                                           |  |
| <b>Комментарий</b> — позволяет включить в программу текстовые пояснения, упрощающие понимание структуры участка или конкретного блока                                                                                                          |  |
| <b>Таймер</b> — задаёт время ожидания перед выполнением следующего блока программы в миллисекундах                                                                                                                                             |  |
| <b>Взлёт, Посадка</b> — команды начала и завершения полёта                                                                                                                                                                                     |  |
| <b>Лететь в точку</b> — указывает координаты точки, в которую полетит квадрокоптер. Координаты вводятся без точек и запятых в строки широты и долготы. Строка «высота» отображает расстояние (в метрах) от поверхности в конечной точке полёта |  |
| <b>Получить точку (ЛК)</b> — возвращает текущую позицию в локальной системе координат                                                                                                                                                          |  |
| <b>Лететь в точку (ЛК)</b> — команда аналогична предыдущей, но точка назначения задаётся в локальных координатах. За точку отсчёта (0,0,0) принимается место взлёта. Значения координат задаются в метрах                                      |                                                                                       |
| <b>Светодиод</b> — управляет работой светодиодов на плате БВС. Меняя значения для каждого цвета, можно зажигать светодиоды по одному или в различных комбинациях. В паре с блоком «Таймер» можно задать длительность свечения                  |  |
| <b>Магнит</b> — управляет работой модуля захвата груза                                                                                                                                                                                         |  |

| Описание блока                                                                                                                                                                      | Изображение блока                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Команда</b> — позволяет выполнить написанную в свойствах команду. Для написания команды используется язык <i>Lua</i>                                                             |  |
| <b>Рыскание</b> — управляет изменением направления полёта квадрокоптера вокруг вертикальной оси. Для поворота по часовой стрелке задайте значение угла в градусах со знаком «минус» |  |

2. **Создание программы.** Для создания программы в TRIK Studio пользователи могут следовать простым инструкциям.

- **Соединение блоков:** для соединения блоков пользователи перетаскивают курсор от одного блока к другому, создавая логические связи между ними.
- **Настройка блоков:** выбранный блок можно настроить в окне «Редактор свойств». Например, для блока «Условие» можно задать логическое условие (истина или ложь).
- **Удаление и выбор блоков:** ненужные блоки можно удалять, а для выбора нескольких блоков их можно обвести рамкой или выбрать по одному, зажав клавишу Ctrl.
- **Сборка диаграммы:** важно, чтобы на диаграмме не оставалось красных стрелок и неподключённых блоков, что указывает на ошибки в программе.

3. **Пример программы.** Одним из примеров использования TRIK Studio является управление светодиодами на плате квадрокоптера. Программа включает светодиоды разными цветами на заданное время, демонстрируя основные принципы работы с блоками и их настройку. Процесс создания программы включает открытие проекта, добавление и настройку блоков, генерацию соответствующего кода на языке Lua и загрузку программы в квадрокоптер через ПО Pioneer Station (рис. 17.1).

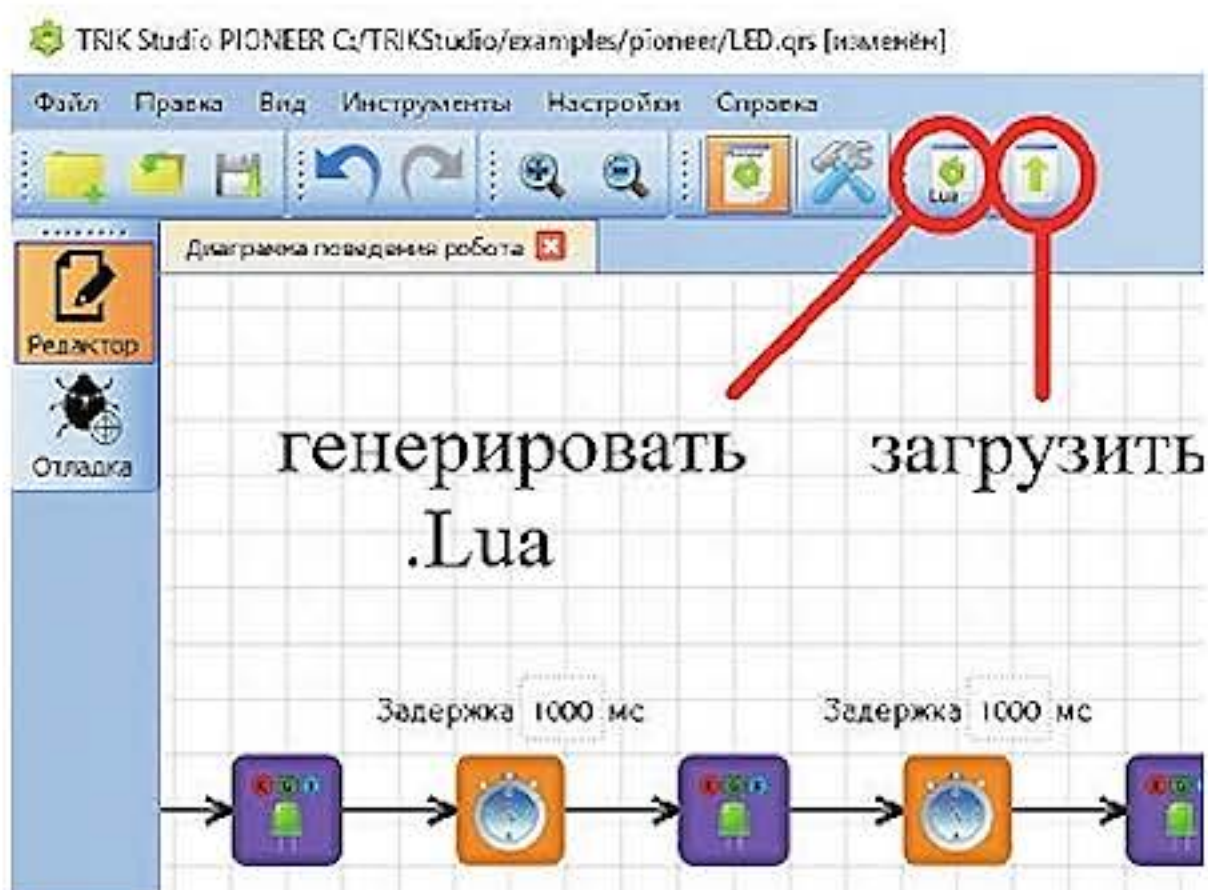


Рис. 17.1. Процесс создания и загрузки программы

4. **Полётные задания.** TRIK Studio также поддерживает создание полётных заданий для квадрокоптеров. Например, программа «Взлёт-Миссия-Посадка» позволяет квадрокоптеру взлететь, выполнить определённую миссию (например, полёт по квадрату) и затем безопасно приземлиться. Для этого используются блоки «Рисование» и «Светодиод», которые добавляют разнообразие в условия полёта. После создания диаграммы пользователи могут сгенерировать код на Lua и загрузить его в квадрокоптер.

Программа для полёта по квадрату и визуализация траектории представлены на рисунках 17.2 и 17.3.

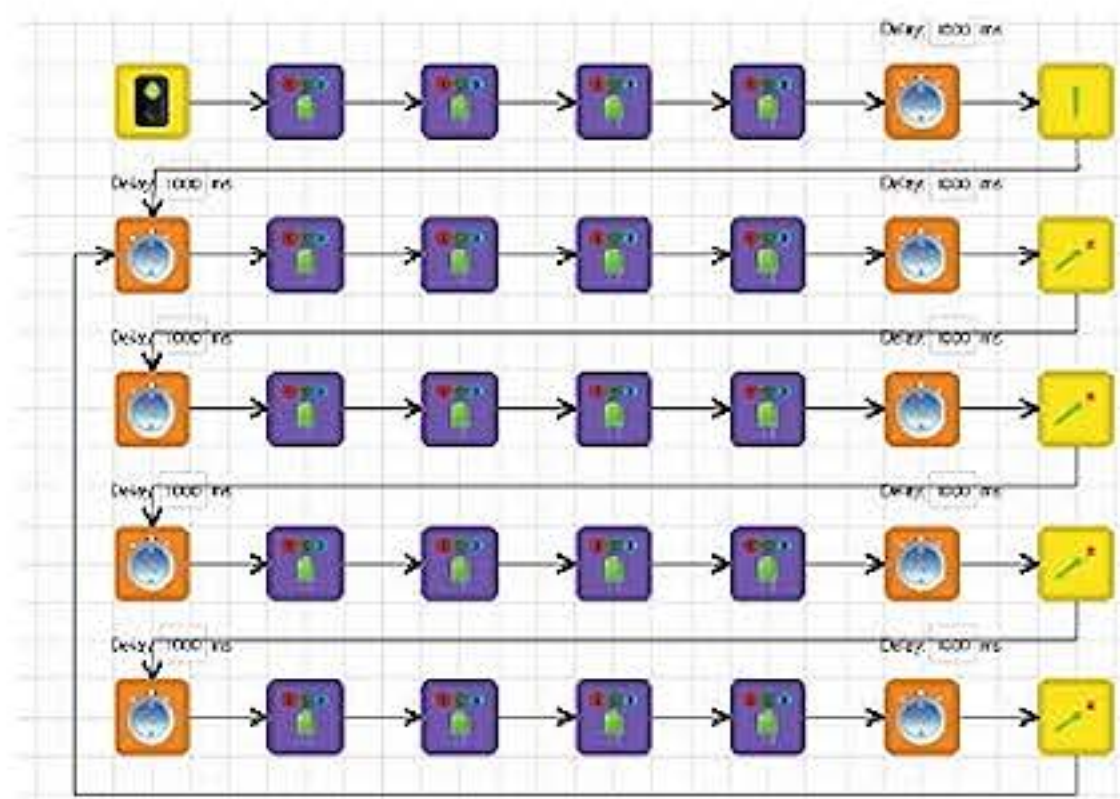


Рис. 17.2. Программа для полёта по квадрату

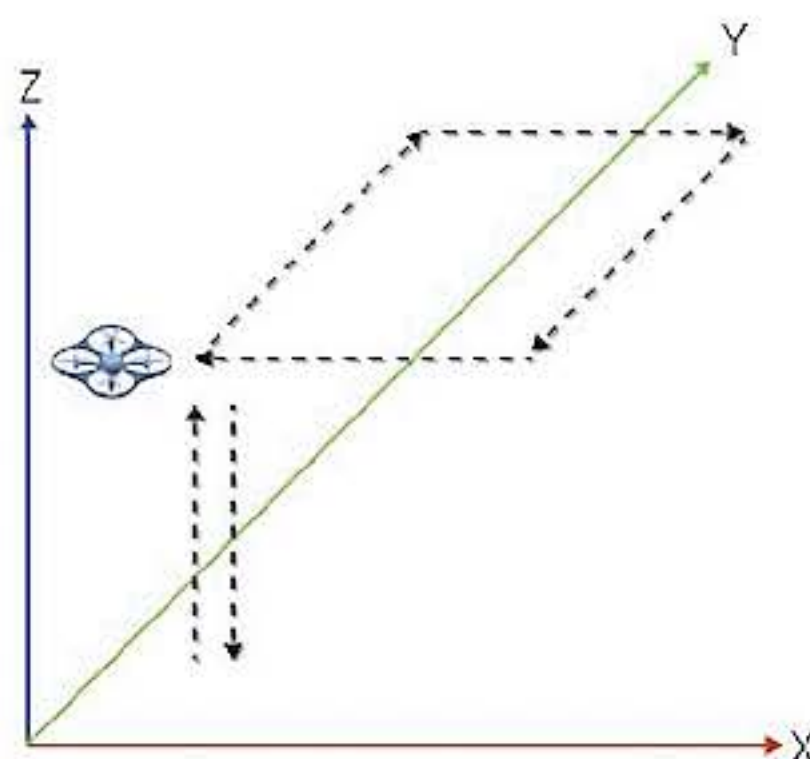


Рис. 17.3. Схема итоговой траектории

5. **Интеграция с Pioneer Station.** Программа Pioneer Station используется для синхронизации с квадрокоптером, загрузки программ и настройки параметров автономного полёта. Она обеспечивает обновление прошивки и позволяет запускать скрипты для тестирования.

6. **Программирование на Lua и Python.** TRIK Studio поддерживает программирование на Lua и Python, что открывает дополнительные возможности для продвинутых пользователей. В документации представлены примеры кода, описания методов API и события, отправляемые и принимаемые автопилотом. Пользователи могут использовать стандартный набор команд для программирования светодиодов, создания полётных заданий (рис. 17.4) и управления дополнительными модулями квадрокоптера.

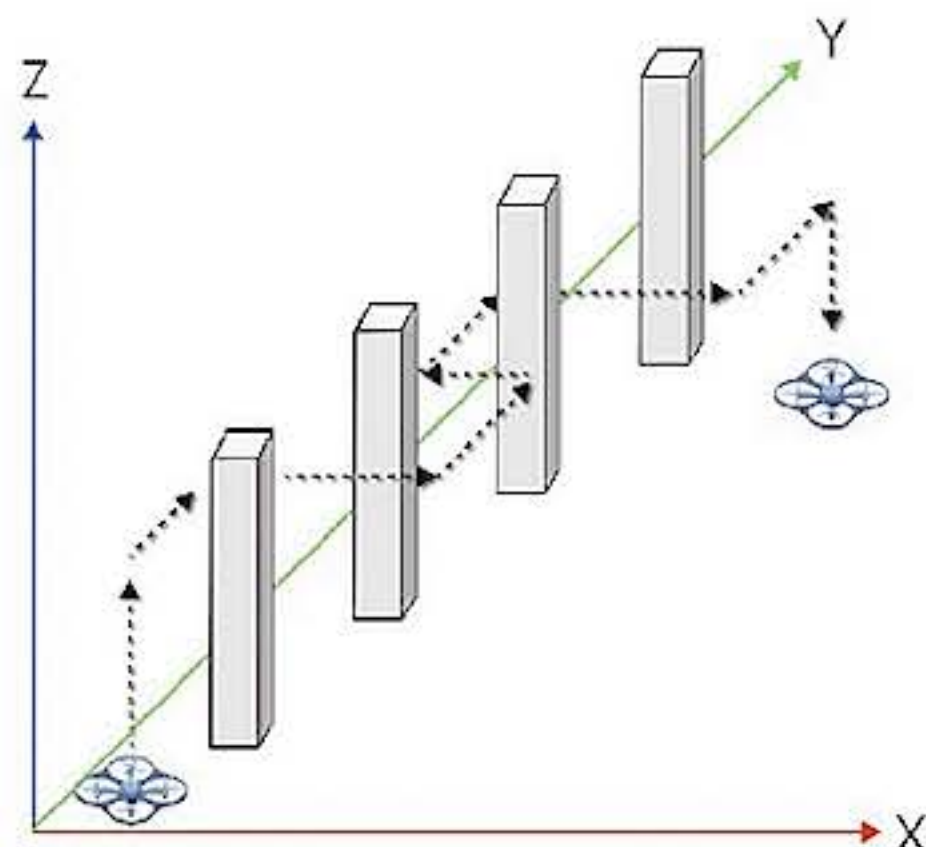


Рис. 17.4. Пример усложнённого полётного задания

## Geoscan Jump

Geoscan Jump — это приложение для блочного программирования квадрокоптеров, ориентированное на образовательные цели. Оно предоставляет пользователям возможность создавать программы, используя графические блоки, что делает процесс программирования интуитивно понятным и доступным для начинающих. Интерфейс программы представлен на рисунке 17.5.



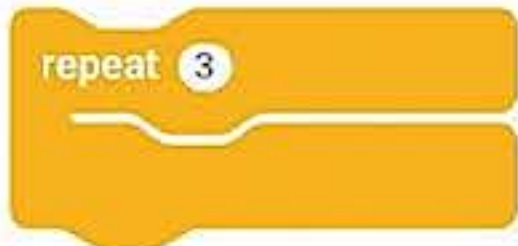
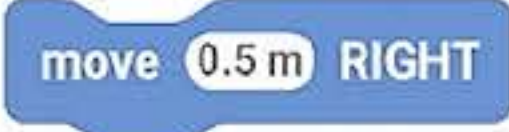
Рис. 17.5. Интерфейс приложения Geoscan Jump

## ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ GEOSCAN JUMP

1. **Интерфейс и блоки.** Приложение Geoscan Jump использует технологию drag-and-drop для перетаскивания блоков на рабочую область, разделённую на две части: палитру блоков и рабочую область. Основные блоки представлены в таблице 17.2.

Таблица 17.2

ПЕРЕЧЕНЬ БЛОКОВ GEOSCAN JUMP

| Название блока | Изображение                                                                          | Действие                                                                                            |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TAKE OFF       |    | Взлёт на высоту 'Take off'. Высота задаётся параметром Flight_com_takeoffAlt и указывается в метрах |
| LAND           |   | Посадка                                                                                             |
| REPEAT         |  | Выполняет включающие в себя операции указанное количество раз                                       |
| MOVE FORWARD   |  | Движение вперёд. Расстояние указывается в метрах                                                    |
| MOVE BACKWARD  |                                                                                      | Движение назад. Расстояние указывается в метрах                                                     |
| MOVE LEFT      |  | Движение влево. Расстояние указывается в метрах                                                     |
| MOVE RIGHT     |  | Движение вправо. Расстояние указывается в метрах                                                    |
| MOVE UP        |  | Движение вверх. Расстояние указывается в метрах                                                     |
| MOVE DOWN      |  | Движение вниз. Расстояние указывается в метрах                                                      |

| Название блока | Изображение                                                                          | Действие                                                                                            |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TURN LEFT      |    | Поворот относительно вертикальной оси (рыскание) влево. Значение указывается в градусах             |
| TURN RIGHT     |    | Поворот относительно вертикальной оси (рыскание) вправо. Значение указывается в градусах            |
| SET COLOR      |   | Включение бортовых светодиодов. При нажатии открывает палитру доступных цветов                      |
| SLEEP          |  | Установка задержки. Значение указывается в секундах                                                 |
| TAKE PHOTO     |  | Сделать фотографию. Фото сохранится на устройстве или SD-карте в зависимости от настроек приложения |

2. **Создание программы.** Создать программу в среде Geoscan Jump можно путём перетаскивания блоков из палитры на рабочую область и их соединения (рис. 17.6). Важно соблюдать порядок блоков: команды взлёта должны находиться в начале, а команды посадки — в конце. Примером программы может служить полёт по квадрату, включающий блоки TAKE OFF, MOVE FORWARD, MOVE RIGHT, MOVE BACKWARD, MOVE LEFT и LAND. Это позволяет легко понять основы управления квадрокоптером и создавать более сложные алгоритмы полёта.

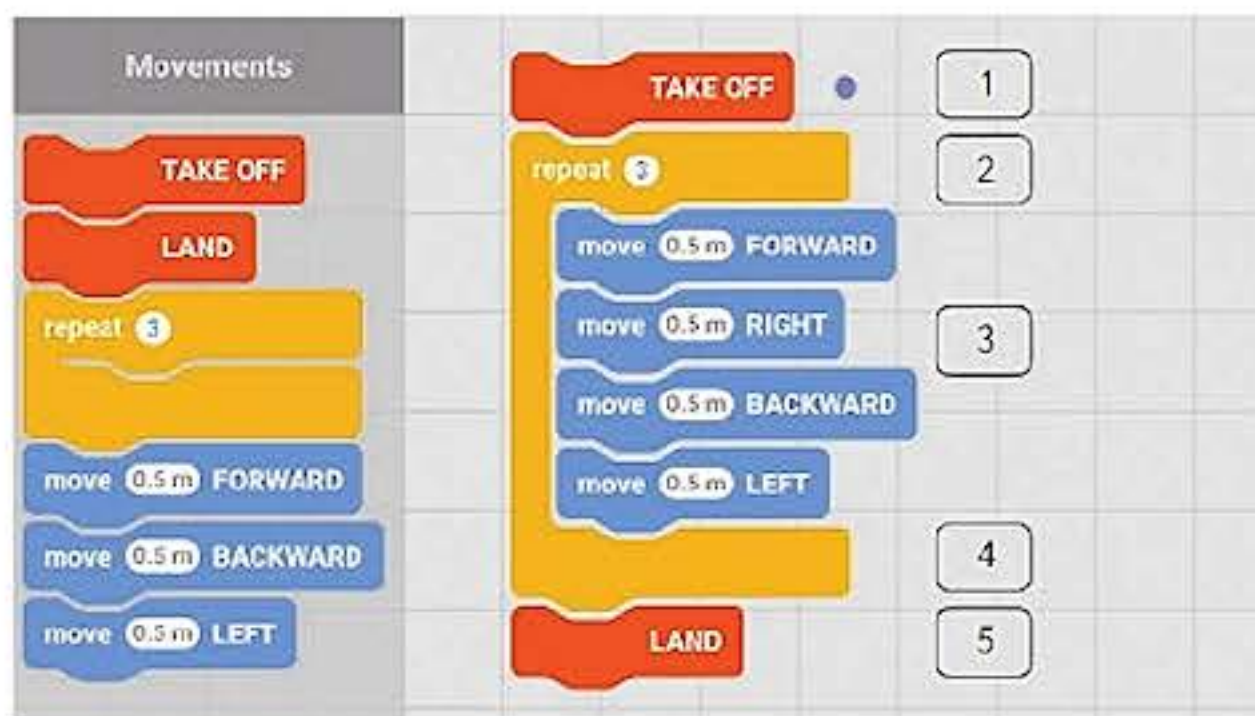


Рис. 17.6. Создание программы в Geoscan Jump

### 3. Дополнительные функции

- **Bluetooth-управление:** возможность управления квадрокоптером через Bluetooth, что упрощает процесс тестирования и отладки программ.
- **Обновление ПО:** регулярные обновления приложения добавляют новые функции и исправляют ошибки, улучшая опыт пользователей.
- **Интеграция с другими системами:** возможность интеграции с различными системами для расширения функциональности квадрокоптера, включая датчики и модули.

## Сравнение

TRIK Studio и Geoscan Jump — два инструмента для визуального программирования квадрокоптеров, однако они ориентированы на разные аудитории и платформы.

TRIK Studio доступен на настольных компьютерах с ОС Windows и Linux, предоставляя пользователям широкий перечень инструментов для программирования BBC. Интерфейс TRIK Studio поддерживает использование блоков и текстовых языков программирования, таких как Lua и Python, что делает его подходящим для более опытных пользователей и сложных проектов. Программы в TRIK Studio могут включать не только такие простые примеры, как управление светодиодами, выполнение полётных миссий, но и более продвинутые задачи. Этот инструмент часто используется в учебных и профессиональных проектах, предоставляя широкие возможности для обучения и исследований в области робототехники и программирования.

Geoscan Jump разработан для мобильных устройств, таких как смартфоны и планшеты, что делает его особенно удобным для использования в личных и образовательных целях. Geoscan Jump ориентирован на начинающих пользователей и предлагает интуитивно понятный интерфейс, где всё программирование осуществляется с помощью перетаскиваемых блоков. Это позволяет быстро и легко создавать простые программы, такие как взлёт, движение по квадрату, съёмка фото и посадка. Простота и доступность Geoscan Jump делают его идеальным инструментом для начального обучения программированию и робототехнике, популяризации этих навыков среди детей и молодёжи.



### Вопросы и задания

1. Что такое визуальное программирование и в чём его преимущества?
2. Назовите инструменты для визуального программирования квадрокоптеров (которые были рассмотрены) и их различия.
3. Каковы основные функции TRIK Studio?
4. Какие блоки доступны в Geoscan Jump и какие действия они выполняют?
5. Как создаётся программа в Geoscan Jump?

## § 18. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНИКОВ НА ЯЗЫКЕ PYTHON (+ ROS)

С развитием технологий БВС стали неотъемлемой частью различных отраслей. Визуальное программирование, основанное на графическом интерфейсе, предоставляет пользователям простой и интуитивно понятный способ создания программ для управления этими устройствами.

Текстовое программирование позволяет разработчикам более точно и детально контролировать поведение БВС, создавая сложные алгоритмы и интегрируя разнообразные библиотеки для расширения функциональности. Текстовое программирование предполагает использование синтаксических конструкций и логики для создания программ, что позволяет разработчикам выражать свои идеи и алгоритмы более точно и эффективно. Оно открывает доступ к богатому набору возможностей, таких как интеграция с различными библиотеками, поддержка сложных структур данных и создание высокопроизводительных приложений. Одним из наиболее популярных и подходящих языков для текстового программирования является Python. За счёт универсальности и лёгкости в освоении Python часто используется программистами, работающими в области беспилотных систем.

### Преимущества Python и его философия

Python — это высокоуровневый язык программирования, разработанный с акцентом на читаемость кода и простоту использования. Он обладает множеством достоинств, которые делают его хорошим выбором для программирования квадрокоптеров.

1. **Простота и читаемость кода.** Python известен своей лаконичностью и простотой синтаксиса. Это делает его доступным для разработчиков с разным уровнем подготовки, а читаемый и структурированный код позволяет быстрее разрабатывать и поддерживать программы.

2. **Большое сообщество и поддержка.** Python предлагает широкий набор библиотек, таких как NumPy, SciPy и OpenCV, облегчающих обработку данных, работу с изображениями и видеопотоками, а также машинное обучение. За счёт бесплатного свободного распространения активное сообщество разработчиков и их документация постоянно расширяют эти возможности, создавая новые инструменты и решая проблемы. Это делает Python идеальным выбором для разработки и отладки программ для квадрокоптеров, обеспечивая доступ к мощным инструментам и поддержку.

3. **Платформенная независимость.** Программы на Python могут выполняться на различных платформах, включая Windows, macOS и Linux, что делает его универсальным инструментом для разработки программного обеспечения.

4. **Интерактивность.** Python поддерживает интерактивное программирование, что позволяет разработчикам быстро тестировать идеи и отлаживать код в реальном времени.

Также Python имеет свою философию, изложенную в «The Zen of Python» (файл доступен через команду `import this` в интерпретаторе Python), и включает в себя ряд принципов. Эти принципы вы найдёте в Интернете.

## Программирование на Python

Программирование на Python отличается простотой, удобством и мощными возможностями для решения самых разнообразных задач. Чтобы понять, как работает программирование на Python, рассмотрим несколько ключевых аспектов: интерпретацию кода, использование библиотек и фреймворков, работу с данными и синтаксические особенности.

### Интерпретация кода

Python является интерпретируемым языком программирования, что означает, что *код выполняется построчно*, позволяя разработчикам тестировать и отлаживать свои программы в реальном времени. Этот процесс начинается с интерпретатора Python, который читает исходный код, проверяет его на наличие синтаксических ошибок и выполняет команды, указанные в коде.

Пример интерактивного выполнения кода в Python:

```
>>> x = 10
>>> print(x)
10
```

Этот пример показывает, как интерпретатор Python сразу выполняет введенные команды и выдает результат. Особенно полезно для быстрого тестирования и отладки.

### Использование библиотек и фреймворков

Одним из главных преимуществ Python является обширная экосистема библиотек и фреймворков, которые значительно упрощают разработку приложений. Библиотеки охватывают широкий спектр задач, включая:

- **обработку данных:** NumPy, pandas для работы с массивами и таблицами данных;
- **машинное обучение:** scikit-learn, TensorFlow, Keras для разработки и обучения моделей машинного обучения;
- **веб-разработку:** Django, Flask для создания веб-приложений;
- **обработку изображений и видео:** OpenCV для анализа и обработки изображений и видеопотоков.

Пример использования библиотеки NumPy для работы с массивами:

```
import numpy as np
# Создание массива
array = np.array([1, 2, 3, 4, 5])
print(array)
# Операции с массивами
print(array + 10)
```

Этот код демонстрирует, как легко можно работать с массивами данных, используя библиотеку NumPy.

### Работа с данными

Python предоставляет мощные инструменты для работы с данными. Основные структуры данных включают списки, кортежи, множества и словари, которые позволяют эффективно организовывать и манипулировать информацией.

Примеры работы с данными:

**1. Списки:**

```
numbers = [1, 2, 3, 4, 5]
print(numbers)
# Добавление элемента в список
numbers.append(6)
print(numbers)
# Итерация по списку
for number in numbers:
    print(number)
```

**2. Словари:**

```
# Создание словаря
student = {'name': 'John', 'age': 20, 'courses': ['Math', 'Science']}
print(student)
# Доступ к элементам словаря
print(student['name'])
print(student['courses'])
# Добавление нового элемента student['grade'] = 'A'
print(student)
```

Эти примеры показывают, как легко можно работать с различными структурами данных в Python.

## Синтаксические особенности

Python известен своим простым и лаконичным синтаксисом. В отличие от многих других языков, Python использует отступы (инденты) для обозначения блоков кода, что делает его более читаемым и структурированным.

Основные синтаксические конструкции включают:

**1. Переменные и типы данных:**

```
x = 10 # Целое число
y = 3.14 # Число с плавающей точкой
name = «Python» # Строка
is_active = True # Логическое значение
```

**2. Условия:**

```
if x > 5:
    print («x больше 5»)
else:
    print («x меньше или равно 5»)
```

**3. Циклы:**

```
x = 10
for i in range(5):
    print(i) # Выводит числа от 0 до 4
while x > 0:
    print(x)
    x = 1 # Уменьшает значение x на 1
```

**4. Функции:**

```
def greet(name):
    return f «Hello, {name}!»
print(greet(«Python»)) # Выводит «Hello, Python!»
```

## Объектно-ориентированное программирование

Python поддерживает объектно-ориентированное программирование (ООП), которое позволяет организовать код в виде объектов и классов. Это упрощает разработку и поддержание сложных приложений.

```
class Dog:
    def __init__(self, name, age):
        self.name = name
        self.age = age
    def bark(self):
        return f«{self.name} говорит гав!»
# Создание объекта
my_dog = Dog(name=«Бобик», age=5)
print(my_dog.bark()) # Выводит «Бобик говорит гав!»
```

Этот пример показывает, как создавать классы и объекты, а также как использовать методы для взаимодействия с объектами.

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА

Программирование квадрокоптера на Python с использованием SDK (Software Development Kit) позволяет разработчикам создавать сложные приложения для управления и автоматизации полётов. SDK предоставляет высокоуровневые API для взаимодействия с аппаратным обеспечением квадрокоптера, что значительно упрощает процесс разработки. В контексте квадрокоптеров Geoscan Pioneer используется библиотека Pioneer SDK, которая предоставляет множество функций для управления полётом, работы с датчиками и выполнения различных задач.

## Инициализация и подключение

Первым шагом при программировании квадрокоптера является инициализация объекта квадрокоптера и установление связи с устройством. Это позволяет отправлять команды и получать данные с квадрокоптера.

Пример кода для инициализации и подключения:

```
from pioneer_sdk import Pioneer
# Создание объекта Pioneer и подключение к квадрокоптеру
pioneer = Pioneer()
# Проверка подключения
if pioneer.is_connected():
    print(«Успешно подключено к квадрокоптеру»)
else:
    print(«Не удалось подключиться к квадрокоптеру»)
```

## ВЗЛЁТ

Пример кода для взлёта квадрокоптера:

```
# Разблокировка двигателей и взлёт
pioneer.arm()
pioneer.takeoff()
```

## ПОСАДКА

Пример кода для посадки квадрокоптера:

```
# Посадка и блокировка двигателей
pioneer.land()
pioneer.disarm()
```

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЗИЦИИ

```
# Получение текущих координат квадрокоптера
current_position = pioneer.get_local_position()
print(f«Текущие координаты: x={current_position.x},
y={current_position.y}, z={current_position.z}»)
```

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ С КАМЕРЫ

Пример кода для получения и сохранения кадра с камеры квадрокоптера:

```
# Получение данных с камеры
image = pioneer.get_camera_frame()
if image is not None: # Сохранение кадра на диск
    with open('camera_frame.jpg', 'wb') as f:
        f.write(image)
```

## ПОЛЁТ ПО ТОЧКАМ

Пример кода для выполнения полёта по заданным координатам:

```
# Задание маршрута с несколькими точками
waypoints = [(0, 0, 1), (1, 1, 1), (2, 0, 1)]
# Инициализация и взлёт
pioneer.arm()
pioneer.takeoff()
# Полёт по маршруту
for point in waypoints:
    pioneer.go_to_local_point(x=point[0], y=point[1],
                             z=point[2], yaw=0)
# Посадка и блокировка двигателей
pioneer.land()
pioneer.disarm()
```

## Протокол MAVLink



MAVLink (Micro Air Vehicle Link) — это легковесный протокол обмена сообщениями для взаимодействия между беспилотными летательными аппаратами и наземными станциями. MAVLink широко используется для связи между контроллерами полёта, наземными станциями и другими компонентами системы. Он обеспечивает двустороннюю связь и поддерживает различные типы сообщений, такие как команды управления, телеметрия, данные с сенсоров и др.

Основные особенности MAVLink:

- **легковесность:** протокол разработан для минимального использования пропускной способности, что делает его эффективным для использования в беспроводных сетях;
- **гибкость:** MAVLink поддерживает различные типы сообщений и может быть расширен для поддержки новых команд и данных;
- **надёжность:** протокол включает механизмы проверки ошибок и повторной передачи, что обеспечивает надёжную связь даже в условиях плохого сигнала.

Для лучшего понимания, как Python взаимодействует с библиотеками и квадрокоптером через протокол MAVLink, на рисунке 18.1 представлена схема выполнения кода.

1. **Computer:** на компьютере выполняется Python-код, который включает использование библиотеки Pioneer SDK для управления квадрокоптером.

2. **Python Code + Pioneer SDK:** Python-код использует методы из библиотеки Pioneer SDK для отправки команд квадрокоптеру.

3. **Quadcopter (via MAVLink):** команды передаются на квадрокоптер через протокол MAVLink, обеспечивая связь и управление устройством.



Рис. 18.1. Схема выполнения кода

## Использование симулятора Geoscan Simulator

Geoscan Simulator — это инструмент для разработки и тестирования программ для квадрокоптеров без необходимости использования реального оборудования. Симулятор позволяет моделировать различные сценарии и условия полёта, что помогает выявить и устранить ошибки до реального запуска. Он поддерживает симуляцию полётов в разных условиях, таких как погода, освещение и топография местности.

Основные возможности симулятора:

- **моделирование полёта:** возможность тестирования полётных сценариев и алгоритмов управления в виртуальной среде;
- **безопасность:** исключает риск повреждения реального оборудования при тестировании;
- **гибкость:** позволяет изменять параметры полёта и условия окружающей среды для различных сценариев.

Пример использования симулятора для моделирования полёта по квадратной траектории:

```
from pioneer_sdk import Pioneer
import math
import numpy as np
import time
```

```

# Параметры полёта flight_height = float(1)
square_points = [ (0, 0, 1, 0), (-2, -2, 2, 0), (-2, 2, 2, 0),
(2, 2, 2, 0), (2, -2, 2, 0), (-2, -2, 2, 0), (0, 0, 1, 0) ]
# Инициализация объекта Pioneer для симуляции
pioneer_mini = Pioneer(name='pioneer', ip='127.0.0.1',
mavlink_port=8000) # указываем порт и ip
pioneer_mini.arm()
pioneer_mini.takeoff()
for point in square_points:
    pioneer_mini.go_to_local_point(*point)
while not mini.point_reached():
    pass # Ожидание для стабилизации на каждой точке
pioneer_mini.land()
pioneer_mini.disarm() # Посадка и блокировка двигателей

```

Этот код иллюстрирует моделирование полёта квадрокоптера по квадратной траектории, что представлено на рисунке 18.2. Симулятор позволяет безопасно тестировать и отлаживать программы, избегая риска повреждения реального оборудования.

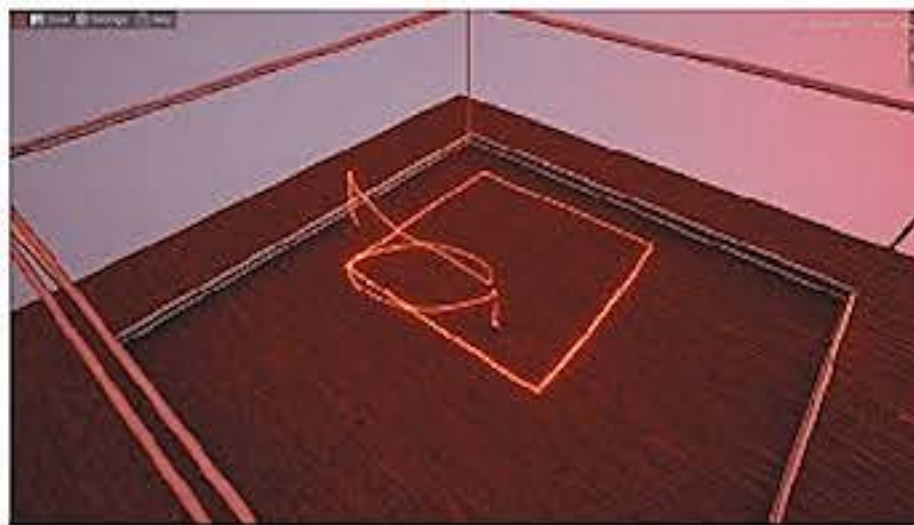


Рис. 18.2. Моделирование полёта по квадратной траектории в Geoscan Simulator

## Решаемые задачи

Программирование квадрокоптеров на Python позволяет решать широкий спектр задач от простых до высокоинтеллектуальных. Приведём примеры задач.

**1. Автономное управление полётом.** Создание алгоритмов для выполнения заданных маршрутов, избегание препятствий и стабилизация полёта. Например, можно создать программу, которая направляет квадрокоптер по заданной траектории, используя данные GPS и инерционных датчиков.

**2. Обработка данных с датчиков.** Использование данных с камер, лидаров, GPS и других датчиков для ориентации в пространстве и выполнения сложных манёвров. Например, можно использовать OpenCV для обработки видеопотока с камеры квадрокоптера, чтобы анализировать изображение для обнаружения препятствий и объектов интереса.

**3. Интеграция машинного обучения.** Применение алгоритмов машинного обучения для анализа данных и принятия решений в реальном времени. Например, можно обучить модель для распознавания объектов на основе данных с камеры квадрокоптера и использовать эту модель для автоматического обнаружения и отслеживания объектов во время полёта.

**4. Тестирование программ.** Реальные квадрокоптеры и симуляторы позволяют тестировать программы в различных условиях. Тестирование на реальных устрой-

ствах обеспечивает реальное представление о поведении устройства в полёте, однако это связано с рисками повреждения оборудования при ошибках в программном обеспечении. Geoscan Simulator предоставляет безопасную и контролируемую среду для тестирования и отладки программ.

С увеличением требований к автономности и функциональности беспилотных летательных аппаратов (БЛА) разработка программного обеспечения для их управления становится всё более сложной задачей. В этом контексте использование Python и C++ вместе с ROS (Robot Operating System) и её улучшенной версией ROS2 представляет собой мощное решение для создания и тестирования автономных систем. Python благодаря своей простоте и мощным библиотекам широко используется для написания скриптов и алгоритмов в ROS, что делает процесс разработки более гибким и удобным. C++, в свою очередь, предоставляет высокую производительность и контроль над системными ресурсами, что важно для задач реального времени и высоконагруженных систем. Этот раздел будет посвящён принципам работы ROS с использованием Python и C++, структуре пакетов и областям применения ROS в контексте работы с БЛА.

ROS представляет собой гибкую и модульную платформу, предназначенную для разработки программного обеспечения для робототехники. Она включает в себя набор инструментов и библиотек, которые поддерживают взаимодействие между различными компонентами системы, такими как сенсоры, алгоритмы управления и исполнительные механизмы. ROS2, являясь последней версией, включает в себя улучшения, такие как поддержка реального времени и распределённой обработки данных, что делает её более подходящей для сложных и критически важных приложений.



## ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Создание Robot Operating System (ROS) началось как ответ на необходимость стандартизированной и гибкой платформы для разработки программного обеспечения для робототехники. До появления ROS разработчики сталкивались с многочисленными трудностями при интеграции различных компонентов и алгоритмов в единые системы. ROS как свободно распространяемый набор инструментов появилась в 2009 г. после нескольких лет упорной работы сообщества разработчиков и представляла базовый набор инструментов и библиотек для разработки робототехнических приложений. ROS быстро завоевала популярность благодаря своей модульной структуре, которая позволяла разработчикам легко интегрировать новые компоненты и адаптировать систему под различные задачи. Активное сообщество разработчиков и исследователей внесло значительный вклад в развитие платформы, создавая новые пакеты, инструменты и библиотеки. Это способствовало быстрому росту и расширению функциональности ROS. С развитием технологий и увеличением требований к производительности и надёжности было принято решение о разработке новой версии системы — ROS2. Сегодня ROS является одной из самых популярных платформ для разработки программного обеспечения для робототехники. Она используется в академических исследованиях, коммерческих продуктах и промышленных решениях. ROS продолжает развиваться, получая регулярные обновления и поддержку от широкого сообщества разработчиков.

Python и C++ являются основными языками программирования для ROS, предоставляя некоторые преимущества относительно друг друга.

### 1. Python

- *Простота и читаемость кода.* Python позволяет писать понятный и легко поддерживаемый код, что ускоряет процесс разработки.

- *Мощные библиотеки.* Большое количество доступных библиотек для обработки данных, машинного обучения и взаимодействия с аппаратным обеспечением.
- *Сообщество и поддержка.* Широкое сообщество разработчиков и обилие документации облегчают решение возникающих проблем.

## 2. C++

- *Высокая производительность.* C++ обеспечивает высокую скорость выполнения программ и эффективное использование ресурсов системы.
- *Контроль над ресурсами.* Возможность тонкой настройки управления памятью и системными ресурсами, что важно для задач реального времени.
- *Модульность и масштабируемость.* Возможность создания высокопроизводительных и масштабируемых приложений.

Основные компоненты ROS включают:

- *Nodes (узлы):* отдельные программы, которые выполняют конкретные задачи, такие как сбор данных с сенсоров или управление двигателями. Узлы могут быть написаны как на Python, так и на C++, что позволяет выбирать оптимальный язык для конкретных задач;
- *Topics (темы):* каналы, через которые узлы обмениваются сообщениями;
- *Services (сервисы):* синхронные вызовы, которые позволяют узлам взаимодействовать более сложным образом;
- *Messages (сообщения):* структуры данных, используемые для передачи информации между узлами.

## ПАКЕТНАЯ СТРУКТУРА ROS

ROS организована в виде пакетов, каждый из которых может содержать узлы, библиотеки, конфигурационные файлы и другие ресурсы, необходимые для выполнения определённых задач. Пакеты могут быть легко переиспользованы и комбинированы для создания сложных систем. Типичная структура пакета включает:

- `src/`: исходный код узлов на Python и C++;
- `launch/`: файлы для запуска узлов и настройки параметров;
- `msg/`: определения сообщений;
- `srv/`: определения сервисов;
- `config/`: конфигурационные файлы.

Благодаря пакетной структуре ROS проведение отладочных работ становится значительно проще и удобнее. Эта структура позволяет разработчикам легко заменять часть отправляемых данных на требуемые для различных сценариев, не изменяя при этом основной код. Такая гибкость особенно полезна при тестировании и отладке алгоритмов управления, навигации и взаимодействии с сенсорами. Разработчики могут оперативно модифицировать данные, поступающие в систему, и наблюдать за реакцией модели БВС на различные условия, что существенно ускоряет процесс отладки и улучшает качество программного обеспечения. Визуализация и мониторинг работы узлов и данных в ROS выполняются с помощью инструмента `rqt`, который предоставляет удобный интерфейс для анализа и управления компонентами системы.

Совмещение же модели беспилотного летательного аппарата с ROS (Robot Operating System) или ROS2 представляет собой мощный инструмент для разработки и тестирования автономных аппаратов, что открывает ряд возможностей.

#### **Управление БВС**

- ROS/ROS2 предоставляет инструменты для разработки алгоритмов управления, навигации и планирования маршрутов для автономных БВС.
- Модель может быть интегрирована в среду ROS/ROS2 как управляемый робот, что позволяет разработчикам тестировать и отлаживать свои алгоритмы в симулированной среде до перехода к реальным полётам.

#### **Сенсоры и восприятие**

- ROS/ROS2 поддерживает интеграцию с различными сенсорами, такими как камеры, лидары, GPS и инерционные измерительные устройства (IMU), которые могут быть использованы для восприятия окружающей среды.
- Модель может эмулировать данные сенсоров и передавать их в систему ROS/ROS2 для обработки и использования в алгоритмах навигации и планирования.

#### **Симуляция и тестирование**

- ROS/ROS2 позволяет создавать симуляционные среды с различными условиями, такими как погода, освещение и топография, для тестирования поведения БВС в различных сценариях.
- В симуляционной среде ROS/ROS2 можно проводить тесты автономного поведения и эффективности алгоритмов без риска повреждения физического оборудования.

#### **Разработка программного обеспечения**

- Разработчики могут использовать инструменты и библиотеки ROS/ROS2 для разработки и отладки программного обеспечения для управления и взаимодействия с БВС.
- Интеграция модели БВС с ROS/ROS2 позволяет разработчикам создавать и тестировать различные компоненты программного обеспечения, такие как планирование маршрутов, системы управления и обработка данных с сенсоров, в модульной и гибкой среде.

В качестве симулятора может использоваться как штатный Gazebo (рис. 18.3 и 18.4), так и продвинутый от NVIDIA — Isaac Sim и мост на ROS/ROS2 (рис. 18.6).

Совмещение модели БВС с ROS или ROS2 представляет собой эффективный способ разработки и тестирования автономных систем, обеспечивая гибкость, масштабируемость и надёжность в различных областях применения, от исследований до промышленных решений.



Рис. 18.3. Использование Gazebo для симуляции соревновательных полётов вдоль линии сквозь кольца



Рис. 18.4. Симуляция БВС Parrot в Gazebo



Рис. 18.5. Симуляция полёта БВС над городской картой в Isaac Sim



### Вопросы и задания

1. Почему Python был выбран для программирования квадрокоптеров?
2. Перечислите задачи, которые можно решать при программировании квадрокоптеров на Python.
3. Что представляет собой ROS и как её пакетная структура облегчает отладочные работы?
4. Назовите преимущества использования Python и C++ в ROS.
5. Какие инструменты используются для визуализации и мониторинга работы узлов и данных в ROS?
6. Какие возможности предоставляет совмещение модели BBC с ROS или ROS2?
7. Подумайте о возможностях, которые предоставляет ROS для тестирования поведения BBC в различных сценариях, и перечислите их.

## § 19. КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

Для того чтобы ответить на вопрос о том, что такое компьютерное зрение, можно сопоставить человеческое зрение и машинное. Человеческое зрение — это способность человека воспринимать информацию об окружающем мире при попадании света на сетчатку глаза. Соответственно, компьютерное зрение — это способность компьютера считывать информацию об окружающем мире с изображения.

### Что такое машинное зрение

Основная задача машинного (компьютерного) зрения — это извлечение информации из изображения. В зависимости от изображения получаемая информация может быть разной. Мы можем проанализировать сцену: вне помещения или внутри. Можем проанализировать объекты на изображении: небо, машины, люди и т. д. Можем проанализировать свойства объектов на изображении: цвет автомобиля, к примеру, или погоду, с осадками или без, что делают люди, идут или просто стоят. Также можем проанализировать надписи, если они есть, а по теням даже можем понять время съёмки.

**Компьютерное зрение** — это отрасль искусственного интеллекта, которая позволяет компьютерам и системам извлекать ценную информацию из цифровых изображений, видео и других визуальных данных, а затем давать обратную связь или вносить изменения в робототехническую систему на основе полученной информации.

К сожалению, на множество вопросов по изображению машина не способна ответить так, как это сделал бы человек, поскольку для ответа на массу вопросов необходимо обладать массой специфических знаний. Для ответа на вопрос о местоположении необходимо знать географию и уметь распознать город, станцию метро или любые другие объекты, которые помогут определить местоположение на картинке. Для ответа на вопрос о том, какой текст расположен на изображении, необходимо знать язык, на котором сделаны надписи. Для того чтобы компьютерное зрение было полноценным, компьютер должен обладать искусственным интеллектом, работа над созданием которого уже идёт. Но некоторые частные задачи компьютерного зрения мы уже умеем решать. Прежде чем мы познакомимся с программной реализацией (библиотека OpenCV), необходимо рассмотреть актуальные сферы применения машинного зрения.

## Сферы применения компьютерного зрения

### *Здравоохранение и медицина*

В настоящее время технологии компьютерного зрения в связке с искусственным интеллектом всё чаще используются в медицине для постановки диагнозов, мониторинга пациентов, диагностики снимков и т. п. Компьютерное зрение позволяет автоматизировать процесс анализа медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки, МРТ- и КТ-сканы, УЗИ и др. Это помогает врачам быстрее и точнее ставить диагнозы. В настоящее время на основе машинного зрения уже есть системы, которые могут диагностировать определённые заболевания на уровне квалифицированных специалистов, а иногда даже увидеть симптомы болезней на самом раннем этапе.

### *Сельское хозяйство и земледелие*

Машинное зрение в сельском хозяйстве используется для автоматизации процессов сбора и анализа информации, полученной с помощью беспилотников или других средств. Например, алгоритмы компьютерного зрения могут быть использованы для классификации посевов, определения типа растений на каждом из участков поля. Компьютерное зрение может помочь определить, какие растения здоровы, а какие нуждаются в лечении или удалении. Также машинное зрение может анализировать изображение для отслеживания состояния почвы, следить за необходимостью внесения удобрений, контролировать развитие паразитов на засевах. Помимо всего прочего, компьютерное зрение помогает и в логистическом плане, оценивая по изображению с БВС перемещение сельскохозяйственной техники и оптимизируя её маршрут. В целом технологии машинного зрения в сельском хозяйстве значительно повышают эффективность и снижают затраты.



### ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Беспилотный транспорт с использованием алгоритмов компьютерного зрения встретить на дорогах нашей страны можно было начиная с 28 августа 2018 г. (рис. 19.1). Именно тогда крупнейшая в стране IT-компания «Яндекс» запустила свой первый сервис беспилотного такси в городе Иннополис, Республика Татарстан.



Рис. 19.1. Беспилотное такси Яндекса

### *Транспорт*

Компьютерное зрение активно используется в различных транспортных системах, таких как автономные автомобили, системы безопасности и управления трафиком. Например, в автономных автомобилях машинное зрение используется для обнаружения объектов на дороге, классификации типов транспортных средств и определения их скорости. На основе полученных данных беспилотный автотранспорт принимает решения о том, как ему управлять движением и взаимодействовать с другими участниками транспортного потока. Кроме того, машинное зрение используется в системах безопасности для обнаружения нарушений правил дорожного движения. Наконец, компьютерное зрение также может использоваться для управления трафиком, оптимизируя работу светофоров, опираясь на данные, полученные с изображений.

### *Производство*

На производстве машинное зрение используется для обнаружения бракованных деталей и их удаления из общего потока продукции. Также компьютерное зрение может использоваться для контроля за соблюдением стандартов качества и безопасности на производстве. В целом машинное зрение позволяет повысить эффективность производства, снизить затраты на ручной труд и улучшить качество выпускаемой продукции.

### *Компьютерное зрение и робототехника*

Компьютерное зрение является важной составляющей робототехники, поскольку позволяет роботам «видеть» окружающий мир и взаимодействовать с ним. Машинное зрение может использоваться для распознавания объектов, отслеживания движений, определения положения робота в пространстве и многого другого. В робототехнике чаще всего компьютерное зрение используется для движения по линии, определения маркеров и детектирования объектов.

### *Передвижение по линии*

Передвижение по линии с помощью машинного зрения — одна из типичных задач олимпиадного программирования (рис. 19.2). Участники чаще всего соревнуются в скорости прохождения трассы, двигаясь по чёрной контрастной линии. Машинное зрение тут используется для определения положения этой линии на изображении.

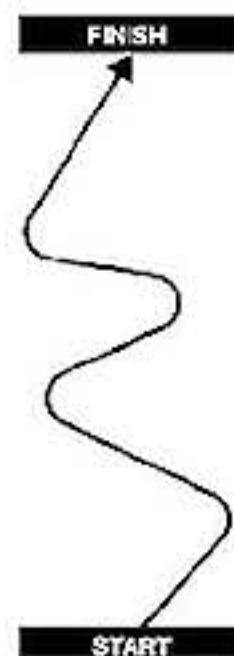


Рис. 19.2.  
Трасса

### *Определение маркеров*

ArUco-маркер (рис. 19.3) — это особый вид маркеров, которые используются в компьютерном зрении и робототехнике для локализации, сопровождения и распознавания объектов, на которые эти маркеры нанесены. В библиотеках для работы с машинным зрением есть встроенный функционал по определению таких маркеров на изображении.

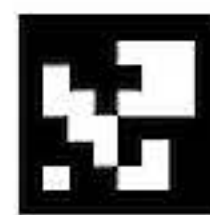


Рис. 19.3.  
ArUco-маркер

### *Детектирование объектов*

Это ещё одна из задач компьютерного зрения более продвинутого уровня. Детектировать конкретные предметы на изображении помогает связка технологий машинного зрения и нейронных сетей.

## **Вектор развития технологии**

### *Генеративный ИИ и компьютерное зрение*

Генеративный ИИ в наше время оказывает воздействие по всем направлениям, и область компьютерного зрения не стала исключением.



**Генеративный искусственный интеллект** — это тип системы искусственного интеллекта, способной генерировать текст, изображения или другие медиаданные.

Методы, которыми генеративный ИИ может повлиять на развитие машинного зрения, включают в себя способность генерировать синтетические данные, которые можно использовать для обучения систем компьютерного зрения (например, распознавание лиц, обнаружение объектов и т. д.) с меньшими затратами.

### *SLAM, 3D компьютерное зрение*

Алгоритмы компьютерного зрения становятся всё более совершенными в таких задачах, как анализ трёхмерных изображений. В этой технологии применяются раз-

ные подходы, например использование нескольких камер для съёмки под разными углами или на основе света для измерения времени, необходимого свету для отражения от поверхности объекта (технология LIDAR). 3D-модель предоставляет более точные данные о глубине и расстоянии, а также может использоваться для создания более точных пространственных карт. Реализация подобной технологии известна под термином SLAM.



**SLAM** — метод, используемый в беспилотных воздушных судах (или другой робототехнической системе) для построения карты в неизвестном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути.

В целом принцип работы SLAM следующий: БВС необходимо в каждый момент времени знать своё местоположение, а также постепенно сканировать окружение при помощи сенсоров, составляя таким образом карту местности. В такой системе основным источником информации о местоположении робота является одометрия, полученная тем или иным образом, например при помощи компьютерного зрения.



**Одометрия** — использование данных о движении для оценки перемещения. Одометрия является не методом определения положения, а лишь средством его оценки.

#### *Периферийные вычисления*

Тенденция обработки визуальных данных в компьютерном зрении движется к непосредственной обработке их на устройстве, на котором они собираются, чтобы снизить затраты на полосу пропускания при передаче их беспроводным способом и достичь в итоге большего быстродействия. Решения, использующие набортные вычисления для систем компьютерного зрения, потенциально весьма выгодны, поэтому небольшие модели машинного зрения, реализованные на устройствах с низким энергопотреблением, станут ключевой тенденцией в будущем.

#### *Информационная безопасность*



**Дипфейк** — метод синтеза изображения, голоса или видео, основанный на искусственном интеллекте.

По мере того как дипфейки, созданные искусственным интеллектом, становятся всё более убедительными, мы строим мир, в котором границы между реальным и созданным компьютером постоянно стираются. Это имеет поистине тревожные последствия для нашей способности обнаруживать дезинформацию. Компьютерное зрение играет важную роль в смягчении этой угрозы благодаря своей способности анализировать изображение на предмет явных признаков того, что оно было сгенерировано алгоритмом.

#### *Анализ спутниковых снимков*

Совмещая технологию машинного зрения с изображениями из космоса, можно отслеживать многие виды деятельности на Земле, включая вырубку лесов, распространение наводнений и лесных пожаров, масштабы разрастания городов, загрязнение и миграцию в морских экосистемах. По мере того как изображения становятся более точными и подробными, а алгоритмы компьютерного зрения более эффективными, мы получаем более глубокое понимание, которое позволит своевременно принимать меры и лучше использовать ресурсы.

## Основы работы с библиотекой OpenCV

### Библиотека OpenCV

Для возможности обработки изображений из программного кода нам понадобится библиотека компьютерного зрения OpenCV. OpenCV — это библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым исходным кодом. Реализована на языке C/C++, также разрабатывается для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua.

### Методы определения объектов по цвету

Одна из простейших задач для начала освоения компьютерного зрения — это определение объектов на изображении по цвету. Наша задача — превратить пиксели на изображении, которые определяют наш объект, в белые, а остальные пиксели в чёрные, чтобы можно было легче найти и обрисовать контуры объекта, который мы ищем на изображении. Такой процесс называется бинаризацией.



**Бинаризация** — это процесс обработки изображения, который превращает все пиксели изображения в чёрный или белый цвет по цветовой маске.

Идея определения объектов на изображении по цвету с помощью бинаризации заключается в том, что мы сначала переведём изображение в другое цветовое пространство для более точного задания цветового диапазона бинаризации (рис. 19.4). После фильтрации изображения по цвету мы получим маску бинаризации — изображение, пиксели которого белого или чёрного цвета, после чего можно будет выделить контуры искомого нами объекта.



```
import cv2

frame = cv2.imread('road.jpg')
hsv_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

cv2.imshow('RGB', frame)
cv2.imshow('HSV', hsv_frame)
cv2.waitKey(0)
```

Рис. 19.4. Перевод изображения в цветовое пространство HSV

### Цветовые пространства

Для начала работы необходимо перевести изображение из привычного нам цветового пространства RGB в пространство HSV. RGB — цветовая модель, описывающая способ кодирования цвета для цветовоспроизведения с помощью трёх цветов, которые принято называть основными (RED — красный, GREEN — зелёный, BLUE — синий). HSV — цветовая модель, в которой координатами цвета являются: Hue — цветовой тон, Saturation — насыщенность цвета, Value — яркость цвета.

Для примера возьмём изображение беспилотного аппарата, на котором попытаемся с помощью бинаризации определить этот аппарат. Первое, что нам необходимо сделать, это перевести изображение из цветового пространства RGB в пространство HSV. В библиотеке OpenCV есть все возможные методы для стандартных

операций над изображением. Для перевода изображения из одного цветового пространства в другое существует метод `cvtColor`.

С помощью метода `imread` считываем наше исходное изображение. Метод `cvtColor` (`convert color`) переводит наше изображение из цветового пространства RGB в цветовое пространство HSV за счёт константы `cv2.COLOR_BGR2HSV`. Переводить изображение можно и в другие цветовые пространства. Обратите внимание, как выглядит изображение RGB в пространстве HSV (рис. 19.5).



Рис. 19.5. Сравнение изображений RGB- и HSV-форматов

Не очень удобно, правда? Однако задавать цветовые фильтры для бинаризации на HSV-изображении намного проще, чем в RGB, из-за возможности задавать оттенок, насыщенность и яркость цвета, а не конкретный его цветовой оттенок путём смешивания трёх компонентов.

#### Бинаризация

Далее нам необходимо подобрать диапазон цвета, в который войдут только те цвета, которые содержит в себе беспилотный аппарат. Подобрать фильтр и получить чёрно-белое изображение нам поможет готовый метод библиотеки OpenCV `inRange` (рис. 19.6).

```
import cv2

frame = cv2.imread('road.jpg')
hsv_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

min_color = (163, 154, 161)
max_color = (182, 205, 205)

hsv_mask = cv2.inRange(hsv_frame, min_color, max_color)
cv2.imshow('RGB', frame)
cv2.imshow('HSV', hsv_mask)

cv2.waitKey(0)
```

Рис. 19.6. Фильтрация цветов

Метод `inRange` вернёт в качестве результата изображение, в котором все пиксели, которые попадают в цветовой диапазон, будут белыми, а остальные — чёрными (рис. 19.7). Метод принимает в качестве параметров исходное изображение и диапазоны цвета в цветовом пространстве исходного изображения. Мы будем выделять цвета в режиме HSV, поэтому в качестве исходного изображения будем передавать в метод именно HSV-изображение.



Рис. 19.7. Бинаризация

#### *Поиск и рисование контуров*

Задача детектирования объекта по цвету может считаться выполненной, так как мы нашли контуры беспилотного аппарата. Однако это всё ещё недостаточно наглядно. В библиотеке OpenCV существует ряд методов, которые предназначены для поиска и работы с контурами. Для завершения задачи нам осталось найти контуры на изображении (на чёрно-белом изображении контуры аппарата будут белыми) и отрисовать их снаружи, не используя внутренние контуры. Для поиска и отрисовки контуров в библиотеке OpenCV существуют методы `findContours` и `drawContours` соответственно (рис. 19.8).

```
import cv2

frame = cv2.imread('read.jpg')
hsv_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

min_color = (163, 154, 161)
max_color = (182, 205, 205)

hsv_mask = cv2.inRange(hsv_frame, min_color, max_color)
cnts, _ = cv2.findContours(hsv_mask,
                           cv2.RETR_EXTERNAL,
                           cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

if len(cnts) != 0:
    for cnt in cnts:
        if cv2.contourArea(cnt) > 100:
            cv2.drawContours(frame, [cnt], 0, (0, 255, 0), 2)
cv2.imshow('RGB', frame)
cv2.waitKey(0)
```

Рис. 19.8. Поиск и рисование контуров

Метод `findContours` находит все контуры на изображении на смене цветов, на чёрно-белом изображении это будут границы белого и чёрного цвета. Далее нужно проверить при помощи условного оператора `if`, что контуры были найдены. Если контуры были найдены, нам необходимо (с помощью метода `contourArea`, который ищет площадь контура) исключить все контуры маленьких размеров. Проверка площади контуров помогает исключить лишние найденные шумы на изображении. Отбросив все лишние шумы по общей площади контура, можно приступить к его отрисовке на исходном изображении с помощью метода `drawContours`, который соединяет исходное изображение и контур, который нужно отрисовать (рис. 19.9).



Рис. 19.9. Задетектированный беспилотный аппарат

#### *Дальнейшее освоение технологии компьютерного зрения*

В этом параграфе были рассмотрены базовые понятия, которые позволят вам выполнить множество интересных задач как для собственных проектов, так и для участия в соревнованиях, однако это только малая часть того, что можно сделать с помощью компьютерного зрения. Ваше дальнейшее исследование в сфере компьютерного зрения может быть направлено на определение объектов по другим признакам. Например, наши объекты будут одного цвета, но геометрические формы будут меняться (прямоугольник, квадрат, треугольник и т. п.). Углубиться в сферу машинного зрения также помогут простые детекторы объектов, инструменты по использованию которых уже встроены в библиотеку OpenCV. После этого можно переключаться на изучение нейронных сетей, для того чтобы классифицировать объекты по неочевидным признакам и использовать полученные знания в своих проектах.



#### **Вопросы и задания**

1. Дайте понятие термину «бинаризация».
2. Подумайте и ответьте, какие минусы вы видите в подходе определения объектов по цвету.
3. Найдите информацию в Интернете, какие ещё цветовые пространства существуют и где они используются.



## ГЛАВА 6 ТРЕНДЫ И ПРОФЕССИИ В МИРЕ БЕСПИЛОТНИКОВ

### §20. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

До 2030 г. в России должна сформироваться новая отрасль — производство, разработка и применение гражданских беспилотников. Именно на это направлен новый национальный проект «Беспилотные авиационные системы». Начиная с 2024 г. в рамках пяти направлений развития беспилотной авиации планируется: создать новые крупные технологические и научные центры для внедрения новых технологий в создание беспилотников, стимулировать спрос на отечественные решения, развить инфраструктуру для функционирования подобных систем, обеспечить кадрами новую формирующуюся отрасль экономики.

Беспилотные системы — наукоёмкая отрасль. Если рассматривать её как составную часть робототехники, то можно выделить достаточно много направлений развития — это и общее увеличение автономности роботов, и большая степень взаимодействия между различными комплексами, и появление новых сфер применения. Давайте перечислим эти тренды в технологическом развитии БАС, а далее разберём их более подробно.

#### Применение технологий искусственного интеллекта

Одним из технологических барьеров к более широкому внедрению дронов является их низкая степень автономности. Выделяют в среднем шесть уровней автономности, где пятый уровень — это система с искусственным интеллектом, которая полностью самостоятельно принимает решения, не отчитываясь перед пользователем о ходе своих решений, а на нулевом уровне происходит полностью ручное управление со стороны оператора данной системы.

На момент написания данного параграфа в сфере БАС применяются только элементы ИИ, и в большей степени это связано с обработкой данных аэрофотосъёмки, полученных с беспилотных летательных аппаратов, т. е. идёт автоматизация процессов анализа собранных данных, например:

- расчёт поголовья животных в сельском хозяйстве;
- прогнозирование затопления территорий при наводках;
- анализ линий электропередачи в электроэнергетике;
- поиск нарушений природоохранного законодательства.

Следующим этапом развития элементов ИИ является внедрение подобных алгоритмов на борт самого беспилотника. Такие алгоритмы позволяют беспилотнику самостоятельно планировать полётное задание, в автоматическом режиме облетать препятствия, учитывать местонахождение и статус других объектов в системе.

Во многом этот этап зависит от развития более мощных вычислительных процессоров, которые могут обрабатывать в большом количестве данные с видеокамер, для того чтобы дрон мог в реальном времени анализировать окружающее пространство и реагировать на изменения, происходящие в нём. Благодаря внедрению таких технологий, как машинное обучение, нейронные сети, компьютерное зрение, конечный пользователь может получить меньшую аварийность дронов, более быстрое выполнение полётного задания, более качественные выходные данные и аналитику на их основе.

## Роевое взаимодействие

Ещё одно перспективное развитие — это роевой интеллект и взаимодействие БАС между собой и с другими системами, в отличие от систем, где используется групповое управление: в них обычно элементы системы не знают ничего друг о друге и управляются централизованно (рис. 20.1, *а*) с одного сервера, который каждому элементу такой системы выдаёт свой набор команд, при этом сам объект группового управления не имеет свободы в принятии решений. В системах с роевым управлением (рис. 20.1, *б*) каждый объект системы имеет доступ к информации о других объектах, например это может быть местоположение другого дрона, статус его задания, техническое состояние, планируемый маршрут движения. Подобные системы в определённых сценариях и при должной степени автономности могут работать в замкнутом контуре (рис. 20.1, *в*) без общения с наземной станцией управления, действуя самостоятельно, и изменять свою модель поведения в зависимости от условий окружающей среды и состояния непосредственно роя.

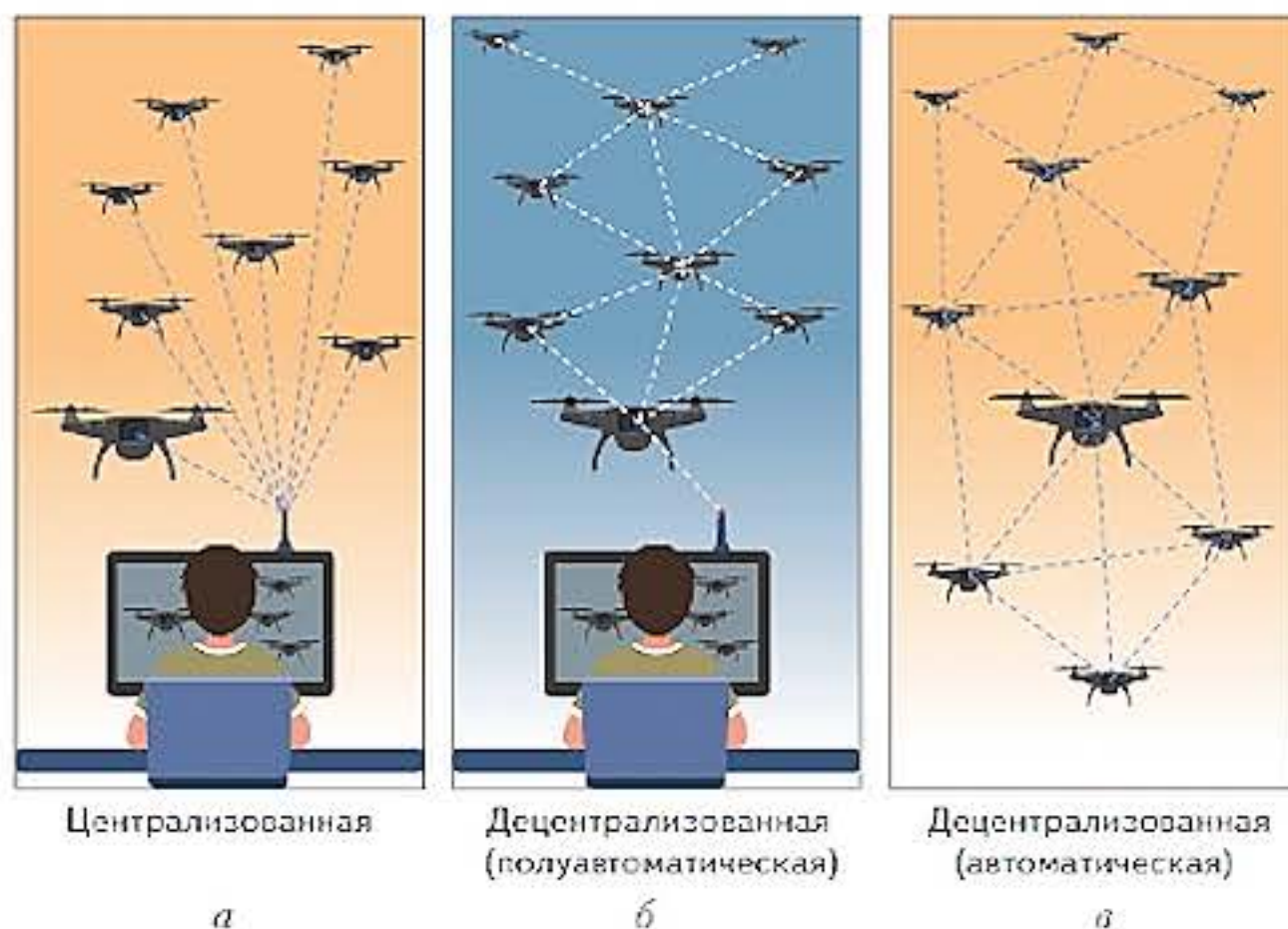


Рис. 20.1. Схемы управления роем и группой

Подобные технологии можно применять в сценариях складского обслуживания, когда необходимо произвести инвентаризацию товаров или найти потерявшийся товар на складе. Можно использовать это и в сельском хозяйстве, когда одни беспилотники производят мониторинг посевов, а следующая часть роя на основе этих данных вносит удобрения и воду только там, где это действительно необходимо. Также подобные технологии незаменимы, когда счёт идёт на минуты, напри-

мер при поиске очагов пожаров или потерявшихся людей. В таких случаях надо просканировать достаточно большие площади за очень малое время, чтобы можно было принять оперативные меры. При применении технологий, подобной этой, можно сократить поиск различных аномалий за счёт того, что каждый объект имеет доступ к состоянию других объектов и можно перераспределить ресурсы таким образом, чтобы весь рой или его часть сосредоточили свои усилия вокруг аномалии, которую нашёл один из объектов роя, чем пролетать целиком всю территорию поиска, где таких аномалий с высокой долей вероятности не будет.

## **Создание наземной инфраструктуры. Дронопорты**

Одним из направлений нацпроекта является развитие инфраструктуры, обеспечение безопасности полётов и формирование специальных требований по сертификации. Немаловажным фактором является наличие наземной инфраструктуры для БАС, особенно это актуально для повторяющихся задач, например таких, как доставка грузов, применение в лесном хозяйстве, ежедневный мониторинг промышленных объектов: мониторинг динамики строительства и контроль за соблюдением техники безопасности на строительных объектах, охрана прилегающих объектов, оценка и вычисление объёмов земляных работ, сыпучих материалов.

Один из вариантов наземной инфраструктуры для дронов весом менее 30 кг — это дронопорты. Дронопорт — это, в идеальном случае, полностью автоматическая наземная станция, внутри которой размещается дрон. Данная станция эксплуатируется круглосуточно в любую погоду, она позволяет производить автоматическую зарядку дрона, оценивать его состояние между полётами, защищена от вандализма и в некоторых случаях даже оснащена метеостанцией для мониторинга погоды в месте расположения самого дронопорта.

Примером отечественного решения в области разработки подобной инфраструктуры является компания «Русдропоорт» с линейкой продуктов ЭРИ. Помимо собственных дронопортов, у компании есть специальный софт для отслеживания инфраструктуры дронопортов в реальном времени, контроля полётных миссий БВС и возможность оперативного перехвата БВС в случае необходимости. Данный тип программно-аппаратных комплексов особенно важен для индустрии, поскольку он позволяет перейти от парадигмы «один оператор на 1–2 дрона» к ситуации, когда у нас один оператор на 10–50 дронов, что должно привести к росту интенсивности полётов БВС и количества субъектов России, оснащённых унифицированной инфраструктурой.

## **Увеличение количества тяжёлых аппаратов весом более 30 кг**

Не все задачи можно решить малоразмерными дронами. Если говорить о задачах логистики, решении задач в агропромышленном секторе, то тут необходимы тяжёлые дроны, которые могут брать на себя от 10 до 300 кг и более полезной нагрузки. Например, ежегодно из-за весенних паводков огромное количество жителей России остаются отрезанными от коммуникации с остальными территориями, возникают проблемы с продуктами питаниями, медикаментами, доставкой товаров первой необходимости. Из-за наводнений, метелей и других факторов происходит разрушение дорог, мостов и другой дорожной инфраструктуры, иногда единственный способ доставить необходимый груз — это авиатранспорт, в том числе беспилотный.

В России есть несколько разработчиков, которые создают тяжёлые платформы БАС. Например, это компания «Радар ММС», которая делает беспилотники

вертолётного типа, и компания «Транспорт будущего», которая выпускает серию дронов для решения задач в агросекторе, по доставке больших и малых грузов, а также разрабатывает беспилотник с 16 винтомоторными группами для автономной доставки людей в формате такси.

Другой сферой применения, где необходимы тяжёлые аппараты, является сельское хозяйство. Если малые дроны используются для анализа посевов, то аппараты тяжёлого класса нужны для обработки сельскохозяйственных культур, подобные аппараты оснащаются распыляющими форсунками и баком для жидкости, в котором может быть вода или химические растворы. Применение БАС позволяет проводить обработку с более высокой точностью там, где это действительно необходимо, тем самым расходуя ресурсы более бережно, чем при применении «большой» пилотируемой авиации. Также при использовании БАС не уничтожается часть посевов, как это происходит при использовании наземного транспорта.

Основным ограничением к более широкому внедрению подобных систем является на данный момент несовершенство нормативно-правовой документации, которая регламентирует эксплуатацию и производство аппаратов тяжелее 30 кг, поскольку к этим аппаратам пока ещё применяются такие же нормы, как и к пилотируемой авиационной технике. Тем не менее национальный проект БАС направлен на усовершенствование регламентирующих документов и создание единой инфраструктуры, в которой могли бы одновременно эксплуатироваться все виды авиационной техники.

## **Автоматизация процессов организации воздушного движения**

Внедрение БАС зависит не только от технологий, но и от наличия барьеров в административных согласованиях и законодательной возможности использования БАС над различной территорией. Необходимо обеспечить простоту согласования полётов беспилотников и, что самое важное, безопасность полётов БВС в едином воздушном пространстве как для самих дронов, так и для всех участников воздушного движения, среди которых в том числе «большая» пилотируемая авиация.

Для автоматизации и упорядочивания данных процессов эксплуатанты, заказчики услуг и законодатели должны работать сообща. Примером такой работы является создание системы управления движением беспилотных летательных аппаратов (от англ. UTM — Unmanned Aircraft System Traffic Management). В этой системе можно в реальном времени наблюдать каждый летательный аппарат, его траекторию полёта, статус, иногда владельца. Эта система позволяет производить мониторинг обстановки в воздушном пространстве, предотвращать столкновения воздушных судов, планировать полёты. Сейчас беспилотники во всём мире ещё не внедрены в общую систему мониторинга воздушного движения.

В России есть несколько компаний, которые занимаются разработкой подобных сервисов. Вот некоторые из них: «Флай Дрон», «Аэроскрипт». Обе компании разрабатывают UTM-системы для упрощения согласования полётов дронов. Если раньше пилотам необходимо было самостоятельно знакомиться с большим количеством нормативной документации, самостоятельно заполнять планы полётов, искать номера специальных центров, то подобные платформы позволяют качественно сократить время на подобные операции и делать всё в автоматическом режиме, что также снижает количество ошибок при подаче документов.

Но мало иметь онлайн-сервис, который собирает данные о полётах БВС, автоматизирует подачу документов и многое другое. Исключительно программным обеспечением задачу автоматизации работы воздушного движения не решить. Для того

чтобы знать положение дрона, необходим передатчик, который будет отправлять на некий сервер информацию о состоянии конкретного БВС, в некоторых аппаратах такой функционал уже заложен в конструкцию, для других нужно отдельное аппаратное устройство. Такое устройство называется транспондером, он предназначен для постоянной передачи информации о беспилотнике, на котором установлен, это может быть номер борта, владелец, текущая скорость и высота и другие данные. Передаваемую информацию получают UTM-системы и диспетчерские центры для организации воздушного движения.

Кроме организации полётов, существуют и развиваются сервисы, которые упрощают получение страховых полисов для БВС или, например, помогают находить друг друга заказчикам и исполнителям в сфере оказания услуг, связанных с применением беспилотников. Примером такого сервиса является Flymarket — отечественная разработка компании «Флай Дрон». Данная платформа позволяет исполнителям и заказчикам заключать сделки на оказание услуг с помощью беспилотников, при этом заключается цифровой контракт, который является гарантией выполненных услуг для одной стороны и получением выгоды для исполнителя, что также делает сделку прозрачной и безопасной для обеих сторон. Подобные сервисы должны увеличить интерес бизнеса к применению беспилотных авиационных систем за счёт сокращения издержек и в целом увеличить объём рынка услуг, производимых с БАС.

В данном параграфе были рассмотрены основные технологические тренды в развитии беспилотных авиационных систем. Данные тренды можно рассматривать более широко в контексте «Индустрии 4.0», ведь, кроме технологий, необходимо развивать законодательную базу, различные общественные институты и многое другое для подготовки общества к новой отрасли и внедрения её в повседневную жизнь. Данная отрасль ещё находится в активной стадии созревания, и тренды могут измениться, но, возможно, именно вы эти тренды и создадите.



#### Вопросы и задания

1. Как искусственный интеллект может применяться в контексте БАС сейчас и в будущем?
2. Где могут применяться тяжёлые беспилотники?
3. Какие задачи решаются при применении дронопортов?
4. Перечислите области применения роевых алгоритмов для БАС.
5. Подумайте, какие технологические тренды не перечислены в данном параграфе.

## §21. ПРОФЕССИИ В МИРЕ

### БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Беспилотная авиация — это захватывающая и перспективная сфера робототехники, которая активно развивается и внедряется в различные отрасли экономики. Государство понимает значимость беспилотных авиационных систем (БАС) для многих сфер и осознаёт их потенциал в повышении эффективности, безопасности и инновационного развития. Именно поэтому реализуется национальный проект «Беспилотные авиационные системы», направленный на поддержку и развитие данной отрасли.

Цель национального проекта заключается в создании благоприятных условий для развития данного рынка. В рамках проекта ведётся активная работа по разра-

ботке и внедрению нормативно-правовой базы, обеспечивающей безопасное и эффективное использование БАС. Также создаётся инфраструктура для тестирования и эксплуатации БАС, стимулируется научно-исследовательская деятельность и поддерживаются отечественные производители. Но одной из самых важных составляющих проекта является федеральный проект «Кадры для беспилотных авиационных систем». Одна из его задач — это создание цифрового реестра кадров БАС, который свяжет информацию о потребностях в кадрах, трудовой и образовательной деятельности специалистов в сфере БАС и обеспечит регулярную актуализацию профессий в данной сфере. До 2030 г. в данную сферу планируется привлечь порядка 1 миллиона человек, это касается не только переобучения взрослых специалистов, но и привлечения молодёжи к тематике беспилотного транспорта.

Так как есть определённая тенденция к развитию данной сферы, появляется всё больше рабочих мест, открываются новые компании. Для успешного функционирования и развития этих компаний требуются специалисты самого разного профиля, обеспечивающие комплексное производство, разработку и эксплуатацию беспилотных систем. Именно поэтому в данной сфере появляется множество карьерных возможностей для различных профессионалов, которыми можете стать и вы.

## Карта специальностей по типу деятельности

Работа в сфере БАС, как и в робототехнике, очень разнообразна, в ней найдётся место специалистам в области компьютерного зрения, физикам-математикам, пишущим алгоритмы управления, инженерам, проектирующим различные блоки и устройства, технологам, которые отвечают за то, чтобы итоговое изделие можно было изготавливать тысячами, монтажникам и регулировщикам, слесарям, которые произведут эту продукцию, операторам дронов, которые запустят БВС в самых дальних уголках страны, и геоинформатикам, которые смогут правильно анализировать полученные данные. Сейчас открывается множество возможностей для карьеры. Рассмотрим основные вакансии в данной области, разделённые *по типу деятельности*.

## Разработка БАС. Конструирование

Работа в области разработки аппаратной части БАС предполагает создание и конструирование различных элементов и систем, необходимых для беспилотных летательных аппаратов. Это могут быть элементы планера летательного аппарата, двигательная установка, полезная нагрузка, вспомогательные элементы, например катапульта для запуска БВС самолётного типа, системы связи. Данная область включает в себя разработку как механических деталей и узлов, так и радиоэлектронные системы и комплексы.

**Инженер-конструктор** занимается созданием различных узлов и деталей итогового изделия. Он создаёт 3D-модели, производит прочностные и тепловые расчёты различных элементов и конструкций, проводит испытания аппаратуры. Совместно с коллегами выбирает способ изготовления изделия.

**Конструктору** важно владеть знаниями в области механики, материаловедения, знать различные способы изготовления, технологию конструкционных материалов. Ведь итоговая конструкция во многом



**Рис. 21.1.** Инженер-конструктор проектирует в САПР модуль камеры

определяется способом изготовления: совершенно по-разному надо проектировать деталь, например, под литьё из пластмассы или под лазерную резку металла. Подобные специалисты очень часто работают с САПР-системами — системами автоматизированного проектирования (рис. 21.1). Ярким примером российского программного обеспечения в данной сфере является программа КОМПАС-3D от компании «Аскон». Мастерство конструктора во многом определяется не только степенью владения подобными программами, но и знанием технической и нормативной документации, опытом работы с разными материалами и технологиями изготовления.



Рис. 21.2. Примеры печатных плат

матрицей, которая располагается в мультиспектральной камере, и печатной платой, которая связывает все эти элементы и устанавливается в корпус, разработанного инженером-конструктором.

Специалисты в данной области должны обладать опытом в разработке радиоэлектронных систем, разбираться в схемотехнике и электронике, иметь навыки выбора элементной базы, уметь работать с различным измерительным оборудованием.

## Разработка встроенного программного обеспечения для БАС

Разработка ПО для БАС включает создание алгоритмов управления, разработку встроенного ПО и обеспечение взаимодействия между различными компонентами систем посредством различных программных интерфейсов. Специалистов, которые реализуют своё программное обеспечение на очень низком уровне абстракции, т. е. максимально близко к основным физическим принципам работы электронных устройств, на уровне ограничений схемотехники и электроники, называют программистами встроенного программного обеспечения или Embedded-программистами. Это люди, которые могут заниматься написанием кода на низкоуровневых языках программирования для прошивок микроконтроллеров, обеспечивают работу высокоскоростных интерфейсов, работу датчиков и исполнительных устройств, например драйвера управления бесколлекторным мотором.

Есть очень востребованные на рынке Embedded C++-программисты, которые пишут программное обеспечение для микроконтроллеров на базе ARM-ядер, самый частый пример — это STM32 и его аналоги, разрабатывают новые алгоритмы управления, которые, например, позволяют квадрокоптеру удерживать себя в воздухе, а также протоколы общения как в рамках одного устройства, так и, например, для связи с наземной станцией управления.

Инженер-разработчик РЭА — специалист, который занимается решением прикладных задач в области электроники и электротехники. Что такое РЭА? РЭА — радиоэлектронная аппаратура. Например, мобильный телефон, который есть почти у каждого, тоже является частью РЭА, печатная плата (рис. 21.2), камера, контроллер заряда батареи, датчик расстояния — всё это является РЭА. Инженеры-разработчики РЭА занимаются проектированием подобной аппаратуры, начиная от маленького датчика, указывающего направление курса беспилотника, печатного узла с матрицей, которая располагается в мультиспектральной камере, и печатной платой, которая связывает все эти элементы и устанавливается в корпус, разработанного инженером-конструктором.

Не каждое устройство можно реализовать на микроконтроллерах, иногда необходимо больше вычислительных мощностей, больше памяти, большее количество интерфейсов, но при этом нужно сохранить массогабаритные характеристики, в таком случае прибегают к использованию микрокомпьютерных модулей. Для работы и интеграции таких модулей нужны **Embedded Linux-программисты**, которые глубоко разбираются в подобных системах и имеют опыт в сборке дистрибутивов под данную операционную систему для реализации на конкретной аппаратной платформе.

Специалистам подобного профиля недостаточно просто знать на высоком уровне такие языки программирования, как C++ и чистый C, так как их код работает на весьма малопродуктивных устройствах. Надо уметь оптимизировать код под конкретную архитектуру и знать основы функционирования цифровых и аналоговых устройств. Поскольку их код придётся интегрировать и отлаживать на конкретном, но не всегда таком же производительном устройстве, как, например, персональный компьютер.

## Разработка программного обеспечения

Беспилотная авиационная система состоит не только из летательного аппарата, который находится в воздухе, сюда же включается и наземная станция управления и системы мониторинга БАС в небе, а также другое специфическое программное обеспечение, которое не запускается непосредственно на беспилотнике. Это может быть мобильное приложение для управления и программирования дрона, программа для компьютера, база данных, которая находится на сервере, интернет-сайт для подачи документов для согласования полётов. Всем этим заняты специалисты, создающие приложения и сервисы для управления БАС, обработки данных и взаимодействия с пользователями (рис. 21.3).

Это **программисты**, которые разрабатывают наземные станции управления, сервисы по обработке данных и геоинформационные системы, пишут ПО для анализа и визуализации данных. Их основной инструмент — это высокоуровневые языки программирования: **Java, Python, C#, JavaScript** или **Swift** и **Java, Kotlin**, если говорить о **мобильных разработчиках**. В их компетенции должны входить навыки работы с данными языками, и в зависимости от конкретной специализации они должны уметь работать с определёнными программными библиотеками и программными интерфейсами, сетевыми протоколами, базами данных.

Но недостаточно просто написать программу, нужно ещё достаточно большое количество специалистов, чтобы довести качественный программный продукт до потребителя. Например, это **аналитики**, которые формируют требования для итогового продукта, составляют техническое задание на разработку, анализируют конкурентов. Это **UX/UI-дизайнеры**, люди, которые занимаются проектированием пользовательского опыта и созданием графического интерфейса, чтобы он был не только приятен глазу, но и интуитивно понятен пользователю. Во время всего цикла разработки ПО необходимы **тестировщики** и **QA-инженеры**, которые должны проводить тестирование программного продукта на всех его этапах. И конечно же, нужны **менеджеры проектов**, которые обычно напрямую не являются разработчиками, но связывают команду воедино,



*Рис. 21.3. Коллектив разработчиков в момент обсуждения нового функционала*

контролируют сроки, планируют загрузку специалистов, чтобы в конечном итоге успеть выпустить продукт, новую версию ПО, новый функционал к указанному сроку при существующих ограничениях.

## Производство беспилотных авиационных систем

Производство БАС можно глобально разделить на две большие составляющие — производство радиоэлектронной аппаратуры и механическое производство. На данный момент в России можно наблюдать переход от мелкосерийного производства БАС к крупносерийному, поскольку потребность в отечественных дронах сейчас кратно увеличивается. И тут, кроме разработчиков, нужно огромное количество сотрудников, в том числе рабочих специальностей, которые смогут наладить и обеспечить ту потребность, которую сейчас заявляет рынок спроса на беспилотники.

Сотрудники производства РЭА (рис. 21.4) занимаются производством и сборкой радиоэлектронных систем, контролем качества и настройкой оборудования. Например, одни из самых многочисленных специалистов — это монтажники РЭА, люди, которые производят сборку и пайку радиоэлектронных компонентов, собирают кабельные сборки, производят лакировку печатных узлов. После всех этих операций изделие попадает к другому специалисту — инженеру-регулировщику РЭА, в компетенции которого входит настройка и регулировка радиоэлектронных систем, например проверка монтажа электронных компонентов, загрузка первичной прошивки в печатную плату, калибровка встроенных систем, проверка контрольных параметров функционирования изделия, а в случае обнаружения неисправностей их устранение. К сожалению, не все процессы в производстве можно автоматизировать, поэтому потребность в умелых руках и остром глазе всё ещё достаточно большая.

С увеличением темпов производства необходимо как новое оборудование, так и методики ведения процессов на этом производстве. Например, это переход от ручной пайки к использованию конвейерных линий по производству печатных плат, для чего нужны, например, операторы линий поверхностного монтажа. С расширением количества выпускаемой продукции одна допущенная ошибка может сильно повлиять на всю производимую серию. Для контроля за производственными процессами и производимой продукцией существуют специалисты ОТК — отдела контроля качества. Контролёры, инженеры совместно с технологами осуществляют



Рис. 21.4. Участок производства РЭА

входной контроль материалов, электронных компонентов, печатных узлов, целых изделий на предмет соответствия конструкторской и нормативной документации. Проводят межоперационный контроль на всех этапах производства радиоэлектронной аппаратуры. И производят выходной контроль, также называемый приёмочным контролем готовой продукции. После прохождения этого этапа данная продукция разрешается к итоговой реализации для конечного пользователя.

**Механическое производство** включает производство механических конструктивных элементов и сборку готовых беспилотных систем. Эти специалисты работают над созданием корпусов, крыльев, шасси и других элементов, необходимых для сборки дронов и других составных частей БАС.

**Инженер-технолог** — человек, ответственный за то, чтобы продукция, разработанная в конструкторском бюро, могла быть произведена на имеющихся ресурсах с заданными качествами. Без хороших технологов очень трудно добиться большой серии выпускаемой продукции. В обязанности технологов в зависимости от специальности может входить оценка возможности изготовления деталей и сборочных единиц на имеющихся станках и другом оборудовании, составление различных инструкций для того, чтобы можно было производить и осуществлять контроль выпускаемых изделий, разработка технических заданий для создания оснастки для производства и очень плотная работа с конструкторским бюро на всех этапах разработки.

Сейчас на подавляющем количестве производств есть станки с ЧПУ, даже в образовательных учреждениях есть 3D-принтеры, которые являются частным примером станка с числовым программным управлением. Для работы на подобном оборудовании нужны специалисты, которые осуществляют работу на них, — **операторы станков с ЧПУ**. Также, поскольку не все процессы ещё автоматизированы, нужны такие специалисты, как **слесарь механосборочных работ**. В его обязанности входят различные заготовительные, сверлильные, резьбонарезные операции, работа по склейке и развальцовке и много других операций в зависимости от конкретной специализации.

Для производства большой серии БАС нужно кратно больше сотрудников производства, чем разработки. В сфере производства существует огромное количество профессий, которые требуют как среднеспециального образования, так и высшего образования. Ведь мало что-то разработать, необходимо произвести это в реальном мире.



*Рис. 21.5. Сборка полезной нагрузки для квадрокоптера*

## Оказание услуг с применением БАС

В начале учебного пособия речь шла о сферах применения беспилотных летательных аппаратов, о том, какие специалисты работают в этой области. Данные специалисты работают непосредственно с дронами «в полях» или в условиях, максимально приближенных к подобным, осуществляя эксплуатацию и техническое обслуживание БЛА и анализируя данные, полученные с них, обеспечивают правильное функционирование дронов в реальных условиях, проводят полёты и собирают данные.



*Рис. 21.6.* Беспилотное воздушное судно самолётного типа Геоскан 701 в Антарктиде

Оператор БАС, внешний пилот, специалист по эксплуатации БВС — всё это названия профессии, связанной напрямую с запуском беспилотников, работой с его полезной нагрузкой, будь то камера или специализированное устройство. В их обязанности входит проводить авиационные работы, согласовывать полёты и заниматься первичной обработкой данных. Если говорить о профессиональных компетенциях, то недостаточно иметь навыки пилотирования БВС, необходимы фундаментальные знания предметной области, где применяется сам аппарат. Например, это могут быть геодезисты и картографы, кадастровые инженеры или агрономы при применении БВС в сельскохозяйственном секторе, геофизики при разведке полезных ископаемых и много других специалистов из иных сфер применения БАС.

Но беспилотники применяются не только для решения промышленных задач. Экологичное будущее салютов и фейерверков — световое шоу дронов (рис. 21.7). Оно может как полностью заменить традиционные пиротехнические действия, так и идеально их дополнить. Шоу квадрокоптеров прекрасно сочетается с 3D-мэппингом,



*Рис. 21.7.* Шоу дронов в Санкт-Петербурге

лазерными и световыми представлениями. Специалисты, задействованные в такой сфере услуг БАС, обязательно должны знать принципы работы квадрокоптеров, основы программирования, тестирования, радио и электроники. Также профессионалы должны хорошо знать английский язык и быть готовы к частым командировкам.

**Аниматор шоу дронов** выполняет технический и креативный этапы создания шоу, поэтому ему важно владеть инструментами для создания анимации, например Cinema 4D, Blender, 3ds Max, и при этом суметь синхронизировать движения дронов с музыкальной частью представления. Такие специалисты в мире очень редки и находятся в приоритете у компаний, поэтому уже сейчас запускаются курсы для школьников по созданию анимации для подобных шоу.

Несмотря на то что дроны в шоу летают полностью в автоматическом режиме, нужны такие специалисты, как **операторы шоу**, которые осуществляют всю предполётную подготовку: в обязанности входит техническая проверка оборудования, например загрузка полётного задания, и оснащение площадки для запуска. Специалист отслеживает чёткую последовательность полётов дронов как на тестовых запусках, так и при проведении шоу и, если необходимо, оперативно устраняет неполадки.

## **Обработка данных, полученных с БАС**

С помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) мы получаем информацию о поверхности Земли путём наблюдения и измерения её характеристик. Специалисты обработки ДЗЗ занимаются анализом и интерпретацией данных, например фотографий, полученных с беспилотников, а также создают карты и модели местности, что используется в сельском хозяйстве, геодезии, картографии, мониторинге поверхности земли и океана.

**Инженер-фотограмметрист** должен ориентироваться в географии, чтобы грамотно принимать спутниковые данные, декодировать и корректировать их, а после создавать и выпускать ортофотопланы — итоговое цифровое преобразованное изображение местности или объекта. Специалист работает в таких программах расшифровки больших пространственных данных, как Agisoft, Photomod.

**Специалист ГИС** имеет высшее образование по направлениям: геодезия, картография, ГИС, ДЗЗ, разбирается в профессиональном ПО и умеет программировать на Python. В обязанности такого специалиста входят: анализ, учёт и редактирование пространственных данных, подготовка исходных данных к использованию на конкретном программном обеспечении и преобразование данных для дальнейшего изучения.

Для улучшения качества и автоматизации процесса анализа данных привлекается технический специалист, который имеет опыт программирования и работает с большими данными, нейронными сетями, — **геоинформатик**. Например, такой специалист может помочь автоматизировать процесс поиска утечек в трубопроводах, нарушений границ земельных участков, подсчитать и выделить количество деревьев, которые имеют риск упасть на линию электропередачи, и всё это на основании нескольких миллионов фотографий, полученных с помощью беспилотных авиационных систем.

Для старшеклассников, заинтересованных в карьере в сфере БАС, открываются широкие перспективы благодаря государственным инициативам и национальному проекту «Беспилотные авиационные системы». Современные образовательные учреждения предоставляют программы подготовки специалистов по различным аспектам производства и эксплуатации беспилотников. В рамках национального проекта активно развиваются гибкие образовательные траектории, позволяющие гражданам получать необходимые знания и навыки для работы в этой сфере. Развитие рынка

БАС, поддержка государства и наличие множества компаний, работающих в этой области, создают благоприятные условия для карьерного роста и профессионального развития.

Важной частью проекта является создание Национальной системы соревнований БАС. Эти соревнования позволяют тестировать дроны с новыми технологическими решениями, улучшать их характеристики, автономность и устойчивость к кибератакам. Соревнования проводятся на различных уровнях, включая международные конкурсы и фестивали. В рамках этих мероприятий команды соревнуются в разработке и применении инновационных решений, что способствует повышению уровня компетенций и внедрению новых технологий в индустрию. Благодаря участию в подобных активностях участник не только повысит уровень своих навыков и заведёт новые знакомства, но, что немаловажно, получит шанс на дополнительные преференции при поступлении в учебные заведения, а также заинтересовать потенциального работодателя.

Изучение этой динамичной и перспективной области откроет перед вами двери к участию в создании беспилотных систем, которые изменят мир. Ваши знания и навыки могут не только обеспечить вам успешную карьеру, но и помочь внедрить инновации, которые изменят нашу жизнь к лучшему. Не упустите возможность стать частью этой захватывающей индустрии, открывающей двери в будущее технологий и науки.

Выбор профессии в сфере БАС — это не только возможность быть на переднем крае технологического прогресса, но и шанс внести значительный вклад в развитие инновационных технологий.



#### Вопросы и задания

1. Чем отличаются Embedded-разработчики от классических программистов?
2. Какие специалисты работают в производстве БАС?
3. Назовите профессии в сфере разработки программного обеспечения, которые не занимаются непосредственно написанием кода.
4. Подумайте, какие профессии не были названы в области производства БАС.
5. Перечислите компетенции, необходимые для работы инженером, конструктором.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы уже изучили устройство беспилотников, узнали, как и где они применяются, а также получили практические навыки их эксплуатации. Сейчас перед вами открылись новые возможности для развития в увлекательной и перспективной области беспилотных технологий.

Показать и улучшить свои навыки можно с помощью участия в чемпионатах и соревнованиях. Формально соревнования и конкурсы по БАС можно разделить на несколько типов:

- классические гонки на дронах, где участники на готовых или самостоятельно собранных контерах соревнуются в прохождении трасс на время;
- конкурсы по программированию БАС, где участникам нужно запрограммировать полётное задание для одного дрона или целой группы;
- технологические и грантовые конкурсы, где участники могут разработать и представить решение или прототип для использования в сфере БАС.

«Кибердром» — инженерно-технические соревнования, созданные по инициативе Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, где команды школьников, студентов и молодых специалистов решают прикладные задачи по использованию БАС: от оттачивания ручного управления контерами до программирования роя дронов и создания сценариев применения БАС в промышленности.

Чемпионат «Профессионалы» — соревнования для подростков и молодёжи в системе среднего профессионального образования (СПО), направленные на развитие компетенций в БАС.

Национальная технологическая олимпиада (НТО) — олимпиада для школьников, в которой есть несколько направлений, связанных с БАС.

«РобоФинист» — международные соревнования по робототехнике, которые традиционно заканчиваются масштабным фестивалем в Санкт-Петербурге. Одна из соревновательных дисциплин состязаний — автономные воздушные аппараты.

«Большие вызовы» — всероссийский конкурс научно-технологических проектов. В направлении «Беспилотный транспорт и логистические системы» участники могут создавать проекты и проводить исследования в области БАС.

«Инношкольник», «УМНИК», «Студенческий стартап» — программы поддержки школьных и студенческих инициатив от Фонда содействия инновациям. Такие проекты помогают реализовать свои идеи в области беспилотных технологий и перейти от школьных конкурсов к технологическому предпринимательству.

Также конкурсы по БАС и робототехнике проводят и компании-разработчики беспилотных технологий.

Мы надеемся, что это учебное пособие не только дало вам теоретические и практические знания, но и вдохновило принять участие в соревнованиях по БАС. Это отличная возможность проверить свои навыки и компетенции, завести новые знакомства и обратить на себя внимание потенциального работодателя. А в будущем даже стать инженером или разработчиком таких аппаратов. Если вы будете настойчивы и упорны, то сможете достичь успеха в этой активно развивающейся области. Желаем удачи!

## Оглавление

|                |                                                                        |           |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ГЛАВА 1</b> | <b>ВВЕДЕНИЕ В БЕСПИЛОТНУЮ АВИАЦИЮ.....</b>                             | <b>3</b>  |
| §1.            | Основные термины в беспилотной авиации.....                            | 3         |
| §2.            | Развитие беспилотной авиации.....                                      | 4         |
| §3.            | Области применения беспилотных авиационных систем.....                 | 7         |
| <b>ГЛАВА 2</b> | <b>КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО БЕСПИЛОТНИКОВ .....</b>                  | <b>12</b> |
| §4.            | Классификация беспилотных летательных аппаратов.....                   | 12        |
| §5.            | Подъёмная сила. Воздушный винт и крыло.....                            | 18        |
| §6.            | Типовая конструкция .....                                              | 25        |
| §7.            | Рама и защитные конструкции .....                                      | 28        |
| §8.            | Аккумуляторные батареи и двигатели .....                               | 34        |
| <b>ГЛАВА 3</b> | <b>ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПОНЕНТ БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА.....</b>                | <b>44</b> |
| §9.            | Полётный контроллер. Автопилот .....                                   | 44        |
| §10.           | Инерциальная система.....                                              | 46        |
| §11.           | Системы связи .....                                                    | 48        |
| §12.           | Полезная нагрузка.....                                                 | 55        |
| <b>ГЛАВА 4</b> | <b>ОСНОВЫ РУЧНОГО ПИЛОТИРОВАНИЯ .....</b>                              | <b>61</b> |
| §13.           | Техника безопасности при использовании беспилотного воздушного судна.. | 61        |
| §14.           | Визуальное пилотирование.....                                          | 67        |
| §15.           | Основы FPV-полётов .....                                               | 75        |

## **ГЛАВА 5** ПРОГРАММИРОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОЛЁТОВ ..... 87

- §16. Глобальные и локальные системы позиционирования..... 87
- §17. Среды для визуального программирования автономного полёта..... 101
- §18. Возможности программирования беспилотников на языке Python (+ ROS) .. 109
- §19. Компьютерное зрение..... 120

## **ГЛАВА 6** ТРЕНДЫ И ПРОФЕССИИ В МИРЕ БЕСПИЛОТНИКОВ ..... 128

- §20. Основные технологические тренды в развитии беспилотных систем ..... 128
- §21. Профессии в мире беспилотных авиационных систем..... 132

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** ..... 141



Учебное издание

Луцкий Михаил Владимирович  
Швецов Дмитрий Васильевич  
Николаев Сергей Игоревич  
Семёнов Николай Сергеевич

**ТРУД (ТЕХНОЛОГИЯ)**

**БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ**

8–9 классы

Учебное пособие

Центр развития углублённого и профильного образования,  
функциональной грамотности

Ответственный за выпуск *А. А. Панченко*

Редактор *А. А. Панченко*

Художественный редактор *М. Л. Удадовская*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Беляссой*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*

Корректоры *Д. В. Панкова, О. Ч. Кохановская*

Подписано в печать 23.09.2024. Формат 84×108/16.

Усл. печ. л. 15,12. Тираж            экз. Заказ №            .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».  
Российская Федерация, 127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16,  
стр. 3, помещение 1Н.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — [vorproz@prosv.ru](mailto:vorproz@prosv.ru).