

Для служебного пользования
(п. 73 перечня сведений ВС)

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (FPV-ДРОНОВ)

ВОРОНЕЖ
2023

Военный учебно-научный центр ВВС
«Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (FPV-ДРОНОВ)

Учебное пособие

Воронеж
2023

Ананьев А.В., Булгаков М.А., Волобуев М.Ф., Вышлов О.С., Долгов А.А., Кравцов Е.В., Ледовских Д.Н., Рыжков А.С., Семка В.В., Филимонов А.М., Щуров С.В., Щербаков А.А. Эксплуатация и применение беспилотных летательных аппаратов (FPV-дронов): Учебное пособие. – Воронеж: ВУНЦ BBC «BVA», 2023 г. – 235 с., ил.

Рецензенты:

профессор кафедры робототехнических комплексов и систем воздушного базирования, кандидат технических наук, профессор Евстафиев А.Ф.

доцент кафедры робототехнических комплексов и систем воздушного базирования, кандидат технических наук, доцент Тищенко А.И.

Художественное оформление и разработка медиаматериалов:

Муртазалиев Р.И., Свищо Я.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ, ТТХ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	9
1.1 Классификация БпЛА по конструкции.....	9
1.2 Принципы полета БпЛА квадрокоптерного типа	11
1.3 Основные ТТХ коммерческих БпЛА квадрокоптерного типа	16
1.4 Виды полезных нагрузок БпЛА	18
1.5 Конструкция БпЛА коптерного типа	19
2 АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛА	49
2.1 Основы распространения радиоволн	49
2.2 Диапазоны частот FPV-дронов	49
2.3 Аппаратура управления БпЛА.....	51
2.4 Система передачи и приема видеосигнала FPV-дронов	59
2.5 Антенны FPV-дронов.....	64
2.6 Радиобезопасность	68
3 ПОРЯДОК ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА FPV-ДРОНА К ПОЛЕТУ И УЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ БПЛА	71
3.1 Подготовка к выполнению полетного задания и визуальная ориентировка....	71
3.2 Влияние метеоусловий на полеты FPV-дронов	76
3.3 Технические возможности и ограничения по применению БпЛА	80
4 ПОДГОТОВКА FPV-ДРОНА К РАБОТЕ И НАСТРОЙКА ОБОРУДОВАНИЯ	88
4.1 Сборка FPV-дрона и подготовка к полету.....	88
4.2 Подготовка FPV-дрона к работе и настройка каналов управления и передачи данных	97
4.3 Техническое обслуживание и ремонт FPV-дронов в полевых условиях. Инструменты и ЗИП.....	110
4.4 Техника безопасности при сборке и техническом обслуживании.....	111
4.5 Обеспечение безопасности при работе со средствами поражения	112
5 ПИЛОТИРОВАНИЕ FPV-ДРОНОВ НА ТРЕНАЖЕРЕ.....	114
5.1 Интерфейс программного обеспечения и его возможности.....	114

5.2 Выполнение упражнений «Взлет. Удержание высоты. Прямолинейный полет. Повороты. Посадка»	121
5.3 Выполнение упражнений «Преодоление полосы препятствий. Полет в замкнутом пространстве. Воронка. Посадка внутри дома».....	123
6 ПИЛОТИРОВАНИЕ FPV-ДРОНОВ	125
6.1 Общие рекомендации по управлению FPV-дроном. Полет FPV-дrona под управлением инструктора.....	125
6.2 Самостоятельное управление FPV-дроном. Выполнение упражнения «Взлет. Полет по маршруту. Посадка». Разбор полета	128
6.3 Итоговый контроль подготовки.....	130
6.4 Техника безопасности при подготовке к полету, перед взлетом и после посадки	133
6.5 Безопасность полета. Действия оператора FPV-дrona в особых случаях в полете.....	134
7 НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ	137
7.1 Основы организации воздушного движения в Российской Федерации..	137
7.2 Получение разрешения на полеты и производство полетов.....	138
7.3 Ответственность за нарушение правил использования воздушного пространства	142
7.4 Штрафы за нарушение порядка использования воздушного пространства	143
8 ОСНОВЫ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА	146
8.1 Основы тактики применения FPV-дронов.....	148
8.2 Общие тактические приемы применения БпЛА	150
8.3 Выполнение задач разведки и объективного контроля.....	152
8.4 Работа в условиях огневого поражения и радиоэлектронного противодействия силами и средствам вооруженных сил Украины.....	154
8.5 Информационная безопасность	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	163
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	164

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БАС	–	Беспилотная авиационная система
БВС	–	Беспилотное воздушное судно
БпЛА	–	Беспилотный летательный аппарат
ВВС	–	Военно-воздушные силы
ГЛОНАСС	–	Глобальная навигационная спутниковая система
ДВС	–	Двигатель внутреннего сгорания
ДН	–	Диаграмма направленности
ЗИП	–	Запасные части, инструменты и принадлежности
ИВП	–	Использование воздушного пространства
ИНС	–	Инерциальная навигационная система
КПД	–	Коэффициент полезного действия
КСВ	–	Коэффициент стоячей волны
ЛА	–	Летательный аппарат
ЛЗП	–	Линия заданного пути
ЛФП	–	Линия фактического пути
ЛЭП	–	Линия электропередачи
ОСШ	–	Отношение сигнал / шум
ПВО	–	Противовоздушная оборона
ПК	–	Полетный контроллер
ПО	–	Программное обеспечение
ПУ	–	Пульт управления
РЭБ	–	Радиоэлектронная борьба
СВО	–	Специальная военная операция
СНС	–	Спутниковая навигационная система
ТТХ	–	Тактико-технические характеристики
ШИМ	–	Широтно-импульсная модуляция (англ. PWM)
AUX	–	От англ. Auxiliary port – линейный асинхронно-последовательный аудиовход
BEC	–	От англ. Battery Eliminator Circuit – схема отключения батареи
CCD	–	От англ. Charge-coupled device – прибор с обратной зарядной связью
CCW	–	От англ. Counterclockwise – против часовой стрелки
CMOS	–	От англ. Complementary metal-oxide-semiconductor – дополнительный металл-оксид полупроводник
CW	–	От англ. Clockwise по часовой стрелке
DVR	–	От англ. Digital video recorder – цифровой видеорегистратор
ESC	–	от англ. Electronic Speed Controller – электронный контроллер скорости
FOV	–	От англ. Field of view – угол обзора
FPV	–	От англ. First Person View – вид от первого лица
FC	–	От англ. Flight Controller – полетный контроллер

GPS	– От англ. Global Positioning System – система глобального позиционирования
IMU	– От англ. Inertial Measuring Unit – инерциальный измерительный блок
LiPo	– От англ. lithium-ion polymer battery – литий-полимерные батареи
OSD	– От англ. On Screen Display – отображение на экране телеметрии БпЛА
PAL / NTSC	– Видеоформаты, применяемые в FPV-камерах и дисплеях.
PDB	– От англ. Power Distribution Board – плата распределения питания
PID	– От англ. Proportional-integral-derivative – пропорционально-интегрально- дифференцирующий
RTX	– От англ.Radio transmitter – устройство управления полетом FPV дрона оператором
RX	– От англ. Receiver – приемник
TX	– От англ. Transmitter – передатчик
TVL	– От англ. TV Lines – телевизионные линии
UART	– От англ. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – универсальный асинхронный приемопередатчик
UBEC	– От англ. Universal Battery Eliminator Circuit – универсальная схема отключения батареи
USB	– От англ. Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина
WDR	– От англ.Wide Dynamic Range – расширенный динамический диапазон

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мировой авиации характеризуется созданием комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БпЛА) различного функционального назначения и непрерывным расширением их номенклатуры. Стремительное развитие комплексов с БпЛА обусловлено их потенциальными достоинствами и преимуществами, в первую очередь по показателю эффективность-стоимость, как в сравнении с пилотируемыми авиационными комплексами, так и другими видами вооружений и военной техники.

В ходе специальной военной операции наиболее активно применяются комплексы с БпЛА поля боя и барражирующие боеприпасы. Стоит отметить, что в подразделениях Сухопутных и Воздушно-десантных войск, морской пехоты, сил специальных операций основными БпЛА поля боя являются БпЛА мульти rotorного типа. С их помощью выполняется около 80 % всех задач. Причем БпЛА мульти rotorного типа при низкой стоимости обеспечивают достаточно высокую эффективность поражения объектов противника, около 75 %.

Существующие БпЛА мульти rotorного типа целесообразно разделить на разведывательные и ударные БпЛА. Особым видом ударных БпЛА мульти rotorного типа являются высокоманевренные БпЛА-камикадзе (FPV-дроны). FPV (First Person View) дроны – это квадрокоптеры или мульти rotorные беспилотные летательные аппараты, оснащенные камерой и передающие видео в реальном времени на устройство пилота (очки или монитор). Это означает, что пилот может управлять дроном, как будто он находится в кабине дрона.

Особенность применения FPV-дронов связана с необходимостью управления БпЛА, имеющим высокие скоростные и маневренные характеристики, при этом управление дроном происходит в ручном режиме, с видом от первого лица. Это требует от операторов узкоспециализированных знаний в области конструкции, эксплуатации и тактики применения БпЛА, а также специфических навыков, которые могут быть получены только в результате тренажной подготовки на симуляторах и в ходе практических полетов как на открытых площадках, так и в замкнутых помещениях. Поэтому подготовка оператора FPV-дrona должна включать теоретическую, тренажную и летную подготовки.

Необходимость обучения курсантов военных профессиональных образовательных организаций и военных образовательных организаций высшего образования Министерства обороны Российской Федерации вопросам эксплуатации и применения беспилотных летательных аппаратов (FPV-дронов), с учетом особенностей подготовки операторов FPV-дронов, а также отсутствие систематизированной учебной литературы предопределило необходимость разработки единого учебного пособия.

Учебное пособие разработано коллективом 4 факультета беспилотной авиации Военного учебно-научного центра ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» и позволяет в срок до 10 учебных дней

(54 учебных часов) курсантам военных образовательных учреждений МО РФ получить знания, умения и навыки в соответствии с требованиями к минимуму содержания и уровням обученности, утвержденным 27.10.2023 года Статс-секретарем-заместителем Министра обороны РФ генералом армии Панковым Николаем Александровичем, по вопросам эксплуатации и применения БпЛА (FPV-дронов).

В пособии изложены вопросы устройства, аэродинамики и динамики полета БпЛА мульти rotorного типа, особенности подготовки и тактики применения FPV-дронов, рекомендации по практическому обучению операторов FPV-дронов на симуляторах, а также на открытой местности и в помещениях.

Коллектив авторов выражает благодарность и признательность центру подготовки специалистов разведывательно-ударных БпЛА Группы войск (сил) «Запад» в лице Матвеева М.Н., Савельева Н.В., Ефремова А.А. и др., принявших активное в разработке пособия, а также интернет-сообществу, способствующему активному внедрению способов боевого применения FPV-дронов в рамках СВО, за систематизацию, обобщение опыта и анализ особенностей применения и эксплуатации БпЛА мульти rotorного типа, что привнесло в учебное пособие передовые идеи в области подготовки операторов FPV-дронов.

1 НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ, ТТХ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Развитие беспилотной авиации определило многообразие сфер применения БпЛА. Наиболее активно их используют в военном деле, что существенно повлияло на тактику применения многих видов вооружения и военной техники.

Назначение беспилотных летательных аппаратов, применяемых в военном деле, определяется решаемыми задачами. Задачи подразделяются на ударные, разведывательные, специальные, учебные и другие. Для их решения разрабатываются БпЛА различной конструкции со специализированными полезными (целевыми) нагрузками.

БпЛА различают не только по способу их применения, но и по конструкции, тактико-техническим характеристикам (по размерам самих аппаратов, взлетной массе, дальности, высоте, скорости, продолжительности полета и др.). Рассмотрим более подробно классификацию БпЛА по конструкции.

1.1 Классификация БпЛА по конструкции

Как известно конструкция летательного аппарата (ЛА) зависит от принципа создания подъемной силы, который заложен в основу его полета. Известны следующие принципы полета [1]:

1. Баллистический.
2. Аэродинамический.
3. Ракетодинамический (реактивный).
4. Аэростатический.

Баллистический принцип полета – это полет свободно брошенного тела, происходящий под действием силы тяжести. Подъемная сила определяется силой инерции летящего тела. Для совершения полета по баллистическому принципу тело должно обладать начальным запасом высоты или скорости, поэтому баллистический полет называют также пассивным.

Аэродинамический принцип полета основан на третьем законе Ньютона, согласно которому пластина, помещенная под каким-то углом в воздушный поток, надавливает на него и испытывает ответное давление со стороны потока.

Реактивный принцип полета также основан на третьем законе Ньютона, но взаимодействие летательного аппарата с окружающим его воздухом не является обязательным для него условием. Сущность реактивного принципа заключается в том, что необходимая для полета подъемная сила создается в результате сгорания топлива, при котором образуются газы, обладающие большой энергией. Эти газы, вытекая с большой скоростью из сопла двигателя наружу, создают реактивную силу противоположного направления.

Аэростатический принцип полета основан на законе Архимеда, по которому на тело, находящееся в газовой среде, действует подъемная сила, равная весу вытесненного им газа. По такому принципу летают дирижабли, аэростаты, воздушные шары.

В настоящее время наибольшее распространение конструкции БпЛА использующие аэродинамический и аэростатический принципы создания подъемной силы (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Виды БпЛА по конструкции

БпЛА аэростатического типа – это особый класс БпЛА, в которых подъемная сила создается преимущественно за счет архимедовой силы, действующей на баллон, заполненный легким газом (как правило, гелием).

Этот класс представлен, в основном, беспилотными дирижаблями – летательными аппаратами легче воздуха, представляющими собой комбинацию аэростата с движителем (обычно это винт (пропеллер, импеллер) с электрическим двигателем или ДВС) и системы управления ориентацией [1]. Основным недостатком этого типа БпЛА является низкая маневренность, поэтому они как правило применяются в привязном варианте (на тросе).

БпЛА самолетного типа – это класс БпЛА, в которых подъемная сила создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. БпЛА самолетного типа, как правило, отличаются большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью. Недостатками БпЛА самолетного типа являются необходимость использования пусковых установок, взлетно-посадочных полос, невозможность неподвижного зависания в воздухе на одном месте.

БпЛА вертолетного типа – класс БпЛА, в которых подъемная и движущая силы на всех этапах полета создаются одним или несколькими несущими винтами с приводом от одного или нескольких двигателей [2]. Крыло либо отсутствует вовсе, либо играет вспомогательную роль. Очевидными преимуществами БпЛА вертолетного типа являются способность зависания в точке и высокая маневренность. Основным недостатком вертолетной схемы БпЛА является невысокая скорость полета.

БпЛА с гибридной конструкцией – это класс БпЛА с вертикальным взлетом и посадкой. Под этими аппаратами подразумеваются все БпЛА, которые способны контролировать менять направление вектора тяги и совмещает в себе конструкционные принципы самолета и квадрокоптера. Он имеет преимущества вертикального взлета за счет наличия дополнительных двигателей, установленных в горизонтальной плоскости, и одновременно может развивать высокую скорость, благодаря аэродинамической схеме с неподвижным крылом за счет толкающего или тянувшего винта.

БпЛА мульти rotorного типа – особый класс БпЛА вертолетного типа. Мультикоптер (многороторный вертолет) – летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме, с тремя и более несущими винтами [3]. Их достоинством является относительно низкая стоимость, легкость в управлении, возможность вертикального взлета с неподготовленной площадки и способность зависания в воздухе, а также высокая точность позиционирования. Недостатками являются низкая скорость, высокие энергозатраты, ограниченный радиус действия, непродолжительное время полета.

Существует несколько разновидностей мультикоптеров, различающихся количеством и расположением двигателей относительно центра аппарата: бикоптер; трикоптер; квадрокоптер; гексакоптер; октокоптер.

Квадрокоптер – самый популярный мультикоптер, так как четыре – это оптимальное число электродвигателей для баланса цены, производительности, стабильности и времени полета.

1.2 Принципы полета БпЛА квадрокоптерного типа

Для того, чтобы эффективно применять FPV-дроны, оператор БпЛА должен в совершенстве овладеть навыками управления этим типом БпЛА. Выполняя полет по маршруту и осуществляя боевое маневрирование, оператор FPV-дrona должен постоянно оценивать положение БпЛА в пространстве и прогнозировать его реакцию на перемещение органов управления. Для этого ему необходимо понимать, какие силы действуют на квадрокоптер в полете, а

также от каких параметров зависят его динамические и маневренные характеристики.

Конструкция квадрокоптера, как и вертолета, реализует аэродинамический принцип полета, потому что подъемная и движущая силы на всех этапах полета создаются несколькими воздушными (несущими) винтами – пропеллерами.

Воздушный винт (пропеллер) – лопастной двигатель, создающий при вращении тягу за счет отбрасывания воздуха назад с некоторой дополнительной скоростью, приводимый во вращение двигателем и преобразующий крутящий момент двигателя в силу тяги T .

Лопасти воздушного винта, закреплены на вращающейся оси (на валу двигателя или редуктора) таким образом, чтобы передняя кромка лопасти была направлена в сторону вращения (это важно учитывать при сборке квадрокоптера), а сами лопасти установлены под небольшим углом (угол установки) к набегающему потоку. Аэродинамические силы, действующие на горизонтально установленный воздушный винт квадрокоптера, изображены на рисунке 1.2. Набегающий воздушный поток обтекает лопасти воздушного винта. Расстояние, пройденное воздушным потоком по верхней (выгнутой) кромке лопасти, больше, чем расстояние, пройденное по его нижней поверхности, соответственно скорость воздушного потока на верхней кромке будет выше, чем на нижней. Появившаяся разница скоростей воздушного потока по закону Бернулли приводит к разнице давлений. Разница в давлениях дает подъемную силу C_y [4].

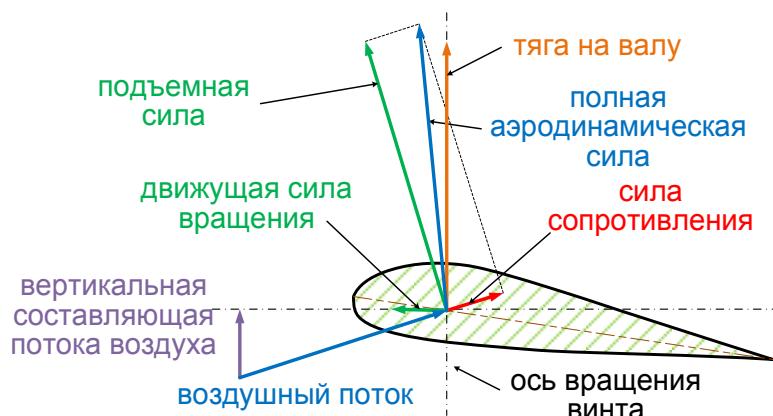


Рисунок 1.2 – Аэродинамика несущего винта

Подъемная сила, возникающая на лопастях, преобразуется в тягу воздушного винта T , приложенную к его втулке. Так как у квадрокоптера четыре винта, то для того чтобы квадрокоптер оторвался от земли суммарная сила тяги пропеллеров $T_{\text{сум}}$ должна быть больше силы тяжести $G = mg$.

На рисунке 1.3 изображена упрощенная конструктивная схема квадрокоптера и схема сил, действующих на него.

Квадрокоптер имеет шесть степеней свободы. Движение квадрокоптера представляет собой совокупность поступательного движения в декартовой трехмерной системе координат, а также вращательное движения вокруг каждой

из трех взаимно перпендикулярных осей [5]. На рисунке 1.3 оси земной системы координат обозначены X, Y, Z; а оси связанной системы координат – x, y, z.

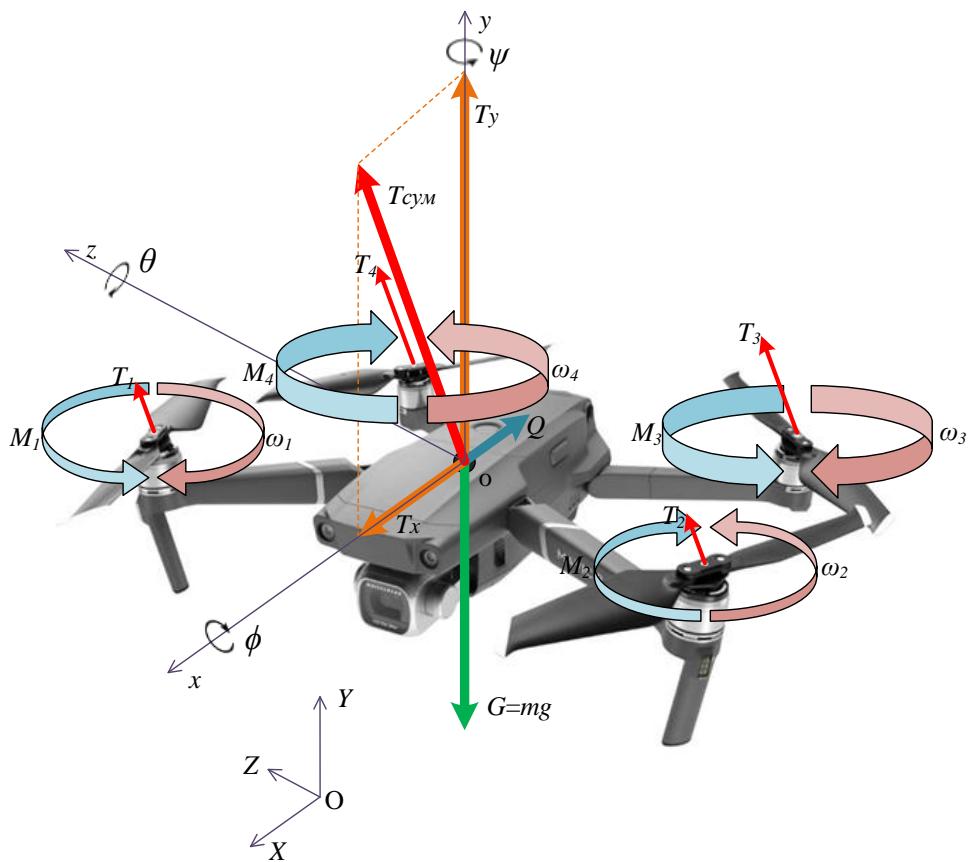


Рисунок 1.3 – Схема сил, действующих на квадрокоптер в полете

На квадрокоптер, как и на все летательные аппараты, действует сила тяжести G и сила сопротивления воздуха Q . Подъемная (T_y) и пропульсивная (T_x , – толкающая вперед и/или T_z , – толкающая вбок) силы создаются несущими винтами квадрокоптера. Силы тяги T_i каждой винтомоторной группы складываются в суммарную силу тяги $T_{cум}=T_1+T_2+T_3+T_4$, которая в общем случае приложена к центру масс квадрокоптера.

Вращение квадрокоптера вокруг одной из осей связанной системы координат x, y, z приводит к наклону вектора тяги $T_{cум}$ в сторону вращения и он раскладывается на составляющие T_x , T_y , T_z . Если квадрокоптер зависает горизонтально и неподвижно, то это значит, что вектор тяги $T_{cум}$ направлен вертикально вверх и полностью перешел в подъемную силу T_y , которая уравновесила силу тяжести G , то есть $T_y = G$.

При вращении на угол θ вокруг оси z (**тангаж – pitch**) появляется продольная составляющая тяги T_x и квадрокоптер начинает движение вперед или назад.

При вращении на угол ϕ вокруг оси x (**крен – roll**) появляется боковая составляющая тяги T_z и квадрокоптер начинает смещаться влево или вправо.

При вращении коптера на угол ψ вокруг оси y (**рыскание – yaw**) вектор тяги $T_{cум}$ на висении не наклоняется. В случае если коптер находится в горизонтальном полете, то поворачиваются продольная и боковая

составляющие вектора тяги T_x и T_z , которые заставляют поворачиваться вектор скорости квадрокоптера в направлении рыскания.

Важно помнить, что при неизменной тяге двигателей увеличение продольной или боковой составляющей вектора тяги приводит к уменьшению подъемной силы T_y . Поэтому при наклонах коптера для сохранения высоты полета необходимо координированно увеличивать тягу двигателей.

Изменение величины и направления вектора тяги осуществляется посредством наклона и поворота квадрокоптера в нужную сторону, а также изменением частоты вращения винтов. Возникающие при этом силы заставляют квадрокоптер двигаться вперед или назад, влево или вправо, вверх или вниз. Продольная, поперечная и вертикальная составляющие скорости образуют в пространстве траекторию движения квадрокоптера, которая может быть довольно сложной [5].

Для того чтобы определить, каким образом осуществляются наклоны и повороты квадрокоптера в нужную сторону, рассмотрим рисунок 1.3, на котором изображены угловые скорости вращения двигателей ω_i и создаваемые винтомоторной группой реактивные моменты M_i . Необходимо обратить внимание на направление и толщину стрелок, чем толще стрелки, тем больше величина, которую они обозначают.

Квадрокоптер меняет направление вращения вокруг центра масс за счет изменения скорости вращения каждого из пропеллеров. Когда дрон парит, соседние пропеллеры вращаются в противоположных направлениях, чтобы поддерживать устойчивость дрона. Изменяя скорость вращения каждого из двигателей, можно манипулировать силами тяги T_i и моментами M_i , которые заставляют дрон вращаться и перемещаться во всех трех измерениях.

За согласованное изменение скорости вращения электродвигателей отвечает полетный контроллер, а оператор лишь задает желаемые суммарную тягу, крен, тангаж и рыскание с помощью ручек управления (стиков) на пульте управления. Полетный контроллер, как правило, имеет несколько автоматических режимов, например, поддержания высоты, ограничения крена и тангажа, а также акробатические режимы для опытных пилотов.

Основные режимы полета квадрокоптера, соответствующие им изменения положений органов управления, и то, как они реализуются полетным контроллером путем изменения частоты вращения двигателей, приведены на рисунке 1.4. Направление вращения и скорость вращения обозначены стрелками, чем толще стрелки, тем выше скорость вращения.

Выполнение более сложных пространственных маневров достигается комбинацией перечисленных выше простых маневров. Поэтому оператор дрона должен уметь согласованно работать одновременно двумя стиками, управляя одновременно тангажом, креном, рысканием и тягой, заставляя коптер двигаться по заданной траектории.

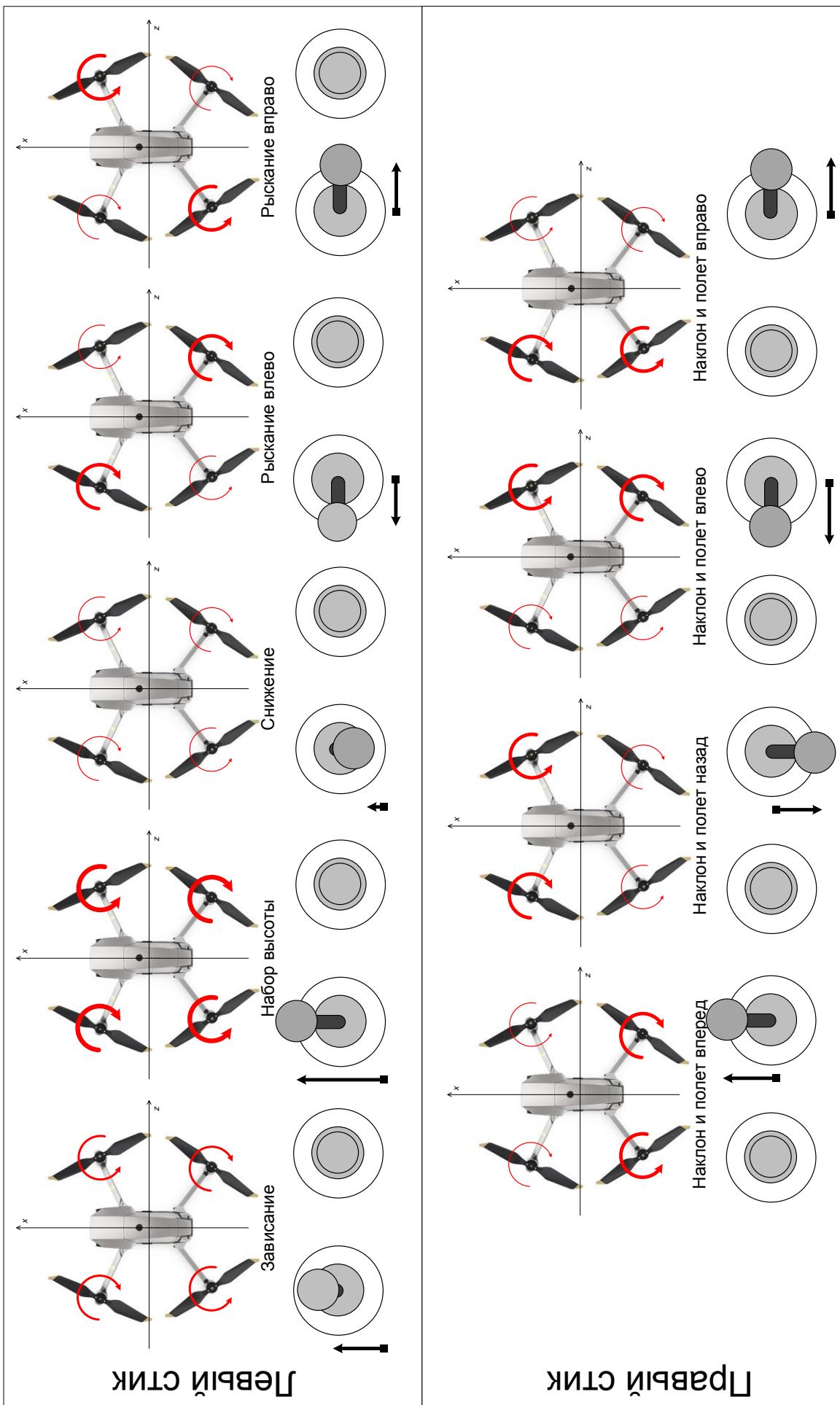


Рисунок 1.4 – Основные маневры квадрокоптера

1.3 Основные ТТХ коммерческих БпЛА квадрокоптерного типа

По целевому назначению БпЛА принято разделять на три группы: коммерческие, потребительские и боевые. Коммерческие БпЛА в отличие от потребительских обладают расширенными возможностями и функциональностью, поэтому они оказались востребованными для решения задач военного назначения. Сейчас на рынке доступно множество различных типов коммерческих дронов, каждый из которых имеет свой набор функций и преимуществ. На основе опыта боевого применения коммерческих БпЛА мультироторного типа наибольшую популярность получили квадрокоптеры производителей DJI, Autel, Xiaomi (таблица 1.1) [6].

Таблица 1.1 – Основные типы коммерческих БпЛА квадрокоптерного типа

Наименование	Камера	Время полета	Заявленная дальность полета	Частоты каналов передачи данных
 DJI Inspire 3	8K	до 28 минут	до 15 км	2,4ГГц
 DJI Mavic Mini	4K	до 30 минут	до 4 км	2,4ГГц
 Autel Robotics EVO	4K	до 30 минут	до 7 км	2,4ГГц
 Xiaomi FIMI X8SE 2020	4K	до 35 минут	до 8 км	5,8ГГц
 DJI Mavic Pro (Platinum)	4K	27/30 минут (Pro/Pro Platinum)	до 7 км	2,4/5,8ГГц
 Autel EVO Lite+	5K	40 минут	до 12 км	2,4ГГц/5,1-5,8 ГГц
 DJI Mavic Air 2	4K	до 34 минут	до 10 км	2,4/5,8ГГц

Таблица 1.1 – Продолжение

Наименование	Камера	Время полета	Заявленная дальность полета	Частоты каналов передачи данных
 DJI AIR 2S	5K	до 31 минут	до 12 км	2,4/5,8ГГц
 DJI Phantom 4 Pro V2.0	4K	30 минут	до 10 км	2,4/5,8ГГц
 DJI Mavic 2	4K	до 31 минут	до 10 км	2,4/5,8ГГц
 XDynamics Evolve 2	4K	до 33 минут	до 11 км	2,4ГГц/5,1-5,8ГГц
 Autel EVO II	8K	до 40 минут	до 9 км	2,4ГГц
 DJI Mavic 3 Classic	5K	до 46 минут	до 15 км	2,4/5,8ГГц
 DJI Matrice 30T	5K+ ИК	до 36 минут	до 15 км	2,4/5,8ГГц
 DJI Matrice 300RTK	8K+ ИК	до 55 минут	до 15 км	2,4/5,8ГГц

1.4 Виды полезных нагрузок БпЛА

Полезная нагрузка – это оборудование, которое БпЛА несет на себе для выполнения различных боевых задач. Может включать в себя видеокамеры, тепловизоры, дальномеры, системы сброса, средства поражения и т.д. (рисунок 1.5).

Тип полезной нагрузки, как и тип БпЛА зависит от типа решаемой боевой задачи. Основные типы полезных нагрузок коммерческих БпЛА и решаемые ими боевые задачи приведены в таблице 1.2.

Полезная нагрузка может быть сменяемой и несменяемой.



Рисунок 1.5 – Виды полезных нагрузок БпЛА

Таблица 1.2 – Виды полезных нагрузок БпЛА и их назначение

Тип полезной нагрузки	Назначение	Решаемые задачи
Фото- или видеокамера	Получение фотоснимков или видеоряда с воздуха	Воздушная разведка, объективный контроль, целеуказание, аэрофотосъемка, поисково-спасательные работы.
Тепловизор	Съемка объектов в инфракрасном диапазоне	Воздушная разведка, объективный контроль, целеуказание, поисково-спасательные работы.
Аппаратура радиотехнической и радиолокационной разведки	Решение разведывательных задач	Решение разведывательных задач
Аппаратура ретрансляции и связи, постановки помех	Ретрансляция и увеличение дальности сигнала, постановка помех	Организация каналов связи, системы РЭБ

Таблица 1.2 – Продолжение

Тип полезной нагрузки	Назначение	Решаемые задачи
Лидар, лазерный дальномер	Прибор для определения высот и расстояний до объектов, целеуказания	Корректировка огня, целеуказание, аэрофотосъемка.
Газоанализатор	Прибор для анализа химического состава воздушной среды	РХБ-разведка
Мультиспектральные камеры	Получение данных в различных спектральных проекциях	Воздушная разведка
Системы подвеса и сброса	Для перемещения груза и его сброса	Применение средств поражения, доставка грузов, оборудования
Магнитометр, барометр, термометр и другие датчики	Для измерения вектора геомагнитного поля, давления, температуры и т.д.	Навигация

1.5 Конструкция БпЛА коптерного типа

Для выполнения полета на FPV-дроне необходим полный комплект оборудования, состоящий из БпЛА, средств управления, средств отображения видеинформации с курсовой камеры, позволяющей непосредственно выполнять управление БпЛА «от первого лица».

В состав типового БпЛА коптерного типа входят следующие компоненты:

- корпус или фюзеляж;
- силовая установка (двигатель);
- автопилот (полетный контроллер) с датчиками;
- аппаратура управления;
- воздушный винт (пропеллер);
- передатчик и приемник информационного сигнала и телеметрии;
- бортовая электроника;
- источник питания (аккумулятор, генератор);
- шасси (стойки).

Большое разнообразие комплектующих для сборки FPV-дронов требует от лиц, занимающихся их эксплуатацией и обслуживанием, знания основных характеристик и принципов работы устройств, входящих в комплект оборудования FPV-дрона.

На основе этих знаний можно оптимальным образом подобрать комплектующие, качественно выполнять предполетное и послеполетное обслуживание, эффективно его эксплуатировать, выполнять диагностику и, при необходимости, ремонт различных систем FPV-дрона.

Рассмотрим состав, основные параметры и характеристики оборудования, входящего в типовой комплект FPV-дрона [6].

На рисунке 1.6 представлен типовой комплект FPV-дрона.



Рисунок 1.6 – Комплект FPV-дрона

В состав комплекта входит следующее оборудование:

- FPV-дрон с аккумулятором;
- очки (монитор, шлем);
- аппаратура (пульт) управления;
- зарядное устройство для аккумулятора.

В состав FPV-дрона входят следующие элементы:

- рама;
- винтомоторная группа (электродвигатели, пропеллеры, электронный регулятор оборотов);
- полетный контроллер;
- плата распределения питания;
- радиоприемник (сопрягаемый с радиопередатчиком на пульте управления);
- видеопередатчик;
- аккумуляторная батарея;
- GPS-модуль (опционально);
- подвес для камеры;
- камера;
- звуковой сигнализатор со встроенной батареей (опционально);
- соединительные провода;
- крепеж.

Рассмотрим более подробно каждый из элементов FPV-дрона.

Рама – это основной и несущий элемент конструкции дрона, к которому крепятся все прочие комплектующие и двигатели. Рама отвечает за важные функции дрона: обеспечивает надежность и жесткость конструкции при ее

малом весе, защищает все электронные элементы. Жесткость конструкции повышает стабильность управления за счет уменьшения нежелательных вибраций, а малый вес увеличивает продолжительность полета.

Рама квадрокоптера имеет четыре луча из цельного куска материала или отдельные лучи, скрепляемые винтами (рисунок 1.7) [7].



Рисунок 1.7 – Рама FPV-дрона в разборе

Фюзеляж – место для размещения электроники (полетного контроллера, камеры и др.) и системы сброса средств поражения. Центральная часть рамы состоит из двух пластин, нижней и верхней, соединенных стойками.

Лучи – направляющие для установки двигателей и регуляторов (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Лучи рамы различной толщины и составляющие рамы

Эти детали должны быть достаточно прочными, чтобы выдержать не только вес самой конструкции БпЛА, но и противостоять ударам и падениям.

Размер FPV-дрона определяется максимальным диаметром пропеллера, который на него можно установить. Диаметр пропеллера обычно указывается в

дюймах. Также размер может указываться в миллиметрах (например, 450 мм) и определяет наибольшее расстояние между двумя моторами на БпЛА (рисунок 1.9). Размер также может определять «класс» БпЛА (микро, мини и т.д.).



Рисунок 1.9 – Измерение наибольшего расстояния между двумя моторами на БпЛА

Чем дальше двигатели от центра и длиннее лучи, тем больший момент инерции у конструкции.

Размер рамы влияет на:

- размер пропеллеров;
- размер двигателей;
- вид регуляторов оборотов – отдельные или в контроллере 4 в 1;
- совместимость с определенными FPV или HD-камерами;
- сопротивление воздуха;
- инерцию;
- вес.

Форма рамы и конфигурация ее лучей определяется способом и формой присоединения лучей к раме. Основные виды рам FPV-дрона приведены на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Виды рамы FPV-дрона

Кроме того, рама может быть цельной (единая пластина) или сборной. Монорама намного легче и не требует сборки, но, если сломать луч, менять придется всю пластину, поэтому сборная рама является более ремонтопригодной [8].

Рама БПЛА мини-класса делается из самых разных материалов: пластик, текстолит, стекловолокно, алюминий, карбон и т.д.

Часто для изготовления рамы используется карбон. Его преимущества заключаются в легкости, прочности, долговечности и жесткости конструкции. Недостатками карбона являются электропроводность, как следствие, экранирование радиосигналов.

Конструкция и материал рамы определяют, насколько она устойчива к авариям. Крепкие рамы обычно тяжелые, но более стабильны в воздухе, в то время как легкие наоборот – маневренные [9].

Винтомоторная группа – это узел БПЛА, который включает в себя три компонента: *электродвигатели, пропеллеры и регуляторы оборотов*.

Одна из самых главных частей квадрокоптера – электродвигатели. Электродвигатели квадрокоптеров подразделяются на коллекторные (щеточные) и бесколлекторные (бесщеточные).

Электродвигатель – это электрическая машина, в которой электрическая энергия, посредством магнитного поля, преобразуется в механическую энергию вращения. Эффективность этого процесса – коэффициент полезного действия (КПД) электродвигателя зависит от конструкции двигателя, а также источника тока (постоянного или переменного).

На рисунке 1.11 приведены два типа электродвигателей постоянного тока коллекторные и бесколлекторные.



Коллекторный электродвигатель



Бесколлекторный электродвигатель

Рисунок 1.11 – Виды электродвигателей

Коллекторный двигатель состоит из корпуса, внутри которого находятся магниты (*статор*), корпус неподвижен, а в движение приводится *ротор* с обмоткой с помощью щеток, которые подают электричество на обмотку (рисунок 1.12).

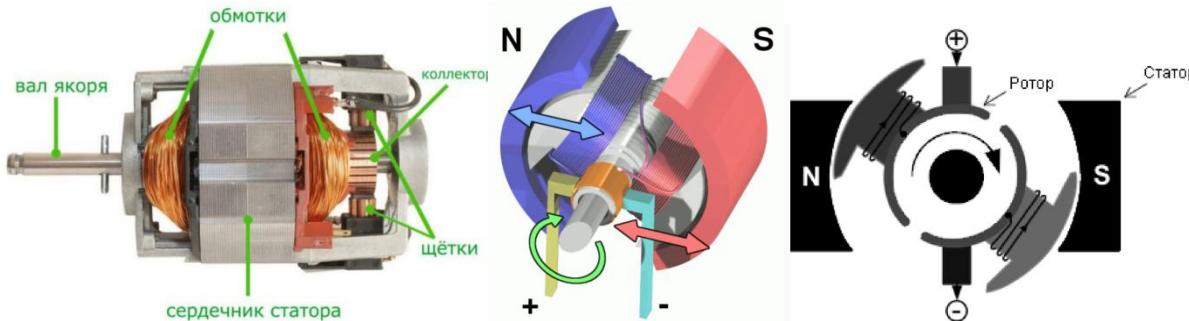


Рисунок 1.12 – Устройство и принцип работы коллекторного двигателя

Направление вращения ротора зависит от полярности [1].

Коллекторные двигатели развивают незначительные обороты и мощность. Коллекторные электродвигатели используются, в основном, на легких летательных аппаратах начального уровня. Такой тип электродвигателей склонен к поломкам, из-за особенностей щеточно-коллекторного узла. Поэтому в БПЛА мультироторного типа применяются бесколлекторные электродвигатели.

Бесколлекторный двигатель состоит из следующих элементов (рисунок 1.13): статор, магниты, корпус, вал.

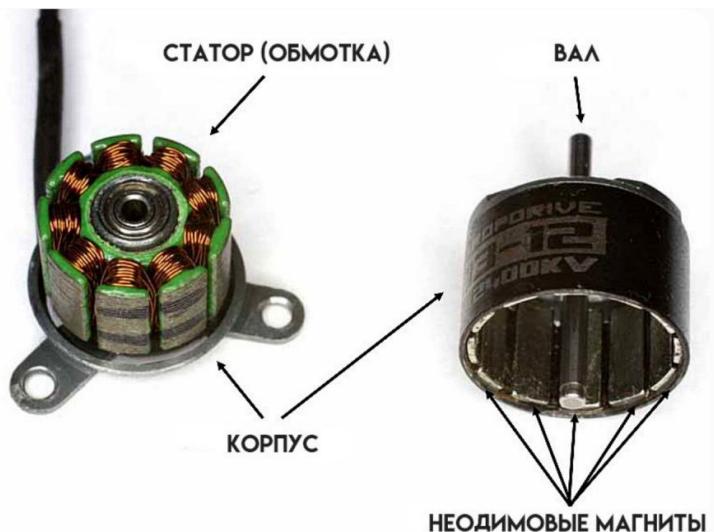


Рисунок 1.13 – Устройство бесколлекторного двигателя

Статор бесколлекторного двигателя – это обмотка электродвигателя, состоящая из трех фаз длинных тонких проводов, которые обматываются вокруг сердечника. Провода покрыты эмалью (лаком), чтобы предотвратить короткое замыкание в обмотке. Ток, протекающий по проводу, создает магнитное поле. Когда провод обмотан вокруг какого-то объекта, это приводит к увеличению магнитного поля. Чем больше ток, тем больше сила магнитного поля и больше крутящий момент у двигателя. Однако большие токи приводят к сильному нагреву обмотки, особенно если использовались тонкие провода. В таком случае защитная эмаль может оплавиться, что приведет к короткому замыканию, и двигатель выйдет из строя [10].

Магниты из редкоземельных металлов (неодимовые и др.) создают магнитное поле. Элементы приклеены эпоксидной смолой или цианакрилатным kleem к корпусу мотора (колоколу).

Корпус двигателя защищает магниты и обмотку. Обычно он изготовлен из легкого металла, такого как алюминий. Некоторые двигатели имеют корпуса, которые сделаны как вентиляторы, т.е. при вращении нагоняют воздух на обмотку сердечника, чтобы охлаждать ее.

Вал электродвигателя жестко прикреплен к верхней части. Это рабочий компонент мотора, который передает крутящий момент на пропеллеры.

Смена направления вращения двигателя производится путем смены полярности обмоток (меняются местами два контакта из трех). Такие электроприводы обладают разным числом полюсов, и чем их больше, тем медленнее, но со значительным усилием, будет вращаться ротор [11].

По конструкции бесколлекторные двигатели делятся на две группы:

– двигатели, которые имеют расположенные по внутренней поверхности корпуса обмотки (статор) и вращающийся внутри магнитный ротор (Inrunner);

– двигатели, которые имеют в центре неподвижные обмотки (статор), вокруг которых вращается корпус с помещенным на его внутреннюю стенку постоянными магнитами (ротор) (Outrunner) [1].

Принцип действия бесколлекторного двигателя заключается в том, что управляющая электроника (электронные регуляторы оборотов электродвигателей – ESC) создает в обмотках статора вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с магнитами на роторе, вызывает его вращение (рисунок 1.14) [13].

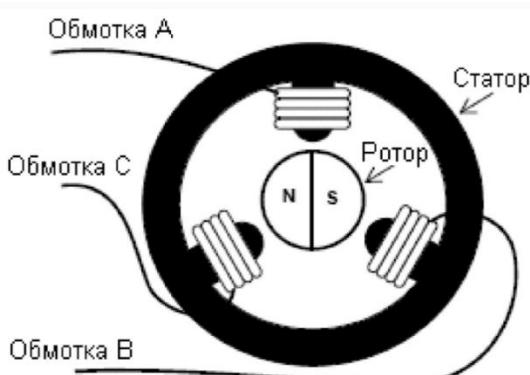


Рисунок 1.14 – Принцип работы бесколлекторного двигателя

Преимущества бесколлекторного двигателя:

- большая скорость вращения;
- широкий диапазон изменения частоты вращения;
- стойкость к внешним воздействиям, возможность использования в агрессивной или взрывоопасной среде;
- высокие энергетические показатели (КПД более 90%);
- меньший уровень нагрева во время работы по сравнению с коллекторными двигателями;

- высокая надежность и повышенный ресурс работы за счет отсутствия скользящих электрических контактов;
- меньший уровень шума при работе и меньший вес по сравнению с коллекторными двигателями [9].

Недостатки бесколлекторного двигателя:

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

Основными параметрами бесколлекторных электродвигателей являются:

Масса электродвигателя. Чем меньшей массой обладает двигатель, тем легче ему раскручиваться. Чем больше двигатель, тем он мощнее, но медленнее раскручивается. Важно соблюдать баланс соотношения мощности к весу.

Номинальная полезная мощность – это мощность, которую двигатель может отдавать механической нагрузке (пропеллеру) с заявленными параметрами без перегрева.

Электрическая потребляемая мощность – это мощность, которую двигатель потребляет в процессе функционирования.

КПД электрического двигателя – отношение электрической потребляемой мощности к номинальной полезной мощности.

Крутящий момент электродвигателя – это сила вращения его вала.

Тяга двигателя – это характеристика электродвигателя, показывающая какой вес может поднять электродвигатель с установленным на него пропеллером. Для квадрокоптера общее правило по определению соотношения тяги и общего веса заключается в том, что тяга каждого из двигателей должна составлять не менее половины от веса БПЛА.

Количество оборотов в минуту на единицу напряжения (KV) – параметр, показывающий, сколько оборотов в минуту совершил двигатель. При этом он не является показателем мощности, тяги или эффективности. Другими словами, параметр KV показывает, как увеличится количество оборотов электромотора с подачей напряжения 1В без пропеллера. К примеру, KV 8000 будет означать, что если подать на электродвигатель 1 Вольт, то он будет крутиться со скоростью 8000 оборотов в минуту. При установке пропеллера количество оборотов снизится ввиду сопротивления воздуха. Приводы с более высоким KV будут раскручивать пропеллеры быстрее, потребляя при этом больший ток. Поэтому рекомендуется устанавливать большие пропеллеры на моторы с малым KV, а компактные легкие пропеллеры – на двигатели с высоким KV [12].

Следует запомнить общее правило: чем тяжелее летательный аппарат, тем меньше значение KV его электродвигателей, а на небольших БПЛА принято использовать моторы с очень большим значением KV.

Направление вращения. На электродвигателях, предназначенных для мультикоптеров, присутствуют обозначения направления вращения CW (от

англ. *Clockwise* – по часовой стрелке) и *CCW* (от англ. *Counterclockwise* – против часовой стрелки).

Габариты бесколлекторных электродвигателей обычно обозначаются четырьмя цифрами, первые две – диаметр статора (в миллиметрах), две следующие – высота статора (в миллиметрах). Чем больше высота статора, тем он более мощный на больших оборотах. Чем больше диаметр, тем больше крутящий момент при малых оборотах [13].

В соответствии с общепринятыми нормами маркировка электродвигателей строится следующим образом:

1. Первая буква определяет класс привода, и отображает качество изготовления:

- серия «V» – так обозначаются электродвигатели мультикоптеров гоночного или премиального сегмента, изготовленные из лучших материалов с высокой точностью сборки;

- серия «X» – серия электродвигателей мультикоптеров средней ценовой категории соответствующего качества и сборки;

- серия «A» – электродвигатели бюджетного сегмента.

2. Цифры обозначают параметры магнитопровода. Первые две цифры – это диаметр (в миллиметрах), две следующие – толщина набора (в миллиметрах). После знака дроби указываются цифры, обозначающие количество витков. Последняя буква отвечает за тип намотки.

Рассмотрим пример: A2212/15T, где:

- А – электродвигатель, относящийся к бюджетному сегменту;
- 22 – магнитопровод диаметром 22 миллиметра;
- 12 – толщина набора 12 миллиметров;
- 15 – 15 витков;
- Т – (может встречаться обозначение Δ) – тип обмотки «треугольник».

Также в маркировке может указываться количество оборотов в минуту на единицу напряжения (Вольт) – KV.

В описаниях электромоторов могут присутствовать значения вида: «12N14P». Цифры перед «N» означают число электромагнитов в статоре, а перед «P» – число постоянных магнитов в роторе (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Бесколлекторный двигатель в разборе

У разных типоразмеров электродвигателей разное число полюсов, которое определяет дистанцию между ними. Большее число полюсов обеспечивает плавность вращения, меньшее – более высокую мощность [7].

Воздушный винт (пропеллер) – лопастной движитель, создающий при вращении тягу за счет отбрасывания воздуха с некоторой скоростью. Лопасти винта при вращении захватывают воздух и отбрасывают его в противоположном движению направлении. Перед винтом создается зона пониженного давления, за винтом – повышенного. Чем больше масса и скорость воздушного потока, отбрасываемого винтом, тем больше сила тяги винта.

При выборе пропеллеров необходимо учитывать четыре основных параметра:

1. Размер.
2. Шаг.
3. Конфигурация пропеллера.
4. Материал.

Под шагом (рисунок 1.16) понимают расстояние, которое пропеллер может преодолеть за один оборот, в некой плотной среде.

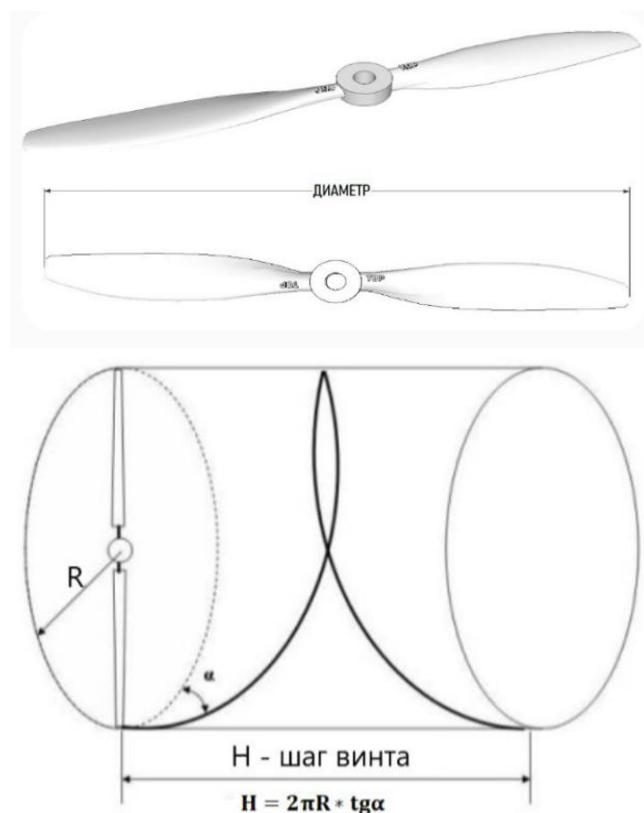


Рисунок 1.16 – Диаметр и шаг винта

Величина шага у лопастей квадрокоптера зависит от угла атаки лопастей. Пропеллер с большим углом атаки поднимает аппарат вверх за один оборот на большее значение, но, при этом, сильнее нагружает мотор.

Пропеллеры малого размера быстрее реагируют на изменение скорости вращения двигателей. Они проталкивают через себя меньше воздуха,

соответственно тратят меньше энергии при изменении скорости вращения. Небольшие пропеллеры ставят на маневренные квадрокоптеры, а пропеллеры с большим диаметром – на более грузоподъемные коптеры.

Пропеллеры должны соответствовать мощности электродвигателя.

Наиболее популярным пропеллером считается 5-дюймовый, для которого подходят двигатели в диапазоне размеров 2204-2307.

Конфигурация пропеллера – это количество лопастей, использующихся в нем. По количеству лопастей пропеллеры подразделяются на (рисунок 1.17):

- двухлопастные;
- 3-лопастные;
- 4-лопастные;
- 5-лопастные.



Рисунок 1.17 – Двухлопастные и 3, 4, 5-лопастные воздушные винты

Увеличение числа лопастей пропеллера компенсирует его размер, именно поэтому в микросборках чаще всего используются четырехлопастные пропеллеры, а в БПЛА большего размера – трехлопастные.

Из-за сложной физики и аэrodинамики увеличение количества лопастей не так эффективно, как увеличение размера. Меньшее количество лопастей предпочтительнее, если требуется более быстрый отклик двигателя, а тяга не так важна.

В наиболее распространенной категории 5-дюймовых пропеллеров принято считать, что пропеллеры с тремя лопастями обеспечивают наилучший баланс эффективности, тяги и сцепления.

Важный фактор, которому часто не уделяют должного внимания – долговечность. Во время полетов, особенно если пилот начинающий, будет очень много аварий и падений, поэтому пропеллеры станут расходным материалом.

Пропеллеры могут быть изготовлены из поликарбоната, обладающего пластичностью и высокой прочностью, а также из углеродного волокна и АБС-пластика. Углеродное волокно обладает высокой жесткостью конструкции, легкостью, поддается балансировке и не теряет форму. АБС-пластик – это тоже очень прочный материал, но более хрупкий. Следует помнить, что выбор материала пропеллеров также зависит от времени года. Пластмассы для пропеллеров термопластичны, то есть их жесткость и пластичность зависят от температуры. Воздушные винты из разных материалов представлены на рисунке 1.18.



Рисунок 1.18 – Воздушные винты из разных материалов: пластик, карбон, дерево

Пропеллеры имеют следующие обозначения, которые соответствуют направлению вращения (рисунок 1.19):

- CW – стандартная система с работой по часовой стрелке;
- CCW – вращение лопастей против часовой стрелки.

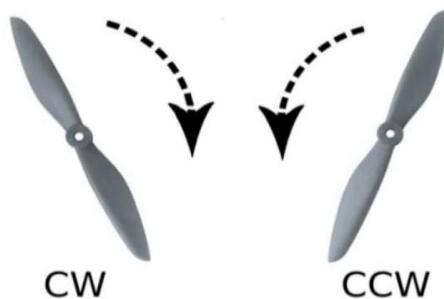


Рисунок 1.19 – Маркировка направления вращения пропеллеров

Определить, какой пропеллер подойдет для требуемого направления вращения, можно по поднятой кромке лопасти на нем. Эта часть детали направляется в сторону вращения.

Прежде чем устанавливать пропеллеры на квадрокоптер, следует узнать, в правильную ли сторону будут крутиться моторы. Большинство квадрокоптеров летает на конфигурации, представленной на рисунке 1.20

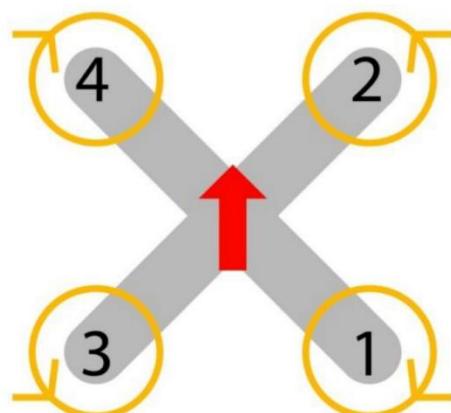


Рисунок 1.20 – Конфигурация направлений вращения пропеллеров у квадрокоптера

Красной стрелкой показано направление полета квадрокоптера. Желтые стрелки – направления вращения пропеллеров.

Маркировка пропеллеров состоит из 3 чисел, следующего вида: 5045 и DP5x4.5x3V, где 5045 – это сокращенная цифра общей маркировки. Общая маркировка – DP5x4.5x3V: первая цифра означает размер (в дюймах), в представленном случае составляет 5 дюймов, 4.5 – это шаг или угол наклона лопастей, который обозначает расстояние, пройденное пропеллером за один полный оборот вокруг своей оси. Третья цифра (3) – это количество лопастей на пропеллере.

Электронный регулятор оборотов (ESC, Electronic Speed Controller) – специальное устройство для управления оборотами электродвигателя (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 – Электронные регуляторы оборотов:
а) с маркировкой; б) закрепленные на лучах рамы

Основная задача ESC – передача энергии от аккумулятора к бесколлекторному электродвигателю. Потребность в их применении возникла вследствие некоторых особенностей бесколлекторного электромотора. Аккумулятор отдает постоянный ток, а бесколлекторный электродвигатель потребляет трехфазный переменный ток.

На вход ESC подаются напряжение с аккумулятора и сигналы от полетного контроллера (уровень газа), а на выход регулятор выдает управляющее напряжение на бесколлекторном двигателе, меняя скорость его вращения [11].

Регулятор должен обеспечивать:

- совместимость с полетным контроллером;
 - максимальный ток для мотора (рассчитывается из спецификаций мотора и пропеллера плюс 20 – 30%);
 - потребление тока меньше, чем ток, отдаваемый аккумулятором, поделенный на количество ESC.

Компоненты регулятора скорости:

- микроконтроллер;
 - драйверы ключей;
 - силовые транзисторы (ключи, MOSFET);

- стабилизатор питания микроконтроллера (LDO);
- конденсаторы (фильтры);
- датчик тока;
- светодиоды.

Дополнительно к основной функции, регуляторы оборотов могут также передавать питание к другим узлам БпЛА: полетному контроллеру, сервоприводам и так далее. Это достигается внедрением в регулятор блока исключения батареи – Battery Eliminator Circuit (BEC).

Использование BEC значительно упрощает конструкцию БпЛА, однако такая схема обладает рядом минусов. Блок исключения батареи может перегреваться при больших перепадах напряжения и больших нагрузках. Регуляторы оборотов с BEC, как правило, стоят дороже, чем регуляторы без него.

Более простым решением является раздельное использование ESC и одного BEC. Такое решение называется универсальный блок исключения батареи – Universal Battery Eliminator Circuit (UBEC), которое обладает более высоким коэффициентом полезного действия и подключается напрямую к аккумулятору для питания соответствующего узла [10].

Регулятор оборотов может быть настроен на различные режимы работы, для него пишут отдельное *программное обеспечение*, называемое *прошивкой* (*firmware*). Обновления программного обеспечения включают исправление ошибок и более совершенные алгоритмы управления. Сменить программное обеспечение регулятора можно несколькими способами:

- используя специальную плату управления;
- используя полетный контроллер;
- используя программатор.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно выделить особые критерии выбора регулятора оборотов для БпЛА:

- совместимость с полетным контроллером. Полетный контроллер должен поддерживать BEC и прошивку ESC;
- совместимость со спецификациями мотора и аккумулятора;
- наличие или отсутствие BEC;
- теплоотвод и герметичность.

Полетный контроллер (*ПК, FC – Flight Controller*) – электронное устройство, представляющее из себя вычислительную систему, работающую по сложным алгоритмам и управляющую полетом БпЛА. Функции полетного контроллера могут определяться установленной на борту БпЛА мини-класса дополнительной периферией (GPS/ГЛОНАСС, модем, OSD, подвес для фото/видеокамеры, датчики тока и напряжения, поисковые средства и т.д.). По своей сути ПК – это плата с большим количеством различных датчиков, которая отслеживает положение летательного аппарата и команды от пользователя [8].

Используя полученные данные, она управляет скоростью вращения электродвигателей для того, чтобы БпЛА двигался так, как задумал пилот. У всех полетных контроллеров имеется базовый набор датчиков: гироскопы

(Gyro) и акселерометры (acc); некоторые продвинутые конфигурации имеют также барометр (датчик, измеряющий давление воздуха, благодаря которому можно измерять высоту полета) и магнитометр (компас). К ПК также подключаются периферийные устройства: GPS, светодиоды, сонары и т.д. Контроллеры для гоночных БПЛА очень быстро эволюционируют: становятся меньше, имеют все более быстрые процессоры, более современные датчики и все больше встроенных функций (рисунок 1.22).

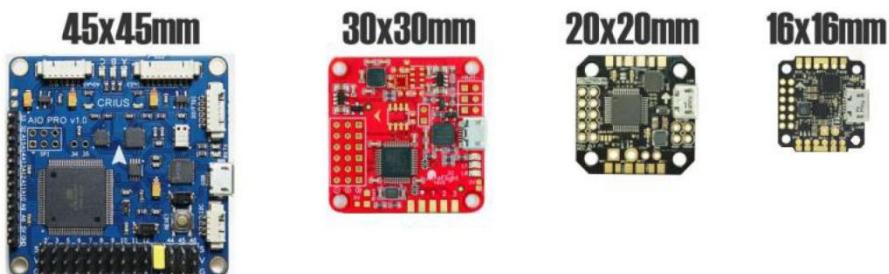


Рисунок 1.22 – Полетные контроллеры

Полетный контроллер выполняет следующие задачи.

1. *Стабилизация аппарата в воздухе* – сбор и обработка информации с инерциального измерительного блока (IMU), датчиков ускорений и угловой скорости, обеспечивая аэродинамическую устойчивость 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. Имеется возможность привязки позиции БПЛА мини-класса на заданной высоте и в заданной точке при помощи модуля GPS/ГЛОНАСС.

3. *Автономный полет* – выполнение заранее построенного полетного задания, созданного в специальном программном обеспечении, с выдерживанием заданных оператором параметров полета и автоматический возврат в точку старта при помощи модуля GPS/ГЛОНАСС.

4. *Остановка перед препятствиями и их преодоление* – обеспечивает остановку перед препятствиями и их преодоление с помощью набора сенсоров, определяющих расстояние до объекта. В случае оснащения системой технического зрения, полетный контроллер должен обладать высокой вычислительной мощностью, позволяющей в реальном времени аккумулировать и обрабатывать данные с сенсоров, постоянно сканирующих окружающую среду. У разных коптеров состав системы технического зрения может отличаться типом и количеством датчиков, принципом работы, математическими алгоритмами и порядком взаимодействия между этими датчиками [7].

5. Передача текущих параметров полета – сбор и обработка данных с внешних источников данных (GPS/ГЛОНАСС, датчики тока, напряжения, температуры) и штатных (барометр, акселерометр, магнитометр) с последующей передачей потока данных на модуль OSD (On-Screen Data), которые у оператора отображаются в FPV-очках или на дисплее. Данные телеметрии также могут передаваться непосредственно с полетного контроллера при помощи радиомодема, который обеспечивает двухстороннюю связь по протоколу UART (универсальный асинхронный приемопередатчик) через радиоканал.

Полетные контроллеры могут иметь различный набор датчиков и функционал, в зависимости от его предназначения. Как правило, в FPV-дронах более простой полетный контроллер, чем в классических квадрокоптерах, предназначенных для видеосъемки (рисунок 1.23). Последние ПК имеют полноценный автопилот, выполняющий расширенный функционал, например, полет по точкам, управление полезной нагрузкой, слежение за объектом интереса или автономная навигация. В то же время ПК FPV-дrona выполняет в основном только задачу стабилизации БпЛА в воздухе и управление по командам оператора (рисунок 1.24).



Рисунок 1.23 – Виды полетных контроллеров: а) – ПК FPV-дrona, б) – автопилот БпЛА



Рисунок 1.24 – Отличие ПК FPV-дrona от автопилота

Рассмотрим основные составляющие полетного контроллера FPV-дrona.

Микроконтроллер – это однокристальная микроЭВМ обычно из семейства 32-битных STM32 от компании STMicroelectronics. Семейство

STM32 состоит из серий микроконтроллеров: H7, F7, F4, G4, F3, F2, F1, F0. Модели микроконтроллеров отличаются внутренней архитектурой, быстродействием, размером памяти для хранения программ и данных, количеством интерфейсов для подключения внешних и внутренних периферийных устройств и другие. От этих параметров зависит количество каналов управления, количество датчиков и исполнительных устройств, которые можно подключить к ПК, и насколько быстро он будет производить необходимые вычисления.

Минимальное требование к *количество каналов полетного контроллера* – наличие минимум четырех каналов управления, поскольку они требуются для управления 4 основными функциями БПЛА:

- канал газа – отвечает за уменьшение и увеличение оборотов двигателей БПЛА;
- канал тангажа – отвечает за наклон аппарата вперед и назад;
- канал крена – отвечает за наклон БПЛА влево и вправо;
- канал рыскания – отвечает за вращение аппарата вокруг своей оси.

Для подключения к ПК внешних устройств применяются цифровые шины и CAN, I2C, SPI и аппаратный последовательный интерфейс UART.

Цифровые шины подключения CAN, I2C и SPI предназначены для подключения к ПК различных датчиков. Лучше всего использовать SPI, так как она позволяет работать с большими частотами опроса датчиков, чем I2C.

Аппаратный последовательный интерфейс UART (от англ. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – универсальный асинхронный приемопередатчик) используется для подключения периферийных устройств (приемник GPS-сигнала, телеметрия, транспондер, управление видеопередатчиком и т.д.). У каждого последовательного порта два контакта: TX – для передачи данных, RX – для приема. Следует запомнить, TX на периферийном устройстве подключается к RX на полетном контроллере и наоборот [6]. Количество последовательных портов в полетном контроллере зависит от модели ПК и используемого в нем микроконтроллера. Например, на микроконтроллере типа F1 обычно только 2 порта UART, у F3 и F4 может быть от 3 до 5, а у F7 – 6 или 7.

Встроенные датчики: акселерометры, гироскопы, барометры, магнитометры (компасы), датчики температуры наружного воздуха, а также различные измерительные блоки, например, модуль инерциальной навигационной системы (IMU – Inertial Measuring Unit).

Блок телеметрии предназначен для передачи параметров полета коптера (местоположение, процент заряда батареи, высота, скорость, потребление тока и др.) на пульт управления или через видеопередатчик на FPV-очки.

На рисунке 1.25 показаны основные элементы полетного контроллера и контакты для подключения периферийных устройств.

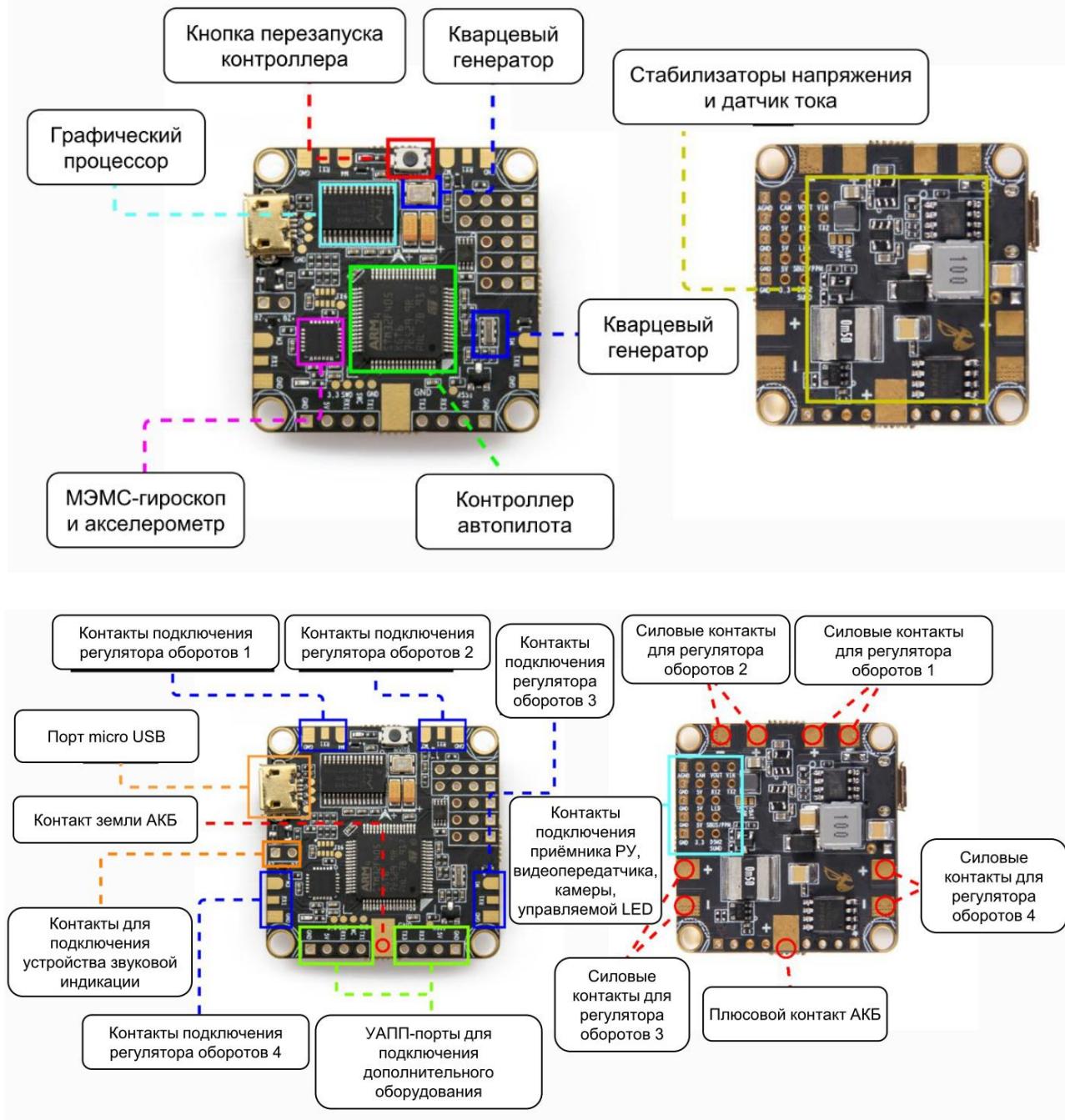


Рисунок 1.25 – Составляющие полетного контроллера

Периферийное оборудование – это дополнительные внешние устройства, которые подключаются к полетному контроллеру БПЛА по необходимости. Например, модули спутниковой и инерциальной навигации, OSD, bluetooth, Wi-Fi, датчики тока, напряжения и другие.

Рассмотрим некоторые из элементов периферии, входящие в состав полетных контроллеров или подключаемых к ним optional:

– датчики полетного контроллера, применяемые для ориентирования и позиционирования БПЛА в полете:

акселерометр – измеряет линейные ускорения по трем осям (x, y, z).

гироскоп – измеряет угловые скорости вращения БПЛА по трем осям (x, y, z), углы Эйлера, кватернионы, необходимые для определения его пространственного положения.

– датчики, которые входят в состав продвинутых версий полетного контроллера:

Магнитометр (компас) – измеряет направление угла рыскания (курса) относительно севера.

Барометр – измеряет барометрическую высоту полета БПЛА. Используется на больших (свыше 50 м) высотах.

– средства, которые опционально подключаются к полетному контроллеру для обеспечения дополнительных функций (в FPV-дронах обычно не используются):

Высотомер – измеряет высоту относительно поверхности. Предназначен для «мягкой посадки» БПЛА. Используют при небольших (до 50 м) высотах.

Бывают высотомеры следующих типов:

- сонары (звуковые волны);
- радиовысотомер (радиоволны);
- лазерный дальномер, LiDAR (оптика).

Спутниковая навигационная система (СНС) (Global Positioning System – GPS) – спутниковый навигационный приемник, позволяющий определять координаты БПЛА в любой точке земного шара и в автоматическом или полуавтоматическом режиме осуществлять полет по заданным маршрутам, а также возвращаться в точку посадки. Спутниковый приемник включает в себя антенны и вычислитель. Основные применяемые СНС: ГЛОНАСС, GPS, BeiDou, Galileo, QZSS. Преимущества СНС: всепогодность, глобальность, оперативность, точность и эффективность. Недостатки СНС: необходимость прямой радиовидимости с не менее чем четырьмя спутниками; возможность подавления системами РЭБ; подмена сигнала спутников ложным сигналом (GPS – спуфинг).

Инерциальная навигационная система (ИНС) (Inertial Measuring Unit – IMU) – навигационное устройство, использующее акселерометры, гироскопы и вычислитель для непрерывного определения с помощью точного расчета положения ориентации и скорости БПЛА. Преимущества ИНС заключаются в полной автономности (независимости от внешних источников сигнала) и независимости от внешних факторов (помех и подавления). Главным недостатком ИНС является накопление ошибок, если нет корректировки от неинерциальных систем.

OSD (On Screen Display) – система отображения дополнительной информации о полете на экране, которая накладывает на видеопоток дополнительную информацию с различных датчиков квадрокоптера (рисунок 1.26), например, напряжение аккумулятора, высота, скорость и так далее. Система OSD может быть выполнена в виде отдельного устройства или встроена в полетный контроллер.

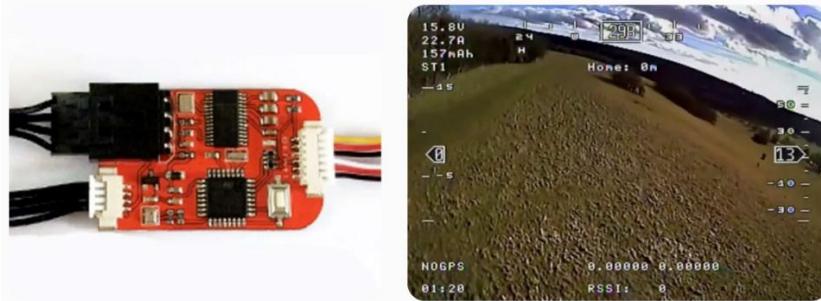


Рисунок 1.26 – Внешний вид платы OSD и отображение телеметрии на видео

Система регистрации полетных данных нужна для записи параметров полета квадрокоптера (логов работы) из полетного контроллера в специальный файл. Есть два места, куда можно вести запись логов, это флеш-память полетного контроллера и SD-карта (флешка).

На рисунке 1.27 представлен пример подключения различного периферийного оборудования к полетному контроллеру.

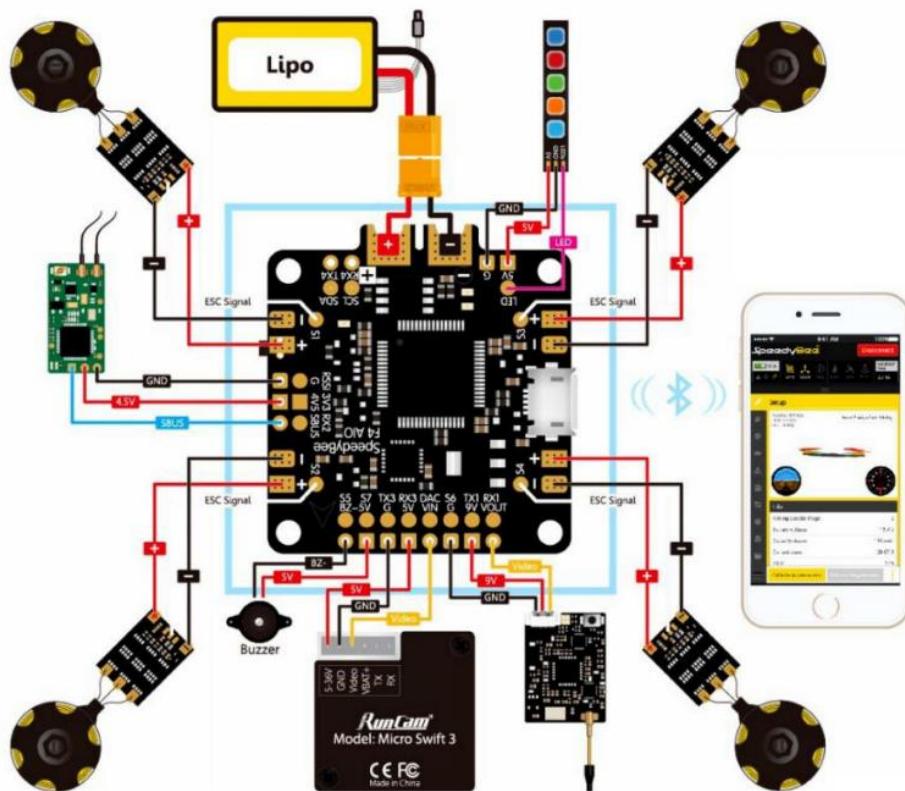


Рисунок 1.27 – Пример подключения периферийных устройств к полетному контроллеру

Система электропитания FPV-дрона состоит из аккумуляторной батареи, платы распределения питания и соединительных проводов.

Плата распределения питания (*PDB от англ. Power Distribution Board*). Основная задача PDB – это передавать ток от аккумулятора к регуляторам оборотов электродвигателей (ESC), а также питать полетный контроллер и некоторые периферийные устройства. Как правило, PDB – это небольшая плата

размером с полетный контроллер, на которой имеются минимум 5 пар контактных площадок (плюс и минус) (рисунок 1.28). На одну площадку припаивается разъем для подключения аккумулятора (часто эти контакты выведены в сторону), на остальные 4 (если собирается квадрокоптер) припаиваются контакты регуляторов оборотов (ESC), то есть эта плата распределяет ток от аккумулятора по всей системе квадрокоптера [6].

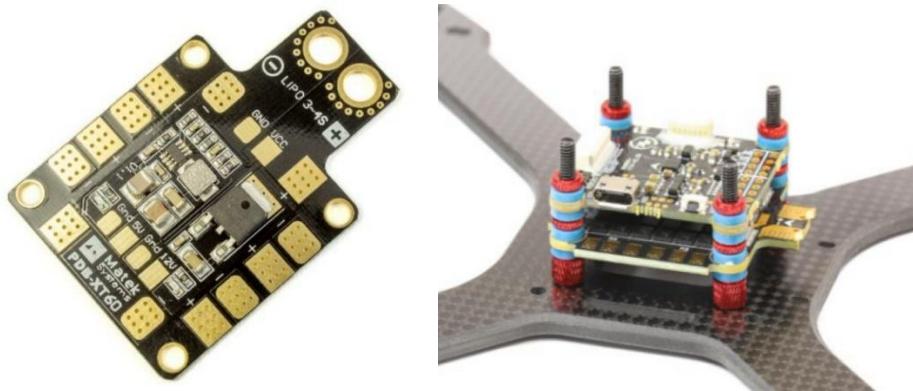


Рисунок 1.28 – Плата распределения питания отдельно и в сборке с полетным контроллером

Большинство PDB содержат регуляторы напряжения для подключения периферии. Как правило, периферия, в том числе и полетный контроллер, работает от питающего напряжения 5V, аккумулятор квадрокоптера вырабатывает напряжение питания 12 – 16V.

Основная задача PDB – это передавать ток от аккумулятора регуляторам оборотов (ESC) и питать полетный контроллер.

Аккумуляторная батарея (АКБ) – устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования.

Современные FPV-дроны используют два вида АКБ:

- Li-Ion (литий-ионные);
- Li-Po (литий-полимерные).

Литий-ионный аккумулятор (Li-Ion) – тип электрического аккумулятора, который широко распространен в современной бытовой электронной технике и находит в ней применение в качестве источника энергии в электромобилях, накопителях энергии в энергетических системах.

Преимущества Li-Ion АКБ:

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

Недостатки Li-Ion АКБ:

- при перезаряде, несоблюдении условий заряда или при механическом повреждении часто бывают чрезвычайно опасными;
- потеря емкости на холода.

Одним из основных технологических достижений, обусловивших взлет популярности гражданских БпЛА, стали литий-полимерные (Li-Po – lithium-ion polymer battery) батареи. Весьма сходные по устройству с батареями для смартфонов, литий-полимерные батареи имеют намного большее соотношение «емкость/вес» по сравнению с никель-кадмиевыми (NiCD) и никель-металлгидридными (NiMH) батареями. Такое избавление от лишнего веса позволило их использовать на БпЛА.

Литий-полимерный аккумулятор (Li-Po) (рисунок 1.29) – это усовершенствованная конструкция литий-ионного аккумулятора. В качестве электролита используется полимерный материал.



Рисунок 1.29 – Li-Po аккумуляторная батарея с маркировочными данными

Преимущества Li-Po АКБ:

- большая плотность энергии на единицу массы;
- низкий саморазряд;
- возможность получать очень гибкие формы;
- незначительный перепад напряжения по мере разряда;
- широкий диапазон рабочих температур от -20 до +40 °C.

Недостатки Li-Po АКБ:

- пожароопасные 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 2А до потери емкости в 20 %.

Основными характеристиками аккумуляторов являются:

- напряжение;
- емкость;
- токоотдача;
- количество и способ соединения элементов в аккумуляторе.

Напряжение – все литий-полимерные батареи для достижения необходимого напряжения формируются из последовательно соединенных одиночных ячеек, конструктивно объединенных в блоки. Номинальное напряжение каждой ячейки 3,7 В (4,2 В при полном заряде). Это означает, что в нашем примере номинальное напряжение составит $3 \times 3,7 = 11,1$ В и может достигнуть $3 \times 4,2 = 12,6$ В при полном заряде.

Емкость – это вместимость аккумулятора, измеряется в ампер-часах или миллиампер-часах.

Пример: Батарея емкостью 1000 мАч говорит о том, что она будет отдавать в нагрузку ток, равный 1000 мА или 1 А в течение часа. Время разряда напрямую зависит от силы тока в цепи, если к такой батарее подключить лампочку, которая потребляет 100 мА или 0,1 А, то она будет светить 10 часов и, наоборот, – если подключить мотор, который потребляет 6 А, то этого аккумулятора хватит всего на 10 минут работы такого мотора.

Зная емкость, можно вычислить время работы, разделив емкость на ток нагрузки, из примера выше. Например, если имеется батарея 1 Ач и нагрузка 1 А – 1 Ач, делим на 1 А = 1 час, $T=C/I$, T – время разряда, C – емкость аккумулятора, I – ток нагрузки. Пример с лампочкой 1 Ач делим на 0,1 А=10 ч и с мотором 1 Ач делим на 6 А =0,16 ч – 10 минут. Стоит обратить внимание на то, что не любой аккумулятор способен разряжаться с такой скоростью, как с мотором из примера (6 А), некоторые батареи при таком быстром разряде выйдут из строя. Для того чтобы такого не случилось на аккумуляторах, пишут еще один параметр [1].

Токоотдача – это допустимая скорость разряда данного аккумулятора, на батареях или одиночных элементах. Она обозначается «число и буква С», это указывает на то, что данная батарея может отдать всю накопленную энергию за время, которое определяется, как один час разделить на число перед «С», то есть, возьмем батарею 1Ач, ее токоотдача равна 10С, это значит, что она может отдать всю энергию за 1ч, делим на 10С = 0,1ч, то есть 6 минут, получается, что мотор из примера выше не повредит ее, разрядив за 10 минут, так как это по времени на 4 минуты дольше, чем максимальная скорость разряда в 6 минут, до ее полного разряда. Так высчитывается время, за которое можно разрядить батарею без вреда для нее. Рассчитать максимальный ток, который она выдает, можно умножив ее емкость 1 Ач на число, указанное как токоотдача «С» $1 \text{ Ач} \times 10\text{С} = 10 \text{ А}$.

Пример: Беспилотный самолет потребляет на максимальных оборотах 10 А, а аккумулятор имеет емкость в 2 Ач, это значит, что самолет разрядит эту батарею за $2/10=0,2$ ч – 12 минут, а теперь рассчитаем какое для этого потребуется значение токоотдачи «С». Токоотдачу можно вычислить так: 1 час разделить на время, полученное выше. Для удобства час разобьем на минуты, и так $60/12 = 5$ – получается, что для 12-минутного полета ему понадобится аккумулятор емкостью 2 Ач и токоотдачей 5С.

Стоит обратить внимание на тот факт, что токоотдача никак не влияет на время полета. Можно взять батарею с той же емкостью и токоотдачей 100С, время полета останется 12 минут и никак иначе, потому как на время работы модели влияет только емкость батареи. Часто новички выбирают батарею с

гигантским «С» и практически не смотрят на емкость. Например, если мы возьмем модель из описания выше и установим туда аккумулятор 500 мАч и токоотдачей 60 С (мы уже знаем, что она на 2 Ач аккумуляторе летит 12 минут), то высчитаем время полета – 0,5 Ач, делим на ток нагрузки 10 А = 0,05 ч – 3 минуты, и это при том, что батарея 60С. А сколько же «С» нам потребуется для трехминутного полета на такой батарее? $60/3=20$ С, так зачем же тогда переплачивать за лишние 40 С, если время полета не изменилось хоть 20 С, хоть 60 С все равно 3 минуты [1].

Количество и способ соединения элементов в Li-Po аккумуляторе. Элементы аккумулятора называются ячейками или банками. Номинальное напряжение одной банки Li-Po аккумулятора равно 3,7 В. Для получения более высокого напряжения их соединяют последовательно (рисунок 1.30), а для увеличения емкости – параллельно. Порядок подключения банок в батарее определяют символы S – последовательное подключение; P – параллельное подключение [6].

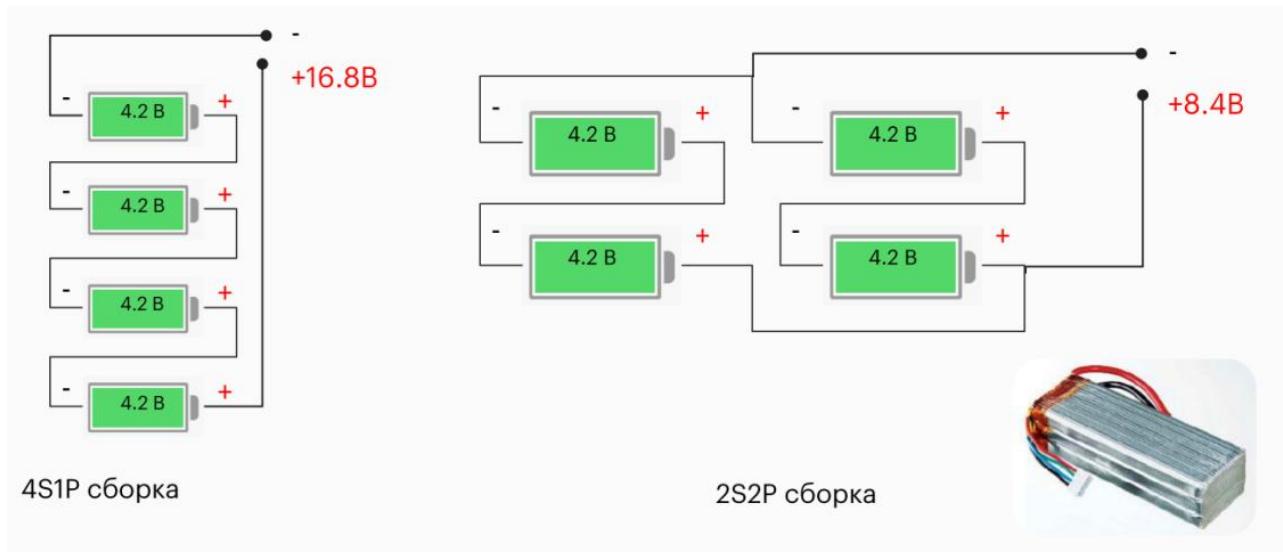


Рисунок 1.30 – Схема сборки ячеек Li-Po аккумуляторной батареи

Основные параметры аккумулятора обычно указаны в маркировке, которая наносится на его корпус. В качестве примера рассмотрим аккумулятор Infinity 1500mAh 4SP1 (рисунок 1.31):

- Infinity – торговое название аккумулятора;
- 1500mAh – это емкость аккумулятора, которая измеряется в миллиампер-час, чем выше емкость, тем дольше будет летать квадрокоптер, но также увеличивается и вес аккумулятора;
- 4S – количество последовательно соединенных элементов в аккумуляторе, в представленном случае таких элементов 4. Каждый элемент имеет напряжение примерно ,7В, а в сумме все 4 ячейки выдают напряжение 14.8В.



Рисунок 1.31 – Li-Po аккумулятор Infinity 1500mAh 4SP1

– 1Р – количество параллельно подключенных блоков в сборке, в представленном случае 1 блок;

– 70С – токоотдача.

Подбор аккумулятора. Выбор параметров аккумулятора зависит от массы коптера, установленной полезной нагрузки, дополнительного оборудования, а также необходимой скорости, дальности и продолжительности полета.

Эксплуатация Li-Po и Li-ion АКБ имеет свои особенности:

- ограниченное количество циклов заряда-разряда;
- чувствительность к перезаряду и глубокому разряду;
- чувствительность к высокой температуре (рабочий режим от -20 до 50°C);
- чувствительность к вибрационным и ударным нагрузкам;
- снижение ресурса аккумулятора при больших токах разряда.

Правильная эксплуатация Li-Po и Li-ion АКБ, с учетом их особенностей, обеспечит длительный срок службы. Наиболее важными этапами эксплуатации АКБ, существенно влияющими на срок службы, являются правильная зарядка и хранение аккумуляторов.

Порядок зарядки Li-Po аккумуляторов. Для заряда Li-Po аккумуляторов, состоящих из нескольких ячеек, необходимо применять специальные зарядные устройства (рисунок 1.32), обеспечивающие равномерный заряд ячеек.



Рисунок 1.32 – Устройство для заряжания аккумуляторной батареи

Особенность этого зарядного устройства в том, что оно умеет делать балансировку ячеек аккумулятора – аккумулятор подключается к нему не только силовым разъемом, но и дополнительным балансировочным разъемом, на который выведены все ячейки по отдельности.

При подключении балансировочного разъема к зарядному устройству на дисплее должно отразиться то количество банок, из числа которых состоит аккумулятор (рисунок 1.33).

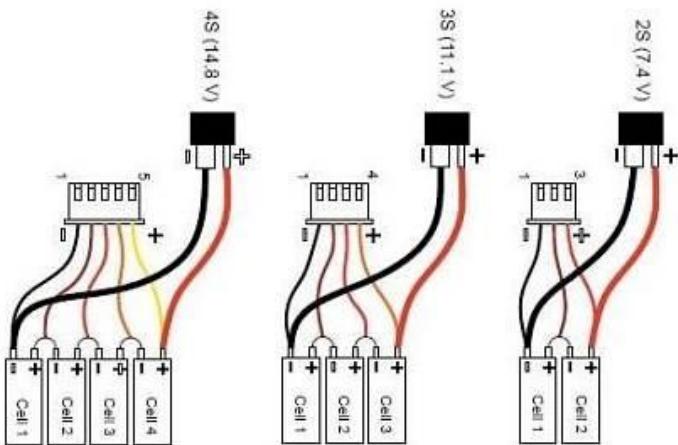


Рисунок 1.33 – Схема подключения ячеек аккумуляторной батареи к балансировочному разъему

Балансировочный разъем нужен для того, чтобы убедиться, что все банки аккумулятора заряжены одинаково. Это дает возможность заряжать АКБ, равномерно распределяя нагрузку на банки аккумулятора в процессе эксплуатации. Зарядное устройство умеет измерять внутреннее сопротивление и проводить цикл измерения емкости. В последнем случае он полностью разряжает и заряжает батарею и выдает информацию о том, какой реальной емкостью она обладает.

Заряжать АКБ рекомендуется токами, значение которых не превышает 1С, например, если аккумулятор имеет емкость 1500 mAh, значит можно заряжать его током 1,5 А. При необходимости выполнить зарядку АКБ как можно быстрее, необходимо использовать максимально допустимый ток заряда, указанный на батарее. Однако лучше не заряжать токами больше 3С, для 1500 mAh это 4,5А.

Для того чтобы уберечься от пожара, необходимо использовать специальные огнеупорные пакеты. Li-Po аккумулятор подключается к зарядному устройству и помещается в этот пакет на весь период заряда.

Нельзя заряжать аккумуляторы вблизи каких-либо легко воспламеняющихся материалов. Желательно использовать огнеупорные пакеты для безопасного заряда аккумуляторов.

Для тушения аккумуляторов необходимо использовать порошковый или углекислотный огнетушитель, другими тушить аккумуляторы типа Li-Po нельзя!

Хранение Li-Po аккумуляторов – это важный момент, на который следует обратить пристальное внимание. Если просто зарядить Li-Po аккумулятор до конца и не использовать его – он стремительно начнет терять емкость и вскоре придет в негодность. Если разрядить Li-Po аккумулятор и не использовать – он также потеряет емкость и придет в негодность в течение 1-2 месяцев. Необходимо использовать специальный режим STORAGE, то есть, хранение, который имеется на зарядном устройстве. В этом режиме каждая секция заряжается или разряжается до 3,85V. При таком напряжении в аккумуляторе химические процессы протекают не так интенсивно, вследствие чего аккумулятор прослужит намного дольше [7].

После того как аккумулятор переводится в режим хранения, необходимо положить его в холодное место и хранить при низкой температуре для замедления химических процессов.

Для выполнения целевых задач на FPV-дроны устанавливаются *курсовые FPV-камеры*. Камера может быть видимого диапазона, тепловизионная и ночного видения. Курсовые камеры под конкретный FPV-дрон подбирают по габаритам его рамы. Можно установить камеры на рамы меньшего размера, но для этого необходимо использовать специальные держатели. Варианты крепления FPV-камер на рамках дронов представлены на рисунке 1.34.



Рисунок 1.34 – Варианты крепления FPV-камеры

Размеры FPV-камеры делятся на следующие типы: полноразмерные или стандартные (28 мм); мини (21 мм); камеры DJI O3 Air Unit (20 мм); микро (19 мм); нано (14 мм).

FPV-камеры обладают следующими характеристиками:

- тип матрицы CMOS и CCD и ее разрешающая способность;
- соотношение сторон 4:3 или 16:9;
- разрешение TVL;
- формат системы кодирования сигнала PAL или NTSC;
- размер объектива и линзы;
- светочувствительность (ISO);
- наличие ИК-фильтра;
- форм-фактор (без корпуса, пластиковый или металлический корпус);
- вес камеры.

Внешний вид матриц CMOS и CCD представлен на рисунке 1.35.

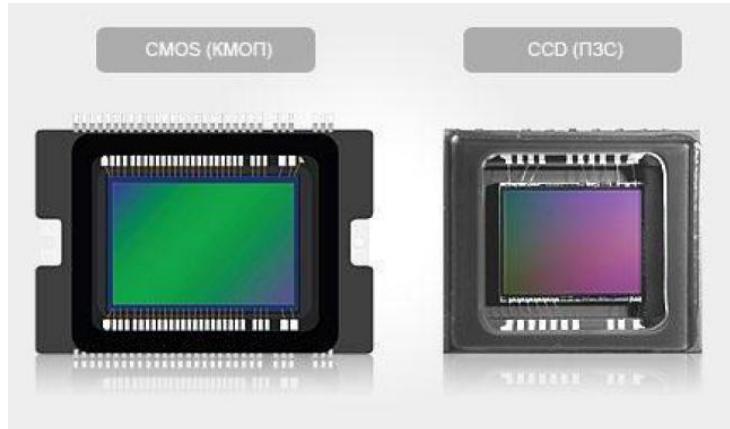


Рисунок 1.35 – Матрицы CMOS и CCD

Матрицы CMOS используются для цифровых сигналов, CCD для аналоговых.

Преимущества CCD камер:

– высокая производительность при большом изменении освещенности ввиду широкого динамического диапазона (WDR). Например, если в солнечный день полететь прямо в сторону Солнца, то матрица CCD очень быстро под это адаптируется и затемнит изображение. То же самое работает и в обратную сторону в условиях низкой освещенности. Камеры с матрицей CMOS так быстро работать не могут.

– у CCD очень маленькая задержка. Камеры с этой матрицы гораздо быстрее отправляют видеопередатчику сигнал, чем камеры с матрицей CMOS. Однако новые современные CMOS-камеры все же начинают догонять по скорости CCD, но последние все еще впереди.

– у CCD нет построения по линиям. Большинство CMOS собирают картинку по строкам, чтобы получилось изображение. От сильной вибрации на БПЛА эти полосы могут «поехать» и картинка станет волнообразной. Этот эффект еще называют «желе» или Jello Effect. У CCD картинка выводится сразу целиком и полностью, а не рисуется построчно.

Преимущества CMOS камер:

- более высокое разрешение;
- лучшая цветопередача;
- более высокая частота кадров;
- меньшее энергопотребление.

В процессе полета FPV-дрона преимущества CMOS камер (за исключением энергопотребления) менее важны, чем достоинства CCD камер, поэтому в текущий момент времени наиболее часто в качестве камер FPV-дронов применяют камеры с CCD матрицей.

Большинство камер умеет отображать видео с соотношением сторон 4:3 и 16:9. Однако большинство операторов БПЛА летает при соотношении сторон 4:3, так как для получения соотношения 16:9 некоторые камеры просто обрезают верхнюю и нижнюю кромки видео 4:3.

Разрешение TVL характеризует количество горизонтальных линий, которые помещаются в кадр. Чем больше TVL, тем качественней картинка.

Известны два основных формата кодирования цветов для аналоговых камер:

- PAL;
- NTSC.

PAL выдает 25 кадров в секунду и разрешение 720×576 , а NTSC 30 кадров в секунду и разрешение 720×480 пикселей. Следует помнить, что формат PAL поддерживает более высокое разрешение, а NTSC поддерживает более высокую частоту кадров.

Размер объектива и линзы

Для стандартных мини- и микроквадрокоптеров всегда используются FPV камеры с линзой 1/3 дюйма. Эти линзы универсальные и могут подойти к любой подобной камере, что делает ее ремонтопригодной.

От формы линзы зависит угол обзора – пространство, которое можно увидеть с помощью камеры. Некоторые производители стараются делать свои линзы с большим углом обзора или же наоборот, с меньшим углом обзора. Широкоугольные (с большим углом обзора) линзы не всегда хороши. Дело в том, что в таких линзах ухудшается восприятие глубины пространства, можно не понять, насколько близко объект, что для FPV-дронов очень важно [1].

В некоторых камерах есть *ИК-фильтр*, он может быть как заблокированным, так и разблокированным, в описании это указывается следующим образом:

- IR blocked;
- IR unblocked.

Линза без блокирующего ИК-фильтра (IR unblocked) передает картинку с тусклыми цветами и предназначена для полетов ночью и в сумерки.

Линза с нанесенным ИК-фильтром (IR blocked) передает цвета естественно и не предназначена для полетов ночью. С такой линзой картинка при солнечном свете будет очень яркой и насыщенной, но ночью ничего видно не будет.

Некоторые FPV-дроны для полетов в ночное время оснащаются тепловизорами – специальными приборами, регистрирующими инфракрасное (ИК) излучение, которое испускают нагретые объекты. В тепловизоре чувствительный элемент изменяет сопротивление при попадании на него ИК излучения. Тепловизионная камера имеет особый объектив сделанный, как правило, из германевой линзы, которая пропускает инфракрасное излучение.

Тепловизоры намного дороже камер, работающих в видимом диапазоне, поэтому на FPV-дронах их применяют лишь в исключительных ситуациях.

Дополнительное оборудование для применения FPV-дронов

Зуммер (Buzzer, сигнализатор) для квадрокоптера – важный элемент конструкции квадрокоптеров. Зуммер сигнализирует о различных событиях, происходящих в программной части БПЛА, начиная от ошибок и заканчивая сигналом разряда аккумулятора. Благодаря громкому писку зуммера намного проще найти квадрокоптер.

Мягкие монтажные втулки – гасят вибрации и ударные нагрузки.

Кейсы или рюкзаки – для удобства переноса комплектующих дронов необходимо использовать специальные кейсы, которые имеют отсеки или карманы под оборудование, входящее в комплекс с БпЛА.

Огнеупорные пакеты – для предотвращения распространения огня в случае возгорания Li-Po аккумуляторных батарей.

Powerbank и зарядные станции – для зарядки АКБ. Зарядную станцию можно подключить как к штатной электросети, так и к генератору. Powerbank необходимо использовать в качестве резервного источника питания.

Стартовая (посадочная) площадка или подставка используется для того, чтобы нижняя часть БпЛА не царапалась от частого соприкосновения с земной поверхностью, а также для придания дрону угла наклона, соответствующего углу крепления FPV-камеры.

Выносные ретрансляторы и усилители сигнала – применяются для увеличения дальности полета и обеспечения максимальной зоны покрытия сигнала [11].

Системы сброса и доставки грузов – для подвеса полезной нагрузки на БпЛА. Могут применяться системы сброса, которые крепятся к фюзеляжу. Как правило, их изготавливают на 3D-принтере под каждый тип БпЛА. Система сброса имеет сдвижной механизм для отцепления груза, который управляетя сервоприводом по сигналу с датчика.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются БпЛА в зависимости от конструкции?
2. К какому типу летательных аппаратов относятся мультироторные БпЛА?
3. Объясните принцип действия несущего винта.
4. Перечислите силы, действующие на квадрокоптер в полете.
5. Какое оборудование входит в комплект FPV-дрона?
6. Перечислите основные элементы конструкции FPV-дрона.
7. Назовите основные характеристики рамы FPV-дрона.
8. Назовите назначение и типы электродвигателей, применяемых в FPV-дronах и их особенности?
9. Опишите принцип работы бесколлекторных электродвигателей.
10. Назовите назначение и типы винтов, применяемых в FPV-дronах.
11. Электронные регуляторы оборотов: назначение, состав и принцип работы.
12. Полетный контроллер: назначение, состав и основные функции.
13. Перечислите виды периферийного оборудования, применяемого в FPV-дronах.
14. Система электропитания: назначение и состав.
15. Какие марковочные данные наносятся на Li-Po аккумуляторной батарее?

2 АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛА

Наиболее важной составляющей FPV-системы является аппаратура управления и передачи данных. Основными передаваемыми данными являются телеметрия и видеопоток с FPV-камеры. Принцип работы аппаратуры основан на использовании радиосигналов для передачи сигналов управления от оператора к дрону и данных от дрона на пульт оператора и FPV-очки.

2.1 Основы распространения радиоволн

Радиосигнал – это сигнал, передаваемый с использованием радиоволны. В свою очередь радиоволна – это взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей, которые способны распространяться в пространстве со скоростью света. Радиосигналы обладают такими свойствами как отражение, затухание, преломление.

Основным параметром радиоволны является ее *длина*, которая через скорость света связана с частотой. Частота измеряется в Герцах (Гц).

Дальность распространения радиоволн зависит от *частоты* радиоволны и мощности передатчика. В аппаратуре управления и передачи данных БпЛА используются сигналы сверхвысокой частоты (ультракороткие волны).

Длина волны ультракоротких волн (УКВ) составляет от 1 см до 10 м, к ним относятся метровые (МВ), дециметровые (ДМВ), сантиметровые (СМВ). Особенностью распространения УКВ является необходимость нахождения приемника и передатчика в зоне прямой видимости.

2.2 Диапазоны частот FPV-дронов

Анализ опыта применения FPV-дронов вооруженными силами Украины (ВСУ) показал, что для передачи видеинформации в основном использовались частоты, расположенные в диапазонах 900 МГц, 2,4 ГГц и 5,8 ГГц. При этом для передачи сигналов управления и телеметрии использовались общедоступные диапазоны частот, которые были расположены вблизи 433 МГц и 2,4 ГГц. Результаты анализа представлены на рисунках 2.1, 2.2.

Представленные выше диапазоны частот имеют свои особенности:

2,4 ГГц – это наиболее распространенный диапазон частот для управления и передачи данных. Он позволяет беспрепятственно управлять дроном на расстоянии до нескольких километров. Однако из-за широкой популярности и использования других устройств, работающих на этой же частоте, возникает риск интерференции и потери сигнала. Диапазон 2.4 ГГц является стандартным для большинства коммерческих дронов. Он обладает большим радиусом действия и меньшим количеством помех. Дроны в этом диапазоне частот могут использоваться для решения большинства разведывательно-ударных задач.

5,8 ГГц – диапазон используется в основном для передачи видео и данных с дрона на землю, так как обладает более высокой пропускной способностью и

малыми задержками, что позволяет передавать видеосигнал высокого качества. С увеличением расстояния затухание сигналов в данном диапазоне частот происходит быстрее чем в других рассматриваемых диапазонах.

433 МГц и *900 МГц* – низкочастотные диапазоны используются в системах передачи сигналов управления и телеметрии. Из-за своих интерференционных свойств они более эффективны в городской застройке, лесной местности и т.д. Однако следует помнить, что использование *900 МГц* требует соответствующего разрешения и регистрации в сети аэронавигации.

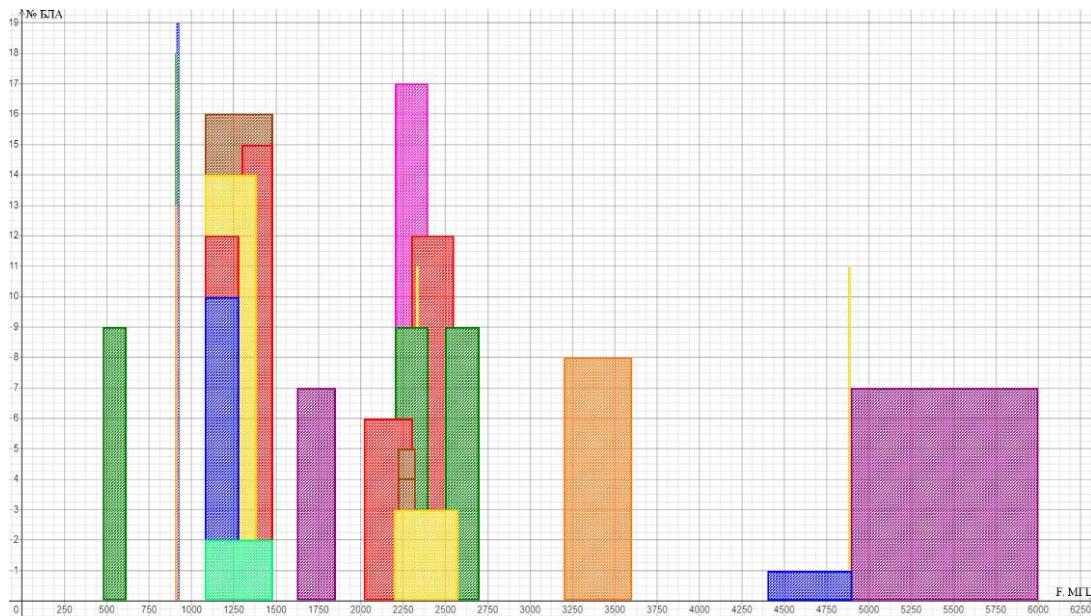


Рисунок 2.1 – Диапазоны частот видеоканалов БпЛА ВСУ



Рисунок 2.2 – Диапазоны частот каналов управления и телеметрии БпЛА ВСУ

Выбор диапазона частот зависит от конкретной задачи и условий использования дрона. При выборе нужно учитывать требования местного законодательства, радиошум и особенности окружающей среды.

В зависимости от конкретного типа дрона и его назначения, диапазон частот может варьироваться. Однако управление и передача данных в этих диапазонах позволяет дронам функционировать надежно и эффективно в различных условиях [1].

В целом, разные диапазоны частот позволяют дронам работать в различных условиях и выполнять разные задачи. Разработчики и операторы должны выбирать подходящий диапазон, исходя из требований и особенностей задачи, чтобы обеспечить безопасную и стабильную работу дрона.

2.3 Аппаратура управления БпЛА

Пульт управления (радиопередатчик, трансмиттер, RTX) (от англ. radio transmitter) – это устройство управления полетом FPV-дрона. Часто его называют аппаратурой радиоуправления, пультом дистанционного управления и т.д (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Пульт управления, приемники и полетный контроллер

Следует помнить, что выбор пульта управления (ПУ) определяет тип приемника (RX), который вы можете использовать. Если приобретается пульт

одного бренда, то в этом случае необходимо приобретать приемник этого же производителя. Радиопередатчики и приемники разных производителей совместно работать не будут. В последнее время набирают популярность пульты с многопротокольным модулем. Такая аппаратура управления может подключаться к огромному количеству различных приемников разных брендов, оператору необходимо лишь в настройках пульта выбрать название бренда и тип приемника.

Основными характеристиками пульта управления являются:

- форм-фактор (полноразмерные и «геймпад»);
- количество переключателей, а также режимы их работы;
- рабочая частота радиопередатчика;
- протоколы связи;
- наличие отсека для внешнего модуля;
- мощность передатчика;
- дальность действия;
- количество каналов;
- программная прошивка;
- поддержка телеметрии;
- поддержка FPV-симуляторов;
- наличие тренерского порта (Trainer Port).

Пульты управления в стиле «геймпад» более компактны, но ограничены в функциях. Они имеют экран небольшого размера, меньшее количество переключателей и более мелкие стики управления.

Полноразмерные пульты управления имеют эргономику, подходящую более широкому кругу пользователей, стики стандартного размера обеспечивают более высокие разрешение и точность.

При выборе пульта управления кроме габаритов, важно учитывать дизайн и такие факторы, как удобство захвата, наличие петли для шнура, расположение и типы переключателей. Немаловажным фактором является вес пульта управления. Работа с тяжелым устройством может быстро вызвать усталость.

Основными элементами пульта управления являются два стика (англ. *gimbals*), используемые оператором для управления движением БпЛА по четырем каналам (осям):

Газ/дроссель (Throttle) – управление тягой электродвигателей, используется для перемещения летательного аппарата вверх или вниз.

Тангаж (Pitch) – управление вращением БпЛА вдоль поперечной оси, используется для перемещения летательного аппарата вперед или назад.

Крен (Roll) – управление вращением БпЛА вдоль продольной оси, используется для перемещения летательного аппарата влево или вправо.

Рыскание (Yaw) – управление вращением БпЛА вокруг вертикальной оси, используется для поворота летательного аппарата влево или вправо.

Существуют четыре разных режима работы стиков пульта управления: Mode 1, Mode 2, Mode 3 и Mode 4. Выбор пульта с соответствующим режимом

зависит от личных предпочтений оператора, но лучше всего выбирать наиболее часто используемый пилотами дронов режим Mode 2 (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Режим работы пульта управления MODE 2

В режиме Mode 2 команды Throttle и Yaw подаются с левого стика, а Pitch и Roll – с правого стика [13].

Существует два основных типа стиков, используемых в современных пультах управления: на базе потенциометров и с датчиками Холла. Механизмы на основе потенциометров имеют более низкую стоимость, но они быстрее изнашиваются, а блоки управления с датчиком Холла имеют более высокую точность и более долговечны.

Переключатели пультов управления служат для активации дополнительных функций (запуск, режимы полета, звуковой сигнал и др.). Эти переключатели могут быть двухпозиционными или трехпозиционными, а также иметь ползунки и поворотные ручки.

При выборе пульта управления следует учитывать число каналов – это количество функций летательного аппарата, которыми можно управлять. Производители радиооборудования, как правило, указывают в характеристиках информацию о том, сколько каналов поддерживают их устройства. Это связано с максимальным количеством элементов управления и доступных переключателей, поскольку каждый из них требует выделенного канала для передачи данных на приемник дрона [9].

Два стика на пульте управления используют четыре канала, потому что отвечают за четыре команды: Throttle, Yaw, Pitch и Roll. Дополнительные каналы (они называются AUX-каналы) привязаны к переключателям, отвечающим за запуск дрона и другие функции. Поэтому для полета FPV-дрона необходимо, как минимум, 5 каналов.

Многие популярные протоколы радиосвязи, например, Crossfire и ExpressLRS, поддерживают до 12 каналов, а большинство передатчиков имеют

в наличии от четырех до восьми переключателей, и этого более чем достаточно для пилотирования.

Частота радиопередатчика является важным параметром, который следует учитывать при выборе пульта управления для FPV-дрона.

Наличие отсека для внешнего модуля на пульте управления может оказаться полезным в том случае, если в будущем планируется переход на более совершенную радиосистему. Нет необходимости приобретать новое устройство, достаточно ограничиться приобретением внешнего модуля с новыми функциями [10].

Чаще всего для управления полетом FPV-дрона используются частоты передатчика 2.4 ГГц и 900 МГц.

На данный момент 2.4 ГГц является стандартом для радиоуправления. В большинстве стран эта частота разрешена законом для любительского использования. Для нее требуется меньший размер антенн, поэтому она весьма популярна среди пилотов.

Частота 900 МГц используется для полетов на большие дальности, поскольку сигналы управления подвержены меньшему негативному влиянию условий распространения радиоволн. Для передачи сигнала требуются антенны более крупного размера. Однако многие владельцы FPV-дронов предпочитают именно более низкую частоту [5].

Стоит отметить, что точное значение рабочей частоты для 900-мегагерцевого диапазона различается в зависимости от региона. В большинстве стран мира это 915 МГц, в Евросоюзе – 868 МГц.

Иногда в радиоуправлении используются другие, менее распространенные частоты: 27 МГц, 72 МГц, 433 МГц и 1.2 ГГц. Для FPV-дронов лучше подходят именно 2,4 ГГц или 900 МГц.

Все производители передатчиков используют алгоритмы с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Приемо-передающее устройство, управляемое программным обеспечением, постоянно сканирует эфир с целью поиска частоты, наименее подверженной влиянию помех, автоматически осуществляет переход на найденные свободные каналы. Данный процесс осуществляется с частотой, при которой оператор визуально не видит пауз или сбоев управления. Кроме того, достоинство алгоритмов заключается в том, что на их основе можно осуществить совместимость полетов различных операторов и летательных аппаратов.

Важным параметром при выборе пульта управления является протокол связи, используемый в передатчике. В настоящее время аппаратура управления FPV-дронами поддерживает следующие популярные протоколы:

- TBS Crossfire (868 МГц / 915 МГц);
- ExpressLRS / ELRS (2.4 ГГц и 868 МГц / 915 МГц);
- TBS Tracer (2.4 ГГц);
- Immersion Ghost (2.4 ГГц);
- Frsky ACCST V1 / V2 (2.4 ГГц);
- Frsky ACCESS (2.4 ГГц);
- Flysky;

– Spektrum.

Протокол ExpressLRS отличается доступностью и многофункциональностью. Кроме того, он построен на открытом исходном коде. В свою очередь, протокол TBS Crossfire предлагает высокую надежность и удобный пользовательский интерфейс.

Некоторые модели имеют встроенный протокол радиосвязи, другие устройства оснащены отсеками для установки дополнительных радиочастотных модулей (рисунок 2.5). Наличие такого отсека является несомненным преимуществом, поскольку делает систему более гибкой, если требуется перейти на другой протокол.



Рисунок 2.5 – Переключатели пульта управления и пульты с дополнительными радиочастотными модулями

Не все системы радиоуправления обеспечивают одинаковую дальность действия. Даже если два соединения имеют одинаковую частоту и выходную мощность, их максимальный радиус действия может существенно отличаться, поскольку тут играют роль такие факторы, как используемая технология и качество комплектующих.

Принято считать, что низкочастотные системы лучше работают на больших расстояниях. Между тем новые системы, такие как ExpressLRS 2.4 ГГц с модуляцией LoRa (Long Range), превосходно функционируют на больших расстояниях, хотя имеют более высокую частоту.

Следует отметить, что препятствия между передатчиком и приемником отрицательно сказываются на дальности действия и могут значительно уменьшить зону уверенной связи. Кроме того, на дальность приема также

влияют чувствительность приемника и тип антенн. Некоторые модели оборудованы двумя разнесенными антеннами, это снижает потери сигнала, возникающие из-за препятствий или помех. Расположение антенн имеет большое значение – к примеру, угол 90 градусов между антennами может значительно повысить качество приема.

Например, более старые радиосистемы Frsky 2.4 ГГц (ACCST V1 и V2) могут уверенно работать на расстоянии до 1,5 км. При этом новая система ExpressLRS 2.4 ГГц, использующая мощность всего 100 мВт, способна охватить радиус действия в десятки километров благодаря инновационным технологиям и высококачественным аппаратным средствам. При необходимости работать на больших расстояниях следует обратить внимание на TBS Crossfire.

Программное обеспечение (прошивка) служит интерфейсом, который позволяет взаимодействовать с пультом управления и контролировать полет дрона. Одна из рекомендованных прошивок – EdgeTX. Она имеет открытый исходный код и обширную пользовательскую базу. Значительная часть представленных на рынке радиопередатчиков поддерживает эту прошивку и поставляется с предустановленной EdgeTX. Это позволяет без труда перенести настройки на новое устройство при обновлении аппаратуры.

EdgeTX предлагает множество различных настроек и поддерживает различные типы летательных аппаратов. Для новичков освоение прошивки может быть нелегким, но знания, полученные при использовании EdgeTX, будут бесценны в долгосрочной перспективе.

OpenTX также является популярной прошивкой, но она отстает от EdgeTX в плане функций и производительности. Из других вариантов можно упомянуть FreedomTX, которая базируется на OpenTX и используется в TBS Tango 2 и Mambo. Есть также последние модели Frsky, работающие под управлением ETHOS.

Пульт управления с прошивкой EdgeTX или OpenTX предоставляет пользователю возможность подсоединиться к FPV-симулятору через USB-порт.

Телеметрия – это функция, которая позволяет получать в режиме реального времени важные данные о параметрах дрона, таких как мощность сигнала, напряжение батареи, потребление тока и многое другое.

Данная информация может быть исключительно ценной во время полета, поскольку помогает принимать взвешенные решения и избегать потенциальных проблем [8].

Большинство современных протоколов связи, в том числе ExpressLRS и TBS Crossfire, поддерживают телеметрию. Функция позволяет выводить данные прямо на экран устройства, а при достижении определенных пороговых значений пользователь оповещается звуковым сигналом.

Тренерский порт – это разъем на аппаратуре управления, позволяющий подключать одновременно два пульта для управления одним и тем же дроном. Это весьма полезный инструмент для тренировок. Например, когда опытный пилот доставляет аппарат в определенное местоположение на безопасную высоту, а затем передает управление новичку, который может

попрактиковаться в пилотировании без риска крушения. Передатчики с такими портами настоятельно рекомендуется использовать для практического обучения.

Приемник радиосигнала (радиоприемник, ресивер, RX) (от англ. *receiver*) (рисунок 2.6) располагается на БПЛА и отвечает за получение команд оператора от пульта управления и передачи данных на полетный контроллер (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 – Приемники радиосигнала

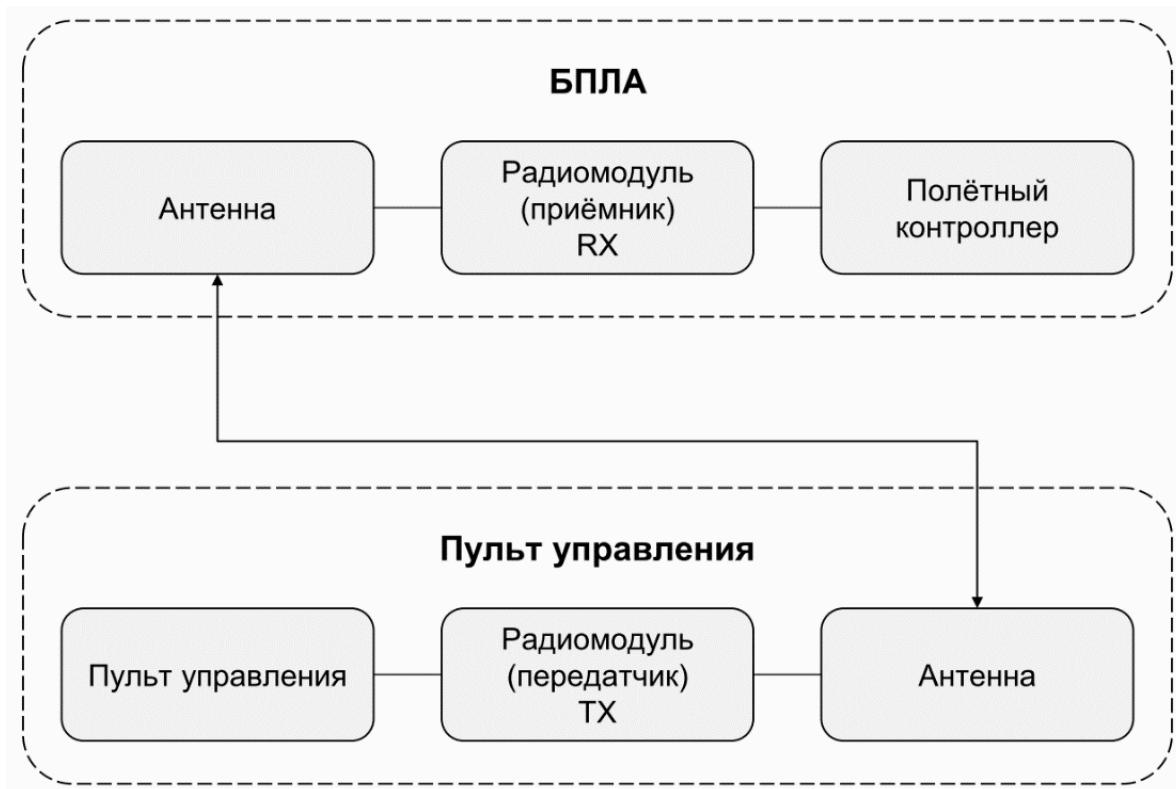


Рисунок 2.7 – Схема взаимодействия пульта управления и приемника радиосигнала в БПЛА

Основными параметрами приемника радиосигнала являются: частота, протокол кодирования сигнала и количество каналов передачи команд. Следует использовать лишь приемники, совместимые с радиочастотой пульта управления. Иными словами, они должны поддерживать тот же протокол связи на той же частоте, что и передатчик.

Протокол кодирования сигнала означает способ, которым команды, полученные с органов управления пульта, зашифрованы в поток данных, проходящих по радиоканалу. При разработке протоколов руководствуются помехоустойчивостью и плотностью потока информации.

Наиболее распространенные виды протоколов для передачи данных между пультом управления (TX-transmitter) и приемником (RX-receiver):

– протокол PMW (ШИМ) – это протокол, в котором используется широтно-импульсная модуляция, то есть аналоговый сигнал, где длительность импульса определяет действующее значение выходного напряжения, и, тем самым, отклонение сервопривода. В PMW приемниках используют один провод сервопривода для одного канала. Если выбирать девятиканальный передатчик или выше, то придется подключить 9 или более проводов. Такая сложная и тяжелая проводка приведет к повышению массы летательного аппарата;

– протокол РРМ – протокол, в котором используется импульсно-позиционная модуляция (PPM Pulse Position Modulation). В этом протоколе по одному проводу последовательно отправляется несколько сигналов. По одному проводу можно подключить до 8 каналов, что достаточно для большинства пользователей. До сих пор РРМ используют в большинстве мультикоптеров.

Обобщим представленные выше характеристики устройств приема-передачи.

Характеристики приемников:

- чувствительность;
- протокол взаимодействия с потребителем данных;
- совместимость с ПУ.

Характеристики передатчиков:

- выходная мощность;
- протокол взаимодействия с источником данных.

Общие:

- рабочий диапазон частот;
- скорость передачи данных;
- стандарт физического уровня (обмен по радиоэфиру);
- напряжение и потребление питания;
- масса;
- габаритные размеры;
- задержка (зависит от приемника и передатчика);
- рабочая температура, защита от влаги и прочее.

2.4 Система передачи и приема видеосигнала FPV-дронов

Система передачи и приема видеосигнала предназначена для передачи видеосигналов оператору от видеокамеры FPV-дрона и состоит из следующего оборудования:

- FPV очки с видеоприемником;
- видеопередатчик FPV-дрона.

FPV-очки (Smart очки) или **FPV-шлем** – устройство, на которое в режиме реального времени передается видеопоток с видеопередатчика, размещенного на БпЛА, и которое отображает полученную видеинформацию на встроенным дисплее. Видеоприемник (video receiver/VRX), принимающий видеосигнал от БпЛА, может быть либо встроен в очки, либо подключен как внешний модуль. Источником видеинформации является курсовая видеокамера, размещенная на БпЛА [3].

FPV-шлемы, как правило, имеют прямоугольную продолговатую форму, крепятся на голове двумя ремешками. Внутри находится экран и большая линза (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – FPV-шлем

FPV-очки компактнее шлема, они содержат внутри два экрана и две линзы (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – FPV-очки

Использование FPV-очков, шлемов, позволяет создать реалистичное погружение в полет «от первого лица». Кроме того, имеется возможность приема видеосигнала на отдельный FPV-монитор (рисунок 2.10).

FPV-монитор (экран) представляет собой дисплей, входящий в состав видеоприемника с приемными антеннами. Монитор, для уменьшения влияния посторонних источников света на качество изображения, оборудован козырьком. Для гоночных FPV-дронов отдельные экраны не используются [8].



Рисунок 2.10 – FPV- монитор

Основными характеристиками FPV-шлемов являются:

- разрешение экрана (например, 1280×720 , 800×400 , 480×272 , 500×300 – чем больше указаны числа, тем лучше);
- угол обзора очков FPV (FOV) – угол, который определяет размер видимого изображения;
- наличие встроенного видеоприемника;
- частота приемника (количество поддерживаемых каналов) (например, 40 каналов, 32 канала, 5.8ГГц);
- функция Diversity (наличие двух разнесенных приемников, принимающих сигнал, и система, выбирающая лучший из них);
- соотношение сторон – отношение ширины к высоте экрана (например, 16:9, 4:3);
- наличие DVR (видеорегистратора для записи видео);
- размер и вес;
- время работы от аккумулятора и его наличие;
- межзрачковое расстояние (IPD) (для очков);
- наличие дополнительных линз с диоптриями (для очков);
- вентилятор для предотвращения запотевания экранов и линз очков;
- наличие функции отслеживания головы (Head tracking);
- наличие аудиовыхода для подключения наушников;
- наличие HDMI разъема для подключения очков к монитору;

- поддержка просмотра 3D видео;
- видеовход – для подключения внешнего приемника.

Если в шлеме или очках установлены разнесенные приемники, тогда сигнал будет приниматься по отдельности на каждую antennу и синхронизироваться, повышая общее качество отображаемой картинки. С разнесенными приемниками используются разные антенны, обычно это патч (дипольная) и грибовидная (круговая) поляризация, гораздо реже используют монопольную или линейную [9].

Модуль видеопередатчика FPV-дронов – это устройство, которое получает видеосигнал с камеры FPV-дрона, преобразует его в видеосигнал определенной частоты и передает на видеоприемник, который находится, например, в шлеме.

Основные характеристики модуля видеопередатчика:

- выходная мощность (от нее зависит дальность передачи стабильного видеосигнала (в пределах прямой видимости);
- диапазон рабочих частот (высокие частоты: 5,725-5,85 ГГц; низкие частоты: 2,4; 1,2 ГГц);
- поддержка каналов и механизм их переключения;
- совместимость видеопередатчика с аппаратурой;
- габариты и вес;
- тип сигнала (аналоговый или цифровой);
- разъем антенны (SMA, uFL, MMCX);
- наличие встроенного микрофона;
- тип корпуса;
- напряжение (в диапазоне от 7 до 24V);
- задержка сигнала.

1. *Выходная мощность видеопередатчика (Power Output)* – это количество энергии в единицу времени, которое излучает видеопередатчик в процессе работы. Чем выше мощность передатчика, тем больше площадь покрытия радиосигналом и дальность применения FPV-дрона. Но у этого есть и обратная сторона: чем больше мощность FPV-дрона, тем больше помех он создает другим операторам БпЛА.

Выходная мощность видеопередатчиков имеет, как правило, три фиксированных значения: 25 мВт, 200 мВт и 600 мВт.

25 мВт – это стандарт для большинства гоночных квадрокоптеров и, как правило, эта мощность практически не создает помехи другим пилотам. Дистанция применения БпЛА в этом случае обычно не превышает 100 метров.

200 мВт – стандартная мощность для полета на короткие дистанции, обычно не превышающие 500 метров.

600 мВт – это выходная мощность для осуществления полетов на дальние расстояния. В этом случае видеопередатчик будет сильно греться и создавать помехи другим пилотам.

Все современные видеопередатчики имеют возможность регулировать выходную мощность сигнала, это позволяет удобно использовать дрон в помещении, выставив ему мощность 25 мВт и вне помещений при

осуществлении полетов на дальние дистанции – 200 или 400 мВт. Следует помнить, что чем выше мощность, тем быстрее разряжается аккумулятор, так как возрастает энергопотребление [12].

2. Основные рабочие частоты видеопередатчика:

- 5,8 ГГц;
- 2,4 ГГц;
- 1,2 ГГц.

На практике большинство современных видеопередатчиков работают на частоте 5,8 ГГц, данная частота повышает пропускную способность канала. Однако в связи с большей помехоустойчивостью и дальностью набирают популярность видеопередатчики, работающие на частоте 1,2 ГГц.

3. Поддержка каналов видеопередатчика – часть общего частотного диапазона, в пределах которого выделяются автономные частоты для независимого управления БпЛА, для обеспечения возможности использования этих частот другими операторами БпЛА. В итоге одновременно могут управлять полетами до 40 и более пилотов, при этом, каждый будет использовать в общем частотном диапазоне свою рабочую частоту в окрестности частоты 5,8 ГГц. Канал в большинстве видеопередатчиков отображается на маленьком экране.

Существует 4 механизма переключения между каналами:

- DIP (механическая);
- кнопка с дисплеем;
- инфракрасным пультом;
- через OSD.

DIP уже устарел и используется только в старых видеопередатчиках.

Кнопка с дисплеем – сейчас самый популярный вариант, просто нажимаете в определенном порядке кнопку и на дисплее будет меняться канал, например, 2-В, 3-А и так далее.

Инфракрасный пульт – устройство, которым возможно дистанционно включить нужный канал без перебора.

OSD (SmartAudio, Tramp Telemetry) – функция, позволяющая выбрать канал через меню на дисплее очков или шлема.

4. Совместимость видеопередатчика с аппаратурой определяется только наличием групп и каналов (А-1, В-3 и т.д.).

5. Габариты и вес (форм-фактор) – это размер платы передатчика. Как правило, это миниатюрные устройства размером, как и приемник аппаратуры управления, крепятся в задней части квадрокоптера. Но сейчас все чаще производители начали делать видеопередатчики размером 30x30мм. Это стандартный размер полетного контроллера, поэтому ПК и видеопередатчик устанавливаются в сборку, друг над другом.

Размер и вес пишутся для каждого передатчика. От размеров зависит – вместится ли плата в сборку и сколько еще останется свободного места. Вес имеет большое значение для сборки мини- и микродронов.

6. По типу сигнала видеопередатчики могут быть аналоговыми или цифровыми. Цифровые видеопередатчики передают видео с качеством,

значительно лучшим, чем аналоговые. Однако поэтому они являются более дорогими. Из-за процессов сжатия изображения в цифровых FPV-системах возникает задержка, уменьшить которую возможно путем снижения резкости и ухудшения качества видео. Результатом этого является потеря детализации. Аналоговый сигнал видеопередатчика исключает задержки в передаче сигнала на приемное оборудование. В нем не будут пропадать кадры или сегменты изображения при зашумленности сигнала.

7. *Разъем для антенны* видеопередатчиков существует с разными коннекторами. Самые популярные коннекторы это SMA, uFL и MMCX.

SMA – это стандартный, большой разъем с резьбой, он много лет использовался в радиоэлектронике как надежный и простой разъем. Сейчас это один из самых популярных разъемов. Производится он в двух вариантах: SMA и RP-SMA.

uFL – этот коннектор значительно меньше SMA и используется в компактных сборках, где нет возможности ставить оборудование с большими массогабаритными характеристиками. Коннектор выполнен в виде защелки. Если в процессе выполнения полета антенна отстегнется, то видеопередатчик может выйти из строя, при условии, что он будет некоторое время работать без антенны [5].

MMCX – это один из новейших разъемов. Он похож на uFL, но меньше по размеру. MMCX сочетает в себе компромиссы: от SMA долговечность, а от uFL вес и размеры. Единственный его недостаток – трудно найти antennу с таким же разъемом.

Для некоторых видеопередатчиков предусмотрен прямой контакт (Direct Solder) с возможностью прямого припаивания антенны к разъему. Кроме того, всегда можно использовать переходники с одного коннектора на другой, но это может привести к падению выходной мощности и, как следствие, к ухудшению качества видео. Поэтому, лучше выбирать видеопередатчик и antennу для него с одинаковыми типами коннекторов.

8. *Встроенный микрофон* (Internal Microphone) записывает звук и передает его в FPV-шлем или очки.

9. *Корпус* большинства видеопередатчиков имеет исполнение в виде печатной платы в термоусадке или в корпусе из алюминия (пластика). Обычно видеопередатчики размещаются внутри рамы дрона, где они хорошо защищены.

10. *Напряжение питания* видеопередатчика имеет строго заданное значение, указанное в техническом описании. Неправильно выбранное значение питающего напряжения может привести к значительному шуму на видео, артефактам и даже выходу видеопередатчика из строя [6].

Видеоприемник FPV-дронов – это устройство, предназначенное для приема видеосигнала от видеопередатчика и передачи его на средства отображения оператора управления БПЛА (FPV-шлема или FPV-очков).

2.5 Антенны FPV-дронов

В FPV-дроне обычно есть две радиосистемы: система радиоуправления для управления дроном и видеосистема для трансляции видео через FPV-камеру. У каждой системы имеется антenna, которая предназначена для преобразования осциллирующей электрической энергии в электромагнитное излучение и наоборот. Антенны в зависимости от функционального назначения имеют различные характеристики.

Каждая FPV-антенна, независимо от внешнего вида, имеет одинаковый набор компонентов (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Строение антенн FPV–дронов:
а) – штыревая антенна; б) – клеверная антенна

Из рисунка 2.11 видно, что FPV-антенны состоят из следующих элементов.

1. *Проводящий элемент* – преобразует осциллирующий электрический сигнал в энергию электромагнитных волн, излучаемых в эфир в виде радиоволн. Каждая антenna имеет хотя бы один проводящий элемент. Некоторые могут иметь несколько проводящих элементов, например, диполи.

2. *Земля/основание (противовес)* – компонент делают металлическим, он соединен с квадрокоптером посредством коннектора, также, при правильном позиционировании, усиливает сигнал, который передается до/от квадрокоптера. Основание нужно располагать так, чтобы оно было параллельно земле.

3. *Структура* – материал корпуса антены обычно диэлектрик, пластик или акрил.

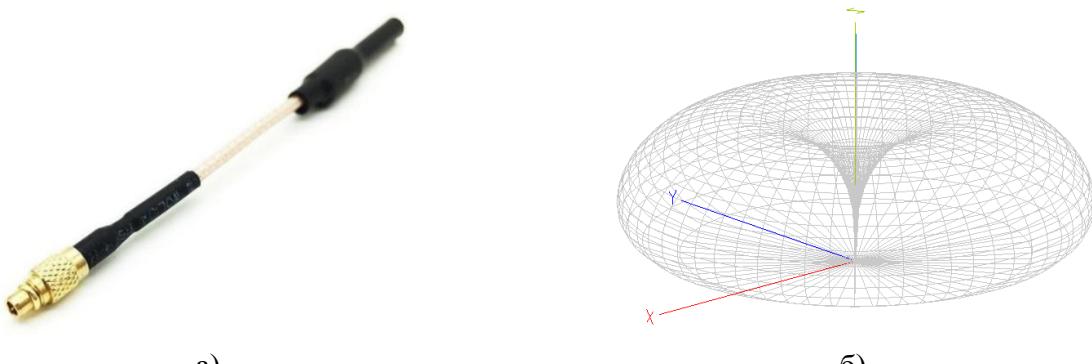
4. *Коаксиал* – кабель, представляющий собой специальный тип защитного провода, который может передавать электрические сигналы от одной точки к другой без излучения радиосигнала.

5. *Коннектор* – разъем, посредством которого антenna соединяется с передатчиком на дроне. Служит проводящим элементом.

FPV-антенны бывают следующих типов:

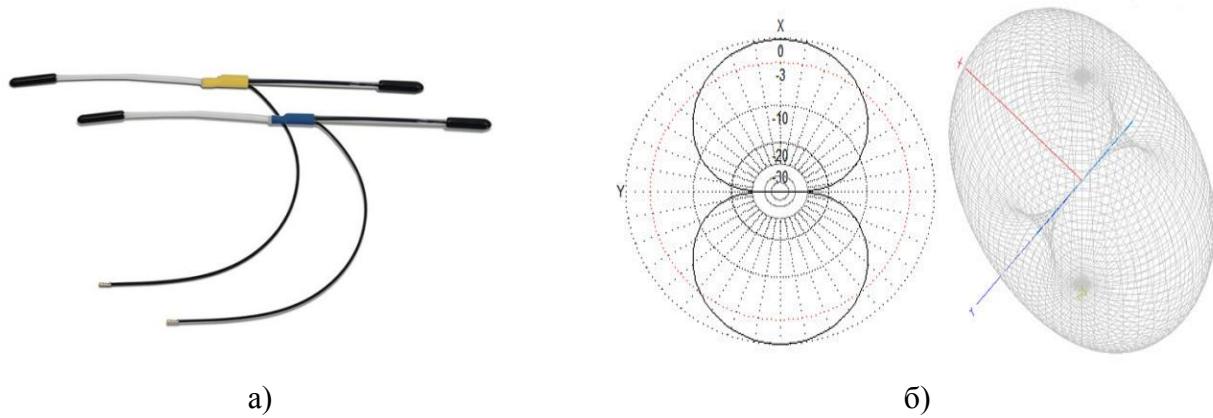
- штыревая (монопольная) антенна;
- дипольная антенна;
- клеверная (грибовидная) антенна;
- спиральная антенна;
- патч-антенна.

Штыревая (монопольная) антенна является всенаправленной и имеет круговую диаграмму направленности (ДН) в горизонтальной плоскости и тороидальную – в вертикальной (рисунок 2.12), а также линейную поляризацию (вертикальную или горизонтальную, в зависимости от положения антенны в пространстве).



Качество связи с использованием монопольной антенны будет наилучшим, когда антенны располагаются в одной плоскости. Если же такие антенны (приемную и передающую) расположить перпендикулярно друг другу или направить прямо друг на друга, то качество связи будет очень плохим [6].

Дипольная антенна является всенаправленной и имеет круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и тороидальную – в вертикальной (рисунок 2.13), а также линейную поляризацию, как и штыревая антенна.



Разница ДН между дипольной и монопольной антенной заключается в том, что ДН дипольной антенны имеет большую ширину главного лепестка, по сравнению с диаграммой направленности монопольной антенны, что обеспечивает первой лучшие характеристики.

Клеверная (грибовидная) антenna имеет диаграмму направленности как у штыревой антенны (рисунок 2.14) и имеет круговую поляризацию, что обеспечивает отличные передачу и прием почти в любом положении.

Наибольшее усиление происходит в горизонтальной плоскости, а наименьшее в вертикальной. Такая антenna будет работать хуже, если ее конец направить на квадрокоптер, но сигнал все равно будет.

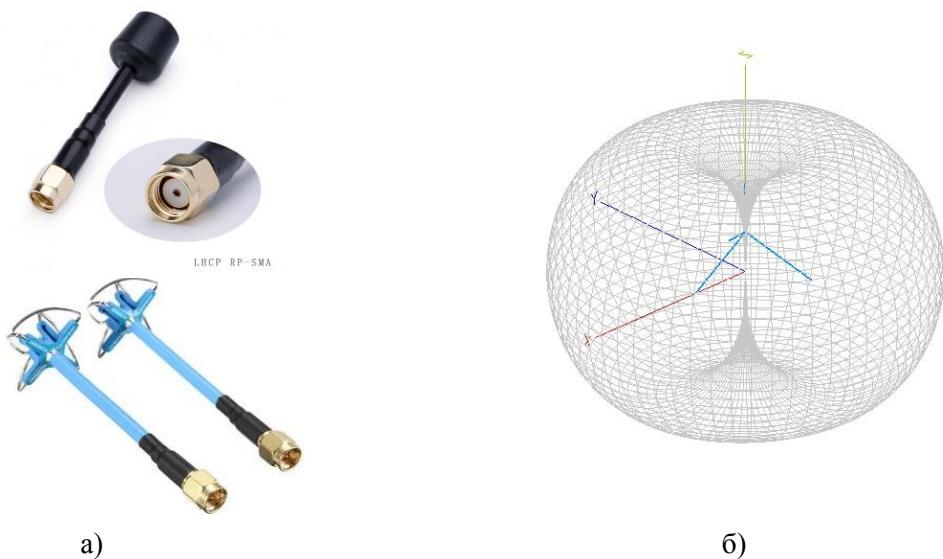


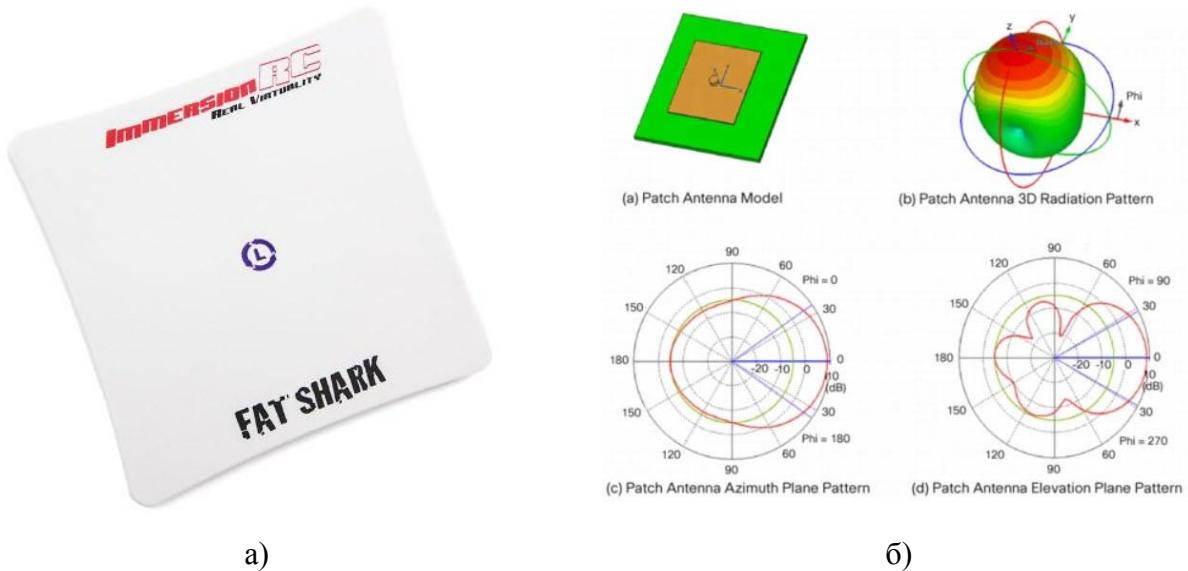
Рисунок 2.14 – Клеверная антenna:
а) – внешний вид; б) – диаграмма направленности

Сpirальная антenna является направленной с круговой поляризацией (рисунок 2.15). Чем больше витков спирали имеет антenna, тем у нее более узкая ширина ДН. Спиральные антены с одним или двумя оборотами спирали имеют ДН, очень похожую на патч-антенну, которая будет рассмотрена далее. Однако добавление витков (6 и больше) может значительно сузить ДН и повысить направленные свойства антены.



Рисунок 2.15 – Спиральная антenna

Патч-антенна имеет трехмерную диаграмму направленности излучения в форме капли в одном направлении, что свидетельствует о ее высоких направленных свойствах. Они, как правило, используются в качестве приемных антенн (рисунок 2.16).



а)

б)

Рисунок 2.16 – Патч-антенна:
а) – внешний вид; б) – диаграммы направленности

Наиболее распространенной антенной для FPV-дронов является антенна FoxeerLollipop 4 Plus 5,8 ГГц (RHCP / LHCP), представленная на рисунке 2.17 и имеющая следующие характеристики:

- рабочий диапазон частот: 5,5–6 ГГц;
- коэффициент усиления: 2,6 дБ;
- диаграмма направленности;
- поляризация: RHCP для аналогового видео и LHCP для цифровой системы DJI FPV;
- осевое соотношение близко к 1.0.



Рисунок 2.17 – Линейка антенн FoxeerLollipop 4 Plus 5,8 ГГц (RHCP / LHCP)

Установка антенны имеет большое значение, потому что от этого зависят качество канала связи и возможности применения FPV-дрона. Следует помнить, что карбоновое волокно рамы отражает радиоволны, поэтому антенны нужно ставить так, чтобы они как можно меньше экранировались рамой [8].

2.6 Радиобезопасность

При организации полетов на БпЛА рекомендуется соблюдать дополнительные меры радиобезопасности. Это связано с тем, что технические средства радиотехнической разведки могут находить источник радиоизлучения и пеленговать место нахождения излучающей антенны, а также определить тип оборудования передатчика.

Следует придерживаться рекомендации – чем меньше расчет БпЛА использует источники радиоизлучения, тем сложнее противнику запеленговать место, откуда он работает. Также не стоит без необходимости вести радиопереговоры и держать включенным пульт управления или модем наземной станции управления БпЛА. Если есть необходимость включения этих устройств для настройки работы комплекса с БпЛА, то размещать их передающий тракт следует так, чтобы диаграмма направленности антенн не была направлена в сторону противника или находилась за надежно экранирующими радиосигнал преградами. Кроме того, не стоит крутить направленную антенну в разные стороны без необходимости. Антенной в процессе полета сопровождается только сам БпЛА и ничего больше.

Также не стоит постоянно летать с одной и той же стартовой площадки. Необходимо использовать несколько различных площадок для полетов в тот же сектор, при этом использовать их несистематично. Подразделения, находящиеся в районе полетов, предупреждать о намерении использовать БпЛА непосредственно перед самым выходом на площадку для минимизации последствий от утечки информации [9].

Следует понимать, что сигналы аппаратуры управления, телеметрии и видеопередатчика могут быть подавлены помехами. **Типы помеховых воздействий** бывают активными, то есть те помехи, которые представляют собой преднамеренно генерируемые радиосигналы определенного вида, и пассивными, то есть помехи, которые возникают при переотражении полезного радиосигнала, например, от уголковых отражателей.

Также есть средства электромагнитного поражения, которые работают по принципу магнетрона, то есть генерации индукционных токов в цепях электротехнических устройств объекта, который подвергается облучению. В настоящий момент серийных средств функционального поражения на вооружении ВСУ нет. Поэтому рассмотрим доступные и используемые противником средства.

Самым распространенным и доступным способом является подавление сигнала. Суть процесса заключается в том, что на частоте работающего оборудования, которое необходимо заглушить, подается более сильный шумовой сигнал, который забивает полезный информационный сигнал.

Возможны комплексные виды воздействия, то есть комбинация сразу несколько частот воздействия. Например, одновременное подавление канала телеметрии и сигнала GPS приводит к прерыванию связи с БпЛА и его дезориентации в пространстве, при отсутствии других систем навигации это обычно приводит к потере аппарата.

Подавление канала видеопередачи обычно критично для FPV-дрона и приводит к его потере. Для коммерческого разведывательного БпЛА потеря видеосигнала безвредна и может помешать выполнению визуального наблюдения и корректировке артиллерийского огня.

Активных способов противодействия таким помехам не существует, есть лишь рекомендации, как усилить сигнал своей наземной станции, как выходить из зоны воздействия средств РЭБ и как уменьшить радиозаметность.

GPS-Спуфинг – это подмена сигнала GPS, транслируемого спутниками, другим, более сильным сигналом, который транслируется с наземной станции. Сигнал от наземной станции спуфинга вносит корректуру в определение приемником собственного расположения, что приводит к нарушению ориентировки [14]. Противодействовать этому экипаж может, если вовремя заметит замену, уводя БпЛА по магнитному компасу и наземным ориентирам в позицию «дом». Может оказаться эффективным некоторое снижение высоты БпЛА.

Подмена канала управления/телеметрии – это перехват канала управления или телеметрии. Станция радиоэлектронного противодействия замечает сигнал с пульта или с модема, считывает ключ, определяет протокол управления и своим сигналом с тем же ключом, на той же частоте перехватывает управление на себя. В случае такого противодействия победит тот, чей сигнал от аппаратуры управления будет сильнее. В качестве противодействия разработчиками БпЛА применяются всевозможные способы кодирования управляющего сигнала [7].

Изменение условий, в которых выполняются решаемые FPV-дронами задачи, может привести к необходимости улучшения характеристик БпЛА.

Процесс улучшения характеристик FPV-БпЛА связан с обновлением программного обеспечения, а также модернизацией его комплектующих и внедрением доработок, позволяющих повысить надежность его применения. Следует помнить, что улучшение одних характеристик может привести к ухудшению других. Например, при увеличении емкости аккумулятора увеличивается вес БпЛА. Следовательно, необходимо выбирать комплектующие, которые имеют наиболее оптимальные параметры и характеристики для решения имеющейся задачи. Также необходимо понимать, что у каждой модели есть свои ограничения, которые не стоит превышать.

К техническим мерам, повышающим надежность применения FPV-БпЛА, относятся следующие процедуры:

- применение усиленной рамы;
- применение термоусадочных трубок или изоленты для прижатия проводки к корпусу рамы;

- применение напечатанных на 3D принтере креплений для камеры, антенн или ESC;
- использование двух батарейных ремней или скотча для крепления АКБ к раме;
- использование резиновых или силиконовых втулок при креплении сборки плат к раме для поглощения вибраций и ударов;
- использование бамперов на концах лучей;
- применение стартовых (посадочных) площадок;
- применение выносных ретрансляторов сигнала для увеличения дальности полета и обеспечения максимальной зоны покрытия сигнала;
- использование нескольких передатчиков/приемников радиосигнала, работающих на разных частотах;
- использование поворотных направленных антенных устройств для слежения за БПЛА.

Контрольные вопросы

1. Перечислите диапазоны частот FPV-дронов, их особенности, достоинства и недостатки.
2. Назовите основное оборудование, необходимое для радиоуправления и передачи видеопотока FPV-дронов.
3. Назовите и охарактеризуйте основные параметры устройства, которое передает видеосигнал с FPV-камеры БПЛА на FPV-очки.
4. FPV-приемники: типы и характеристики.
5. FPV-антенны: назначение и конструкция.
6. Перечислите основные типы FPV-антенн, их конструктивные особенности, диаграммы направленности и типы поляризации, достоинства и недостатки.
7. Условия применения FPV-антенн.
8. Какие меры радиобезопасности рекомендуется соблюдать при организации полетов на БПЛА?

3 ПОРЯДОК ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА FPV-ДРОНА К ПОЛЕТУ И УЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ БПЛА

Основы успешного выполнения полета и поставленной перед расчетом БпЛА задачи, а также обеспечение безопасного применения БпЛА закладываются во время подготовки к полету. Ошибки, допущенные на этом этапе, трудно или невозможно исправить во время полета и могут привести к срыву выполнения боевой задачи и другим тяжелым последствиям. При подготовке к полету оператору БпЛА необходимо тщательно проконтролировать правильность исходных данных и навигационных расчетов, требуемых для выполнения полета (путевых углов, расстояний, ориентиров, времени полета, превышений рельефа и т.п.), чтобы в сложной обстановке у него не возникало сомнений в их достоверности.

Точный расчет навигационных элементов перед полетом необходим для выполнения полета и решения задач боевого применения наиболее рациональным способом с учетом технических возможностей БпЛА, фактических метеоусловий по маршруту полета и других ограничений [15].

3.1 Подготовка к выполнению полетного задания и визуальная ориентировка

Операторы FPV-дрона как правило работают в паре с помощником. При этом расчету FPV-дrona помогает расчет разведывательного БпЛА, осуществляющий поиск целей и наведение БпЛА-камикадзе на конечном участке полета.

Одним из основных правил навигации при применении БпЛА любого типа является непрерывное сохранение ориентировки – это значит, что в любое время полета оператор должен знать место летательного аппарата (ЛА) и характер его движения относительно линии заданного пути (ЛЗП). Ориентировка может осуществляться визуально и при помощи технических средств.

В настоящее время в качестве *основных технических средств навигации* БпЛА используются: спутниковые навигационные системы; инерциальные навигационные системы; акселерометры; гироскопы; магнитометры; радиовысотомеры (сонары); барометры; системы технического зрения. Эти системы и средства используются на борту БпЛА совместно, информация, поступающая от них, комплексируется и помогает оператору БпЛА точно выдерживать заданные параметры полета.

В случае применения FPV-дрона, из-за отсутствия возможности установки большинства технических средств навигации, оператором ведется *визуальная ориентировка*.

Оператор FPV-дрона при выполнении полета наблюдает окружающую обстановку с помощью курсовой камеры и определяет положение БпЛА в пространстве только с ее помощью.

Визуальной ориентировкой называется определение места БпЛА по опознанным ориентирам путем сличения карты с местностью.

Под *ориентиром* понимают естественный или искусственный объект, или участок земной поверхности, изображенный на карте и видимый оператором управления в полете. Ориентир считается опознанным тогда, когда оператор управления узнает его по совпадению с изображением на карте.

Визуальная ориентировка ведется в целях контроля пути, определения навигационных элементов полета, отыскания цели и выхода на нее. Основными достоинствами визуальной ориентировки являются простота, надежность, высокая точность и большая достоверность определения места БпЛА. Умение вести визуальную ориентировку в полете является одним из элементов летного мастерства оператора управления [16].

Ориентиры могут быть естественными (дороги, населенные пункты, леса, реки и т.д.) или искусственными (светомаяки, прожекторы, условные знаки, цветные дымовые шашки, сигнально-ориентирные бомбы и др.).

По конфигурации и размерам ориентиры подразделяются: на линейные, площадные и точечные.

Линейными называются ориентиры, которые при относительно незначительной ширине имеют большую протяженность (реки, дороги, каналы, берега морей, горные хребты и т. д.).

Площадные ориентиры – занимают относительно большую площадь и выделяются на фоне местности своими контурами (крупные населенные пункты, железнодорожные узлы, озера, участки леса в степных районах и др.).

Точечные ориентиры – перекрестки дорог, мосты, мелкие населенные пункты, небольшие железнодорожные станции, отдельные вершины гор. К точечным ориентирам относятся также светотехнические средства (светомаяки, прожекторы, дымовые шашки и др.).

Ориентиры между собой различаются по *основным и дополнительным* признакам. К *основным* признакам относятся: форма, размер и цвет ориентира. По основным признакам оператор управления отличает один вид ориентиров от других. Например, населенный пункт от участка леса отличается цветом; дорога от реки отличается формой. *Дополнительные* признаки используются для того, чтобы различать однородные ориентиры, например, два населенных пункта. К *дополнительным* признакам главных ориентиров относятся расположенные вблизи них другие ориентиры, например, дороги, лесные участки, реки, озера.

Для ведения визуальной ориентировки при выходе на наземную цель используются *характерные ориентиры*, это те ориентиры, которые четко выделяются и легко опознаются с данной высоты полета.

Для оператора БпЛА очень важно перед полетом, изучая на карте ориентиры, выбрать характерные из них. Эти ориентиры следует «поднять» на карте, т.е., если речь идет о бумажной карте или схеме, выделить их карандашом. На электронной схеме можно поставить маркер. Правильный выбор характерных ориентиров значительно облегчает ведение визуальной ориентировки.

К характерным ориентирам *при полете на средних и больших высотах* относятся крупные населенные пункты, озера, береговая черта, крупные реки. *При полете на малых высотах* к характерным ориентирам относятся те, которые имеют вертикальное развитие: трубы, элеваторы, вершины гор.

Во время полета, оператор БпЛА сначала обнаруживает ориентир, не различая его деталей на дальности, называемой дальностью обнаружения. Опознание ориентира (рассматриваются детали ориентиров) зависит от характера и числа его отличительных признаков и продолжительности наблюдения. Чем больше дальность обнаружения и чем ближе расположен ориентир к линии фактического пути, тем большим временем располагает оператор для его опознавания. Наличие хотя бы одного специфического, неповторимого признака позволяет опознать ориентир сразу [14].

Дальность видимости ориентиров зависит от высоты полета БпЛА, величины ориентира, фона местности и метеорологических условий (прозрачности воздуха, освещенности и т. д.), а также (для FPV-дрона) разрешающей способности камеры, дисплея очков и качества принимаемого видеосигнала.

При средних условиях видимости:

- дальность обнаружения ориентиров равна 10 высотам полета;
- дальность опознавания равна 3 – 5 высотам полета.

При полетах над малоориентирной местностью для ориентировки следует использовать не только крупные, но и мелкие ориентиры: отдельные возвышенности, овраги, балки, дороги, тропы и др.

В однообразной местности следует использовать те ориентиры, которые выделяются среди других объектов, создают «пестроту» местности, а также взаимное расположение ориентиров. Для визуальной ориентировки над «пестрой» местностью следует использовать ориентиры, контуры которых не подвергаются изменениям и отчетливо видны на общем фоне местности. В горном районе для ведения визуальной ориентировки используются характерные вершины, конфигурации хребтов и ущелий, покров гор и их цвет.

На малых и предельно малых высотах визуальная ориентировка затрудняется вследствие небольшой дальности видимости ориентиров и больших угловых скоростей перемещений местности. При этом ориентиры, даже близко расположенные, видны не в плане, а в перспективе. Скорость полета также оказывает влияние на угловую скорость перемещения ориентиров и время их наблюдения. На малых высотах и больших скоростях полета время наблюдения ориентиров резко сокращается [21].

В основу визуальной ориентировки положено определение места БпЛА путем сличения карты с наблюдаемой местностью. В расчете FPV-дрона эту функцию может выполнять помощник оператора. При ведении визуальной ориентировки необходимо соблюдать следующие правила:

- следить за курсом;
- перед сличением карты с местностью необходимо ориентировать ее по сторонам света;

– каждому определению места БпЛА по возможности должно предшествовать счисление пути с тем, чтобы иметь возможность сличить карту с местностью в районе предполагаемого местонахождения БпЛА;

– ввиду ограниченного времени на распознавание ориентиров, особенно при полетах на больших скоростях, необходимо ожидать появления ориентиров в пределах видимости, т.е. знать, какой ориентир и с какого направления должен появиться;

– из совокупности ориентиров, видимых с данной высоты полета, выбирать сначала крупные, наиболее характерные, опознавать их, а затем переходить к опознаванию более мелких;

– ориентиры опознавать не по одному, а по нескольким отличительным признакам, чтобы не спутать ориентиры, похожие друг на друга.

Для сохранения ориентировки в процессе полета нужно периодически определять место БпЛА. Местонахождение БпЛА может быть определено в момент пролета опознанного ориентира или сопоставлением положения БпЛА относительно нескольких опознанных ориентиров.

Сличение карты с местностью выполняется переходом от карты к местности. Перед полетом необходимо выбрать на карте один или несколько характерных ориентиров, затем отыскать их на местности. Это позволяет заранее изучить эти ориентиры по карте, а затем ожидать их появления на местности [15].

В беспилотной авиации на основании Методических рекомендаций по производству полетов БпЛА малой дальности и ближнего действия Министерства обороны РФ, перед вылетом оператор БпЛА должен уяснить цель, задачи и условия выполнения полета, определить какие технические средства необходимо использовать для ее выполнения, а также какие тактические приемы будут использоваться, рассчитать маршрут полета, его параметры, составить схему полетного задания.

Маршрутом полета называется проекция траектории полета на земную поверхность. Линия, по которой оператор управления должен провести БпЛА, называется *линией заданного пути (ЛЗП)*, или *заданным маршрутом*. Линия, по которой фактически пролетел БпЛА, называется *линией фактического пути (ЛФП)* или *фактическим маршрутом*. Маршрут полета выбирается в зависимости от характера задания с учетом:

– местоположения цели к моменту подлета к ней и лучшего направления захода на нее;

– надежности ориентировки и отыскания цели;

– наибольшей скрытности полета от противника;

– расположения средств радиоэлектронного и огневого противодействия противника и наименьшей продолжительности полета в этом районе;

– рельефа местности и состояния погоды по маршруту;

– запретных зон и зон с особым режимом полета;

– тактико-технических возможностей БпЛА, выполняющих полет.

В качестве точек маршрута выбирают характерные наземные ориентиры.

Прокладка маршрута на полетной карте может включать:

- отметку основных точек маршрута;
- нанесение линии заданного пути;
- определение и нанесение на карту путевых углов, расстояний и штилевого времени полета по участкам маршрута;
- отметку заданного (расчетного) времени выхода на цель;
- отметку характерных высот рельефа местности по участкам маршрута, превышения цели, расчет безопасных высот полета;
- нанесение точек коррекции навигационной системы.

Расчет полета выполняется для обеспечения точного выдерживания заданного маршрута и выхода на цель или контрольный ориентир (рубеж) в заданное время, обеспечения координации действий расчетов в группах и контроля за их полетом. Расчет полета выполняется одновременно с прокладкой маршрута. Он включает:

- определение длины участков между основными точками маршрута (длину этапов) и общей длины маршрута;
- определение времени полета по участкам маршрута и общей продолжительности полета;
- определение путевых углов по участкам маршрута;
- определение безопасных высот по участкам маршрута;
- другие данные в зависимости от полетного задания.

Полученные данные заносятся в рабочую тетрадь или в блокнот.

Расчет полета подразделяется на *предварительный* и *окончательный*.

Предварительный расчет проводится без учета ветра (по истинной воздушной скорости полета). Он выполняется в период подготовки к полету. Его результаты наносятся на карту и записываются в блокнот.

Окончательный расчет полета производится в период предполетной подготовки с учетом фактических данных о ветре, полученных от разведчика погоды по маршруту или на основании метеорологических данных давностью не более 3 часов.

Схема полетного задания БпЛА в общем случае должна включать:

- графическую модель полета (порядок и последовательность выполнения полетного задания (упражнения), с указанием времени и высот полета, тактические приемы и параметры их выполнения);
- необходимые справочные данные и расчеты в виде текста или таблиц;
- порядок взаимодействия с другими операторами БпЛА или корректировщиками (наводчиками);
- меры безопасности при выполнении полетного задания (упражнения).

Как правило, при полетах FPV-дронов полетные карты и схемы полетного задания не составляются. Однако так или иначе большинство из перечисленных элементов полетного задания продумываются заранее [16].

Выполнение полетного задания при использовании FPV-дронов имеет свои особенности.

1. При планировании полета необходимо по возможности учитывать погодные условия: температуру воздуха, скорость и направление ветра.

2. Маршрут полета строить из расчета максимального времени полета FPV-дрона минус 25% (если время полета составляет 20 мин, то время выполнения полетного задания не должно превышать 15 мин). Если FPV-дрон используется для ведения разведки, то при расчете времени выполнения задания необходимо учитывать время возвращения в точку посадки.

3. Изучить предварительные разведывательные данные по дислокации подразделений противника. Маршрут выбирать таким образом, чтобы обеспечить скрытность выхода БпЛА в район цели (ведения разведки), исключить или снизить эффективность воздействия средств противодействия БпЛА противника.

4. Тактические приемы также должны основываться на использовании маневренных возможностей БпЛА, маскирующих средств местности, фактического состояния средств противодействия БпЛА противника, сложившейся боевой обстановки.

5. Высота полета БпЛА должна обеспечивать устойчивую связь, это достигается за счет обеспечения прямой радиовидимости. Выбор высоты маршрута полета определяется с учетом следующего противоречия: чем выше высота полета, тем больше зона прямой видимости, и чем ниже высота полета, тем меньше вероятность подавления средствами РЭБ противника.

6. При выполнении задач огневого поражения противника при полете по маршруту необходимо вести попутную разведку.

7. Особое внимание необходимо уделять выбору площадки старта и посадки, использованию выносных передатчиков и ретрансляторов.

Полет по маршруту с выполнением полетного задания требует от оператора управления БпЛА внимания не только к технике пилотирования, но и осуществлению контроля за движением БпЛА строго по намеченной траектории, ведению осмотрительности, быстрому решению в уме расчетных и логических задач. Успешное выполнение полетного задания возможно лишь тогда, когда полет в полном объеме подготовлен заранее на земле.

3.2 Влияние метеоусловий на полеты FPV-дронов

FPV-дроны предназначены для поиска и поражения объектов противника на относительно небольшом удалении от точки старта. В связи с этим, а также исходя из технических характеристик этого типа БпЛА, операторам данных аппаратов следует обладать некоторым объемом знаний о влиянии метеоусловий на их применение. Поскольку время и дальность полета аппарата ограничены, а высота не превышает трехсот метров, можно считать, что в большинстве случаев расчет аппарата может оценить метеоусловия в зоне его применения визуально. При этом необходимо понимать, что на выполнение задачи аппаратом могут оказывать влияние следующие факторы [17]:

– *скорость ветра*, превышающая предельно допустимые значения для данного аппарата;

– *высота облачности* и (или) *дальность видимости*, осложняющая или исключающая визуальный контакт с подстилающей поверхностью, а также возможность найти и поразить заданный объект противника;

– *опасные явления погоды*, которые влияют на безопасность полета и которые можно условно поделить на три группы: ухудшающие видимость (туман, дымка, дождь, снег, морось, метель, пыльная буря), усложняющие ветровой режим (шквал, ураган, метель, пыльная буря) и приводящие к возникновению некоторых опасных эффектов (искровые разряды (молния), болтанка, обледенение).

Рассмотрим подробнее указанные элементы.

Ветер – горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Ветер имеет два параметра – *направление* и *скорость*:

– *скорость* измеряется в метрах в секунду, километрах в час, узлах (морская миля в час), в баллах шкалы Бофорта;

– *направление* (откуда дует ветер) измеряется в градусах (относительно севера) (от 0° до 359°) и румбах (16 румбов): С, ССВ, СВ, ВСВ, В, ВЮВ, ЮВ, ЮЮВ, Ю, ЮЮЗ, ЮЗ, ЗЮЗ, З, ЗСЗ, СЗ, ССЗ. (рисунок 3.1).

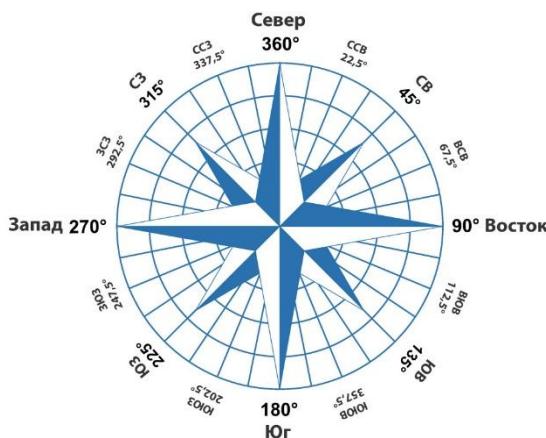


Рисунок 3.1 – Направление ветра румбы и градусы

Скорость ветра измеряется с точностью до 1 м/с, а направление – до 10° .

Для измерения параметров ветра у земли применяют чашечные и винтовые анемометры для измерения скорости ветра, флюгарки для определения направления ветра. Примеры таких датчиков представлены на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчики ветра дистанционных метеорологических станций

Кроме того, так как оператор FPV-дрона работает как правило в паре с разведывательным БпЛА, то скорость ветра может быть измерена в автоматическом режиме БпЛА разведчиком и передана оператору FPV-дрона.

Облака – видимая совокупность взвешенных капель воды и/или кристаллов льда, находящихся на некоторой высоте над земной поверхностью и являющихся продуктами конденсации водяного пара. У облачности подлежат определению три параметра:

- количество облаков;
- форма облаков;
- высота нижней границы облаков.

Количество облаков определяется визуально в десятых долях закрытия видимого небосвода (одна десятая часть называется баллом). Если закрыт весь небосвод, то облаков 10 баллов, половина – 5 баллов и т. д.

Форма облаков определяется согласно разработанной классификации. Она определяет 10 основных форм облаков, из которых 2 формы сами по себе являются опасными – это кучево-дождевые и мощно-кучевые облака. С первыми из них связаны ливневые осадки, грозы, шквалы, град. Полет в таких облаках запрещен, поскольку в них возникают сильные восходящие и нисходящие движения воздуха, искровые разряды, обледенение и болтанка. Это может привести к потере управления аппаратом и его разрушению.

Высота нижней границы облаков (ВНГО) – это расстояние от земной поверхности до нижнего основания облака (измеряется в метрах).

Существует несколько методов определения ВНГО:

- визуальный (наблюдатель определяет высоту исходя из свойств облачности);
- шар-пилотный (запускается резиновая оболочка, заполненная водородом или гелием, и по времени достижения ею НГО (при известной скорости подъема) определяют высоту);
- инструментальный (специальный прибор (светолокатор) по времени прохождения луча до облаков и обратно определяет НГО);
- самолетный (с помощью летательного аппарата);
- расчетный (ВНГО оценивают при помощи специальных формул).

Формула Ферреля для оценки ВНГО:

$$H_{обл} = 122 (T - T_d), \quad (3.1)$$

где T – температура воздуха в градусах Цельсия, T_d – температура точки росы в градусах Цельсия.

Формула Ипполитова для оценки ВНГО:

$$H_{обл} = 22 (100 - f), \quad (3.2)$$

где f – относительная влажность воздуха в процентах.

В полевых условиях расчету БпЛА доступны визуальный, самолетный и расчетный методы определения ВНГО.

Видимость можно оценить с помощью системы визуальных ориентиров, которые всегда определены на наблюдательных пунктах с целью обеспечения применения артиллерии. Расстояние до самого дальнего ориентира, который виден в момент наблюдения, и есть дальность видимости. При определении видимости следует также учитывать сопутствующие факторы: время суток и контрастность наблюдаемого объекта относительно фона.

Относительно *опасных явлений погоды*, перечисленных выше, следует выделить *обледенение*. Для возникновения обледенения должны быть одновременно выполнены два условия:

- наличие на высоте полета облаков (тумана у земли – для FPV-дрона);
- температура воздуха на высоте полета должна быть в диапазоне от 0 до -20 градусов Цельсия. Диапазон температур, в котором обледенение наиболее вероятно: от -2 до -5 градусов Цельсия [17].

Оценить температуру воздуха на высоте полета можно, используя информацию с высотных карт погоды и (или) аэрологических диаграмм. Однако такой вид информации вряд ли доступен в полевых условиях, кроме того, для работы с такими документами нужна специальная подготовка. Поэтому оценить температуру также можно с помощью расчета на основе вертикального градиента температуры. Он имеет значение 0,65 градусов на 100 метров высоты. Таким образом, для определения температуры на нужном уровне надо высоту в сотнях метров умножить на 0,65 и полученное значение отнять от температуры воздуха у земли.

Например, температура у земли +2°C, влажность воздуха у земли 90%, высота полета 400 метров. Сначала с помощью вертикального градиента температуры определим изменение температуры с высотой: $\Delta T = 0.65 \cdot 3 = 2.6^{\circ}\text{C}$. Соответственно температура воздуха на высоте полета $T_{\text{e.n.}} = T_0 - \Delta T = 2 - 2.6 = -0.6^{\circ}\text{C}$. Далее с использованием формулы Ипполитова определяем высоту нижней границы облаков: $H_{\text{обл}} = 22(100-90) = 220$ метров. Исходя из этих расчетов, полет на указанной высоте будет проходить в облаках при отрицательной температуре. Таким образом, можно ожидать обледенение на высоте полета.

Так как полет FPV-дрона происходит на малой высоте и с большими скоростями, то наряду с перечисленными факторами следует также учитывать аэрометрию рельефа местности, над которой выполняется полет. На скоростях ветра более 5 – 7 м/с влияние местных препятствий (участки леса, строения) могут вызывать турбулентные возмущения, мешающие точному пилотированию БпЛА. Чем больше скорость ветра, тем сильнее эти возмущения. Оператор БпЛА, выполняя полет, должен учитывать возможность возникновения таких явлений [19]. Наиболее сильно эти эффекты проявляются на *подветренной стороне* препятствий. *Наветренная сторона* – сторона препятствия, на которую дует ветер, *подветренная* – находится с другой стороны препятствия, противоположно наветренной. По суточному ходу такие

эффекты чаще всего наблюдаются в период с 12 до 18 часов местного времени и в теплый период года.

Применение FPV-дронов может осуществляться в условиях повышенной влажности и осадков. Снег, дождь и конденсация влаги представляют для FPV-дрона определенную опасность – при попадании влаги на работающую электронику возможно возникновение неисправностей в виде повреждения электронных схем полетного контроллера и другого оборудования, что приводит к внезапному отказу двигателей, потери связи и т.п.

Для защиты электронных компонентов FPV-дрона от попадания влаги необходимо надежно заизолировать разъемы, контакты, элементы электронных схем, платы и герметизировать корпус, в котором они расположены.

3.3 Технические возможности и ограничения по применению БпЛА

Помимо учета метеоусловий в процессе подготовки к полету оператору FPV-дрона необходимо знать технические ограничения БпЛА на время и дальность полета, а также на дальность действия аппаратуры управления и передачи видеосигнала [18].

Время полета – один из наиболее важных параметров, который необходимо учитывать перед полетом. Чем дольше БпЛА находится в воздухе, тем шире возможности его применения. Время полета дрона зависит от производителя, модели и состояния батареи, а также от веса БпЛА и погодных условий. Большинство производителей указывают время полета в своих спецификациях дронов, но они не всегда точны, поскольку эти значения времени рассчитаны при стандартной нагрузке в лабораторных условиях. На практике масса БпЛА отличается от стандартной, так как на него подвешивают дополнительное оборудование (защитные кожухи, аккумулятор с большей емкостью, большую камеру и т. д.).

Рассмотрим одну из методик примерного штилевого расчета времени полета квадрокоптера [17].

Для расчета необходимо учитывать два параметра:

1. Вес БпЛА и его полезной нагрузки;
2. Размер и емкость аккумуляторной батареи.

Очевидно, что тяжелый БпЛА с меньшей емкостью батареи будет иметь меньшее время полета по сравнению с более легким дроном с относительно большей емкостью батареи.

Прежде чем перейти к формуле для расчета времени полета, необходимо определить несколько переменных.

Общий полетный вес ($G_{\text{пол}}$), кг – это вес БпЛА непосредственно перед взлетом. Он включает в себя вес самого БпЛА, любых дополнительных аксессуаров, полезной нагрузки и аккумулятора.

Среднее потребление тока (I_{CP}), А – это средний ток, потребляемый всеми двигателями от батареи. Используется среднее значение, так как фактическое потребление тока сильно различается на разных этапах полета и зависит от

режима работы (полет на максимальных оборотах потребляет больше тока, чем плавный полет). Чтобы учесть вариации, используется среднее значение.

Удельная мощность ($P_{уд}$), Вт/кг – отношение мощности двигателя к массе используется для того, чтобы описать, какая электрическая мощность требуется двигателям для подъема одной единицы веса. По сути, это параметр, который зависит от КПД двигателя [18].

Бесщеточные двигатели имеют значение от 80 до 120 Вт на кг, а щеточные двигатели имеют более высокое значение около 150-180 Вт на кг. Чем эффективнее двигатели, тем меньшая мощность требуется для подъема 1 кг веса. Для расчета можно использовать следующие значения: *бесщеточные двигатели* – 100 Вт/кг, *щеточные двигатели* – 170 Вт/кг.

Общее напряжение аккумуляторной батареи ($U_{АКБ}$) [В] указано в маркировке на корпусе АКБ и зависит от конфигурации ячеек (банок) в батарее. Выходное напряжение остается постоянным на протяжении большей части работы батареи (оно сильно падает, когда батарея разряжается ниже определенного значения).

Емкость батареи (C), Ач – это ее способность накапливать электрический заряд. Емкость аккумулятора указана в маркировке на корпусе АКБ и выражается в миллиампер-часах (mAч).

Предел разрядки батареи (D_{pp}), % – предельная глубина разрядки батареи. Для расчета используется значение по умолчанию 80%, это означает, что будет использовано только 80% от общей емкости для расчета времени полета, при этом на АКБ останется 20% в качестве запаса прочности.

Порядок расчета времени полета

1. Рассчитать средний ток, который двигатели будут потреблять от батареи, чтобы поддерживать общий полетный вес:

$$I_{CP} = G_{ПОЛ} \cdot (P_{уд} / U_{АКБ}). \quad (3.3)$$

2. Получив средний ток, рассчитать время полета БПЛА в часах.

$$T_{ПОЛ} = C \cdot D_{pp} / I_{CP}. \quad (3.4)$$

Расчет дальности действия приемо-передающей аппаратуры FPV-дрона является не менее важным, чем расчет времени и дальности полета. Приведенные ниже методики можно использовать как для командной радиолинии, так и для передачи FPV-видеосигнала.

В радиосвязи применяются следующие формулы для определения дальности прямой радиовидимости D , км:

для частот до 1 ГГц

$$D = 4,12 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right), \quad (3.5)$$

для частот свыше 1 ГГц

$$D = 3,57 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right), \quad (3.6)$$

где h_1 – высота антенны пульта, м; h_2 – высота антенны БпЛА, м.

Формулы (3.5) и (3.6) можно использовать для примерной оценки дальности радиосвязи, что, как правило, является достаточным условием для определения дальности связи для телеметрии.

Рассмотрим методику оценки *дальности передачи видеопотока* с FPV-дрона на приемник видеосигнала, находящийся у оператора. Методика построена на определении энергетического баланса линии. Обычно максимальная дальность связи определяется минимальным уровнем сигнала на входе приемника. При расчетах используются значения 7-13 дБ.

Энергетический баланс линии определяется на основе следующих параметров:

- коэффициентов усиления антенн приемника и передатчика;
- выходной мощности видеопередатчика;
- чувствительности видеоприемника.

Для проведения расчетов нужно предварительно эти параметры перевести в децибелы [дБ].

Коэффициенты усиления приемной антенны – это число, показывающее, во сколько раз активная мощность на входе приемника при данной антенне будет больше активной мощности на его входе в случае применения ненаправленной (изотропной) антенны.

Коэффициенты усиления передающей антенны – это отношение мощности на входе эталонной ненаправленной (изотропной) антенны к мощности, подводимой ко входу рассматриваемой антенны, при условии, что обе антенны создают в данном направлении на одинаковом расстоянии равные значения напряженности поля, т.е. характеризует способность антенны концентрировать энергию сигнала в определенном направлении.

Коэффициенты усиления антенных систем FPV-дрона зависят от их конструкции и измеряются в изотропных децибелах [дБи].

Выходная мощность видеопередатчика – это средняя мощность радиосигнала, подводимая к передающей антенне, обычно указывается в милливаттах – [мВт (mW)], но это значение можно перевести в децибел-милливатты [dBm (дБм)], используя следующие выражения:

$$P_{(\text{дБи})} = 10 \cdot \lg(P_{(\text{мВт})} / 1\text{мВт}), \quad (3.7)$$

$$P_{(\text{мВт})} = 1\text{мВт} \cdot 10^{\frac{P_{(\text{дБи})}}{10}}. \quad (3.8)$$

Для конвертации мВт в дБм можно воспользоваться таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – Перевод абсолютной мощности сигнала (мВт) в относительные единицы (дБм)

мВт (mW)	дБм (dBm)
0.01	-20
0.1	-10
1	0
1.2589	1
1.5849	2
1.9953	3
3.1628	5
10	10
100	20
1000 (1W)	30
1500 (1.5W)	31.76
2000 (2W)	33.01

Чувствительность видеоприемника – определяет минимальную радиочастотную мощность, которую может обнаружить приемник. Чем он более чувствителен, тем больше отрицательное число (см. таблицу 3.1). -85дБ – это хорошее значение для приемника очков или шлема.

Имея эти четыре значения, можно приблизительно рассчитать дальность FPV, чтобы знать, на каком расстоянии будет видеосвязь.

По идее максимальная дальность будет, когда мощность сигнала падает до 0 дБм, но видеоприемники (в очках или шлеме) в этот момент уже перестают что-либо принимать и появляются сильные шумы.

Чтобы обеспечить надежное соединение, обычно принимают минимальный уровень сигнала L_{CB} (*Граница приема – LM (Link Margin)*). Обычно 10 – 12 дБ.

Энергетический баланс линии $L_{\Sigma don}$ или FSPL (Free Space Path Loss) определяется в дБм как:

$$L_{\Sigma don} = G_{aПРМ} + G_{aПРД} + P_{ПРД} - P_{ПРМ}, \quad (3.9)$$

где $G_{aПРМ}$ – коэффициент усиления приемной антенны, дБи; $G_{aПРД}$ – коэффициент усиления передающей антенны дБи; $P_{ПРД}$ – мощность (энергопотенциал) передатчика, дБм; $P_{ПРМ}$ – чувствительность приемного тракта, дБм.

Потери распространения в свободном пространстве:

$$L_{CB} = 20\lg(d) + 20\lg(f), \quad (3.10)$$

где f – частота, МГц; d – длина радиолинии, м.

Выражение для определения дальности связи в км:

$$d_{CB} = 10^{\left[\frac{(L_{\Sigma don} - L_{CB} - 32,44)}{20} - \lg(f) \right]}, \quad (3.11)$$

Далее приведем пример расчета дальности связи для FPV-системы.

Зададим следующие параметры приемных и передающих устройств:
 мощность видеопередатчика – 25 мВ (14 дБм);
 коэффициент усиления антенны видеопередатчика – Lollipop V2 (2,5 дБм);
 чувствительность приемника очков (шлема) – True-D (5 мкВ \approx -93 дБм);
 коэффициент усиления антенны приемника очков – Lollipop V2 (2,5 дБи);
 потери в свободном пространстве (граница приема) L_{CB} – 10 дБм.

Подставив значения в (3.9) и (3.11) рассчитаем дальность связи (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Пример расчета дальности связи

L_{CB} , дБм	f , МГц	$G_{\text{ПРМ}}$, дБи	$G_{\text{ПРД}}$, дБи	$P_{\text{ПРД}}$, дБм	$P_{\text{ПРМ}}$, дБм	d_{CB} , км
10	5800	2,5	2,5	14	-93	0,518289

Если чувствительность приемника указана в микровольтах, мкВ, нужно перевести их децибел-милливатты дБм по формуле:

$$P_{\text{ПРМ}} = U^2 / R, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{ПРМ}}$ – уровень, дБм; U – напряжение, мкВ; R – волновое сопротивление, Ом (в наших расчетах принимается за 50 Ом).

Для того чтобы увеличить дальность передачи, необходимо изменить отдельные параметры линии. Можно увеличить мощность передатчика или чувствительность приемника, или использовать антенну для приемника с более высоким коэффициентом усиления. Выполнение любого или нескольких из этих пунктов в теории увеличит дальность приема сигнала. Также для увеличения дальности можно использовать видеопередатчики и приемники с более низкой частотой, например, 1,3 ГГц вместо 5,8 ГГц.

Расчеты, приведенные в пособии, пригодны для идеальных условий (открытой местности). В реальной жизни, из-за влияния внешних факторов и ослабления сигнала, дальность будет меньше расчетной.

Основные причины, вызывающие ослабление сигнала:

- помехи и шум в окружающей среде или от других пилотов;
- мощность видеопередатчика падает, при нагреве;
- зависимость от ориентации антенны:
 - при 45 градусах = -3 дБ;
 - при 90 градусах = -20дБ;
 - две линейные антенны, направленные друг на друга = -30 дБ;
- зависимость от поляризации антенны:
 - линейная в круговая = -3 дБ;
 - RHCP к LHCP = -20дБ;
 - потери в коаксиальном кабеле и адаптерах SMA, MMCX, UFL – 0,1-0,3 дБ.

Еще один способ увеличения дальности приема сигнала – использование антенн с узкой диаграммой направленности вместо всенаправленных, однако за пределами узкого сектора мощность сигнала значительно падает. То есть необходимо постоянно направлять антенну приемника на БПЛА.

Таким образом, помимо увеличения выходной мощности видеопередатчика, существует возможность увеличить дальность приема FPV изменения другие параметры системы [1].

Основным показателем состояния радиоканала и качества радиоприема является отношение сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника. Чем этот показатель выше, тем выше вероятность правильного приема, ниже вероятность ошибок, выше качество и устойчивость связи.

На показатель ОСШ влияют следующие факторы:

- мощности излучения передатчиков пульта и квадрокоптера;
- чувствительность приемников пульта и квадрокоптера;
- согласованность антенн с передатчиками;
- поляризация;
- коэффициент направленного действия (КНД) антенн;
- емкость батареи питания.

Для повышения показателя ОСШ и, следовательно, повышения устойчивости связи FPV-дронов необходимо:

1. Повышать мощности передатчиков насколько это возможно, исходя из массогабаритных характеристик оборудования.

2. Использовать приемники с более высокой чувствительностью или использование разнесенного приема путем применения приемника с двумя ВЧ-трактами (Diversity FPV), двумя антеннами и одним видеовыходом. Переключение между трактами происходит автоматически – по более высокому уровню сигнала.

3. Согласование антенны приемника с передатчиком для того, чтобы вся энергия ВЧ-колебаний на выходе передатчика максимально переходила в энергию излучаемых в пространство электромагнитных волн.

Штатные антенны очень часто не согласованы с передатчиком.

Проверить в полевых условиях согласованность антенн с передатчиком можно с применением специального прибора, измерителя уровня мощности радиосигнала – immersionRC-метра.

Измерение уровня радиосигнала производится следующим образом:

- эталонную antennу подключаем к передатчику, тестируемую antennу – к RC-метру;
- измеряем относительный уровень приема на входе RC-метра;
- выбираем antennу, обеспечивающую максимальные показания RC-метра.

Потери мощности в antennе возможно оценить по **коэффициенту стоячей волны** (KСВ от англ. standing wave ratio, SWR). Это показатель, характеризующий качество согласования нагрузки (антенны) с линией передачи (фидером), по которой энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к antennе. Чем он меньше, тем лучше. Идеальное значение – 1, но на практике оно не достижимо из-за потерь сигнала в кабеле и разъемах. Рабочим считается значение 1.1 – 1.5. Если значение KСВ будет слишком высоким, то снижается дальность связи и происходит перегрев передатчика, что опасно выходом его из строя. Значение KСВ зависит от многих факторов, в частности:

- от соотношения между волновым сопротивлением линии передачи и сопротивлением нагрузки;

- от наличия неоднородностей в линии передачи, например, соединений, повреждений, изгибов малого радиуса;
- от качества разделки кабеля в высокочастотном соединителе (разъеме) линии передачи на стороне нагрузки.

Измерять КСВ можно с использованием КСВ-метра.

4. При выполнении полетов необходимо, чтобы приемная и передающая антенны работали в одной поляризации.

Поляризация характеризует расположение вектора напряженности электрического поля в пространстве при распространении электромагнитной волны. Для управления FPV-дронами применяют, как правило, либо штыревые антенны, либо клеверные антенны. То есть, если полет планируется проводить в одной плоскости, то можно использовать штыревые антенны, если задание предусматривает выполнение полета в разных плоскостях, то целесообразнее использовать antennу типа «клевер».

5. При выполнении полетов необходимо учитывать коэффициент направленного действия антенн. Коэффициент направленного действия характеризует направленные свойства антенны и определяется ее диаграммой направленности. Если полет планируется производить вокруг точки взлета, то необходимо использовать либо всенаправленную antennу (штырь, клевер), либо узконаправленную (детекторную, спиральную, патч-антенну). В последнем случае необходимо отслеживать пространственное положение дрона и в соответствии с ним производить наведение антенны на дрон по азимуту и высоте. Если же полет планируется проводить в одном секторе, то целесообразнее использовать узконаправленную antennу [21].

Использование качественных приемников и передатчиков, хороших антенн, правильной поляризации, коэффициента направленного действия антенн и их ориентации позволяет существенно увеличить дальность приема видео с FPV-дрона.

Контрольные вопросы

1. Объясните принципы работы системы управления квадрокоптером и действия оператора (перемещение органов управления) при наклоне и перемещении вперед(назад).

2. Объясните принципы работы системы управления квадрокоптером и действия оператора (перемещение органов управления) при наклоне и перемещении влево(вправо).

3. Объясните принципы работы системы управления квадрокоптером и действия оператора (перемещение органов управления) при наборе высоты (снижении).

4. Объясните принципы работы системы управления квадрокоптером и действия оператора (перемещение органов управления) при повороте влево (вправо).

5. Какие погодные факторы могут оказывать влияние на выполнение задачи квадрокоптером?

6. Какие параметры есть у облачности?

7. Необходимые условия для возникновения обледенения.
8. Что такое визуальная ориентировка?
9. Как влияют высота и скорость полета на визуальную ориентировку?
10. Что такие характерные ориентиры и как осуществляется визуальная ориентировка в их отсутствие?
11. От каких параметров зависит время полета квадрокоптера?
12. От каких параметров зависит максимальная дальность радиосвязи в FPV-системе?
13. Что такое отношение сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника?
14. Какие факторы влияют на отношение сигнал/шум (ОСШ)?
15. Назовите способы повышения устойчивости связи.

4 ПОДГОТОВКА FPV-ДРОНА К РАБОТЕ И НАСТРОЙКА ОБОРУДОВАНИЯ

Сборка и настройка БпЛА – это техническая задача, требующая знаний и навыков в области электроники, специализированного программного обеспечения и радиомонтажных работ. Процесс сборки выполняется путем подбора компонентов с учетом их программно-аппаратной совместимости. Типовая схема размещения комплектующих FPV-дrona и порядок их подключения представлены на рисунке 4.1 [19].

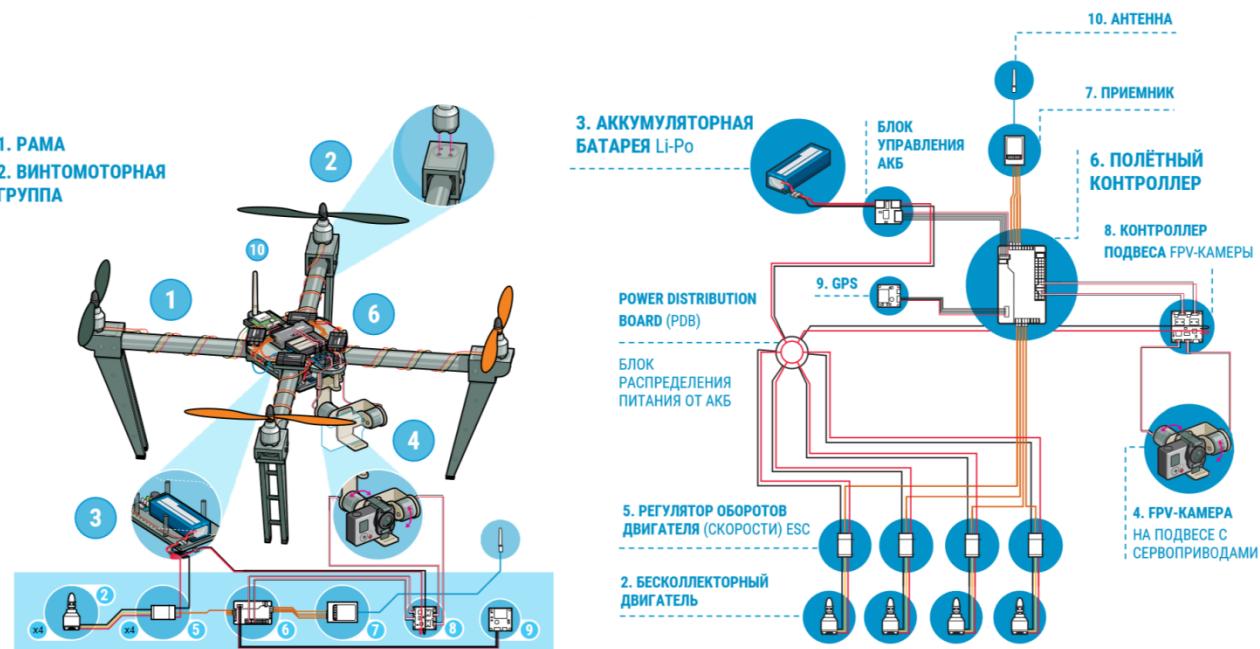


Рисунок 4.1 – Типовая схема размещения комплектующих БпЛА и их подключение

4.1 Сборка FPV-дрона и подготовка к полету

Процесс сборки FPV-дрона зависит от конструктивных решений и используемых комплектующих. Однако последовательность основных технологических операций сборки для большинства дронов данного типа в целом одинакова.

В общем виде сборка FPV-дрона осуществляется в следующей последовательности:

1. Сборка рамы.
2. Установка двигателей и электронных регуляторов оборотов.
3. Монтаж электрической проводки и подключение PDB.
4. Установка полетного контроллера.
5. Установка и подключение приемника.
6. Настройка пульта управления.
7. Сопряжение передатчика пульта управления с приемником.

8. Установка камеры, видеопередатчика, сигнализатора и другого периферийного оборудования.

9. Окончательная сборка рамы и фиксирование проводки и компонентов дрона.

10. Подключение аккумуляторной батареи.

Рассмотрим этапы сборки более подробно.

1. *Сборка рамы* начинается с ее подготовки. Перед сборкой рекомендуется подготовить раму. Отшлифовать острые края деталей из углеродного волокна, особенно на внешней стороне лучей и пластин. Острые края могут повредить провода и порезать ремешок аккумулятора при аварии. Обработанные края также могут помочь снизить вероятность расслоения листа углеродного волокна при авариях. После шлифовки нужно вымыть все детали из углеродного волокна в мыльной воде, чтобы удалить остатки угольной пыли от резки, сверления и шлифования (необходимо учитывать, что углеродное волокно проводит ток). Затем необходимо тщательно высушить детали.

Сборку рамы необходимо начать с размещения лучей и фиксатора лучей поверх передней нижней пластины. Первым делом собирается нижняя часть с лучами (стойки остаются в стороне, чтобы не затруднять пайку). Для затягивания нижних элементов требуется ключи шестигранники и наборы головок к ним [20]. Производится фиксирование пластиковых стоек для крепления сборки полетного контроллера, платы распределения питания, электронного регулятора оборотов двигателей и иных компонентов.

2. *Установка двигателей* производится путем их прикручивания к раме болтами. При этом длина болтов подбирается таким образом, чтобы не повредить обмотку двигателя (рисунок 4.2). Соединения обрабатываются фиксатором резьбы для минимизации риска самостоятельного откручивания.

В случае если *электронные регуляторы оборотов* не интегрированы в плату PDB, а поставляются отдельно для каждого двигателя, то они устанавливаются и фиксируются на лучах.



Рисунок 4.2 – Карбоновая рама FPV-дрона с бесколлекторными двигателями

3. Элементы конструкции БпЛА соединяются между собой шлейфами и проводами. Соединение комплектующих FPV-дрона проводами осуществляется на всех последующих этапах сборки. *Монтаж электрической проводки* начинается с измерения и подгонки длины проводов (с учетом изгибов), необходимых для удобства монтажа. Провода должны быть длиннее рамы на несколько сантиметров.

Схема проводки может выглядеть следующим образом (рисунок 4.3):

- плата PDB запитывается от аккумулятора;
- питание электродвигателей осуществляется от ESC через три провода;
- питание полетного контроллера (+5В) осуществляется от PDB через соответствующие выходы;
- приемник запитывается (+5В) от полетного контроллера и подключается через UART2 к нему же;
- питание видеопередатчика осуществляется от PDB, а прием видео для передачи осуществляется с полетного контроллера;
- питание камеры (+5В) осуществляется от видеопередатчика или полетного контроллера.

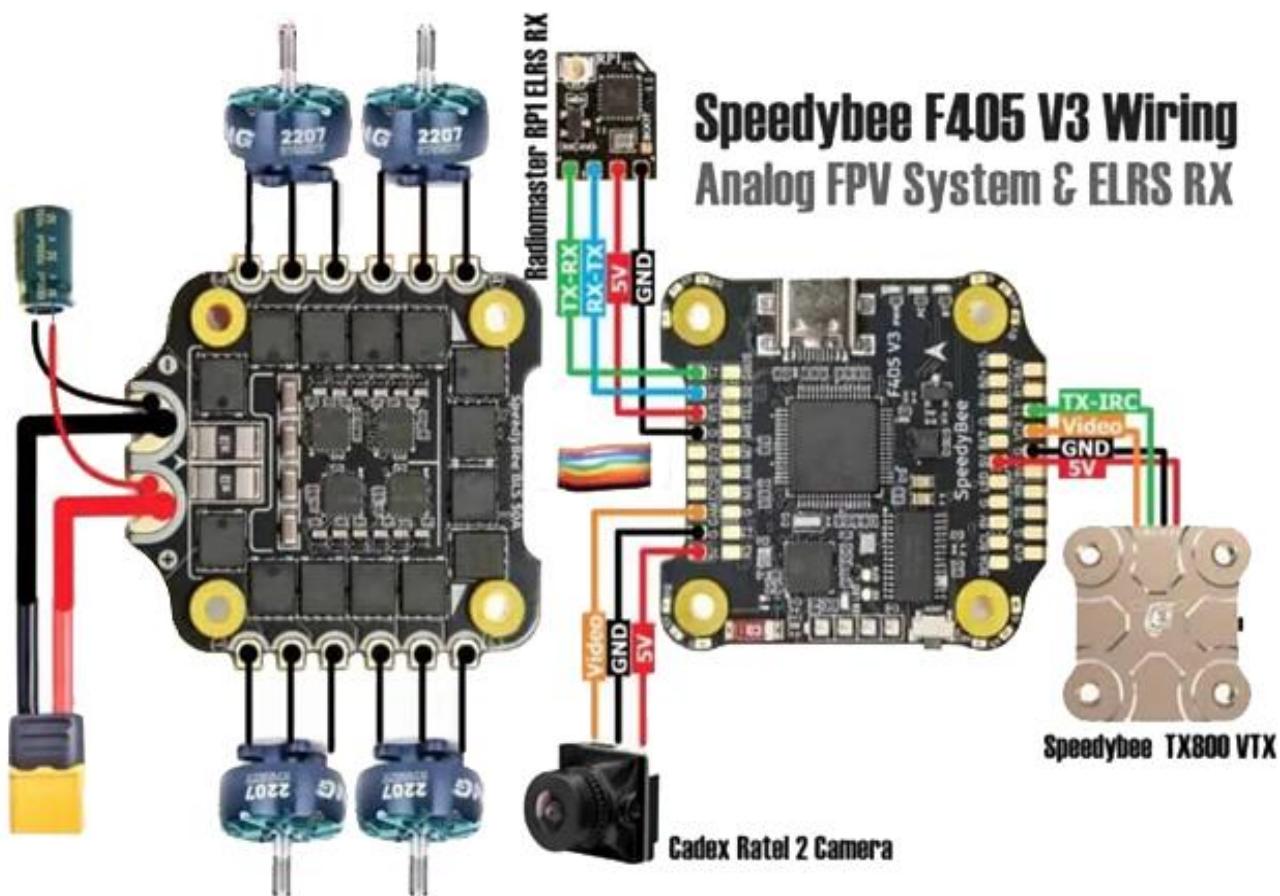


Рисунок 4.3 – Схема подключения компонентов БПЛА к полетному контроллеру

Необходимо соблюдать порядок и полярность подключения электродвигателей к ESC в соответствии с их расположением на раме (рисунок 4.4). Если изменить порядок или полярность – двигатель будет вращаться в противоположном направлении.

Места пайки обязательно изолируются термоусадочной трубкой. Перед пайкой подготавливается термоусадочная трубка требуемого размера и надевается на провода. И только после этого начинается работа с паяльником. Далее необходимо нагреть термоусадочную трубку для изолирования мест

соединения. После пайки желательно покрыть все платы изолирующим лаком, причем в несколько слоев.

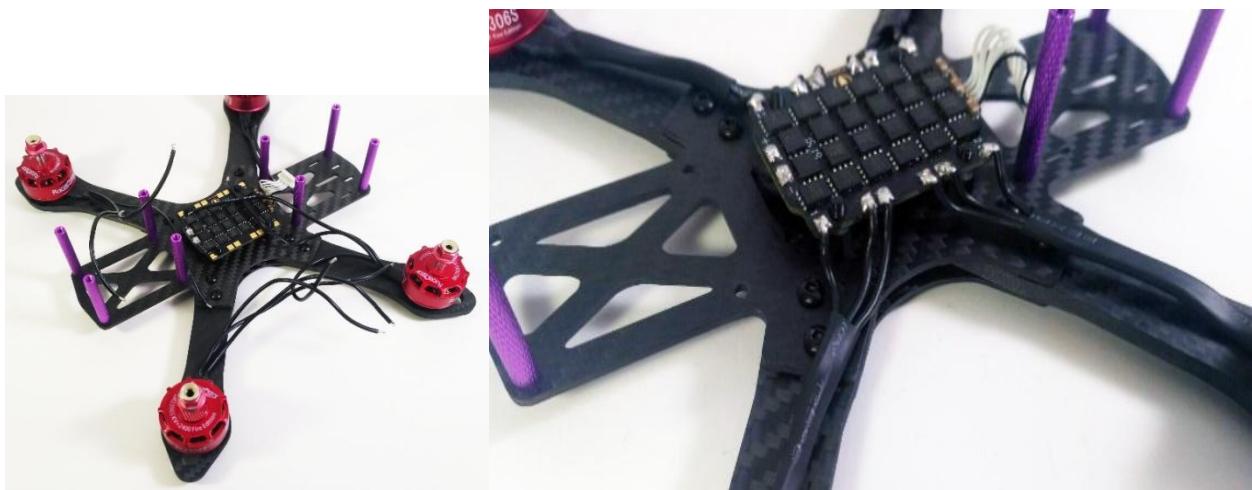


Рисунок 4.4 – Места крепления электродвигателей на лучах рамы и место пайки электродвигателей к ESC

В процессе монтажа не допускать, чтобы провода выступали за пределы рамы. Необходимо тщательно подбирать их длину и фиксировать стяжками.

Далее к силовым контактным площадкам PDB необходимо припаять провод батареи (разъем XT60) и конденсатор на 1500 мкФ, который входит в комплект поставки, соблюдая правильную полярность (рисунок 4.5). Конденсатор используется для уменьшения скачков напряжения и электрических помех, создаваемых электронными регуляторами и двигателями.



Рисунок 4.5 – Монтаж силового провода и конденсатора БПЛА к плате PDB

4. Установка полетного контроллера начинается с его фиксирования на раме. В полете ПК испытывает вибрации и шумы. Эти воздействия негативно влияют на показания некоторых датчиков. Поэтому при установке следует использовать смягчающие прокладочные материалы в местах крепления к раме [6]. В комплектации полетного контроллера должны присутствовать амортизаторы, позволяющие минимизировать негативное влияние колебаний и

вибраций. Полетный контроллер подключается к PDB с помощью шлейфа (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Монтаж полетного контроллера к PDB

5. Установка и подключение приемника к полетному контроллеру (рисунок 4.7). Для подключения приемника необходимо к соответствующей контактной площадке на ПК припаять три провода: белый – сигнальный, красный – питание +5 В и черный – заземление. Приемник следует располагать в термоусадке.

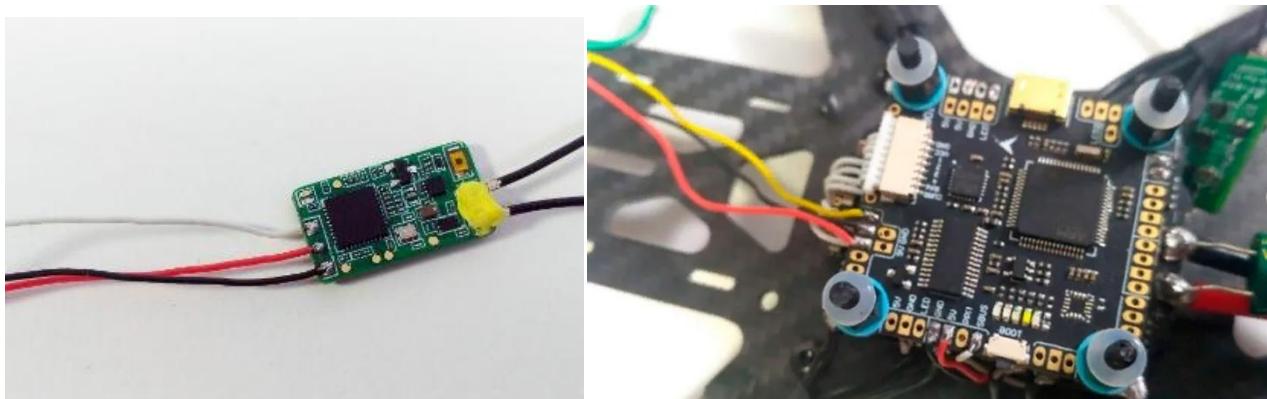


Рисунок 4.7 – Подключение приемника к полетному контроллеру

Приемник крепится таким образом, чтобы антенна была снаружи рамы, чтобы исключить экранирование радиосигнала элементами конструкции БПЛА. У большинства приемников с частотой 2,4 ГГц используются две дипольные антенны. Антенны такой конструкции должны устанавливаться под прямым углом друг к другу.

6. Настройка пульта управления производится после установки приемника. В первую очередь для корректной передачи данных между пультом и приемником требуется установить протокол обмена данными в настройках передатчика пульта управления. Протокол устанавливается в меню НАСТРОЙКА (SETUP) для внешнего (External RF), либо внутреннего (Internal RF) модуля передатчика пульта управления (рисунок 4.8). Для

выбранного модуля передатчика с целью установления связи с приемниками ExpressLRS или TBS – установить настройку РЕЖИМ (MODE) в положение CRSF.

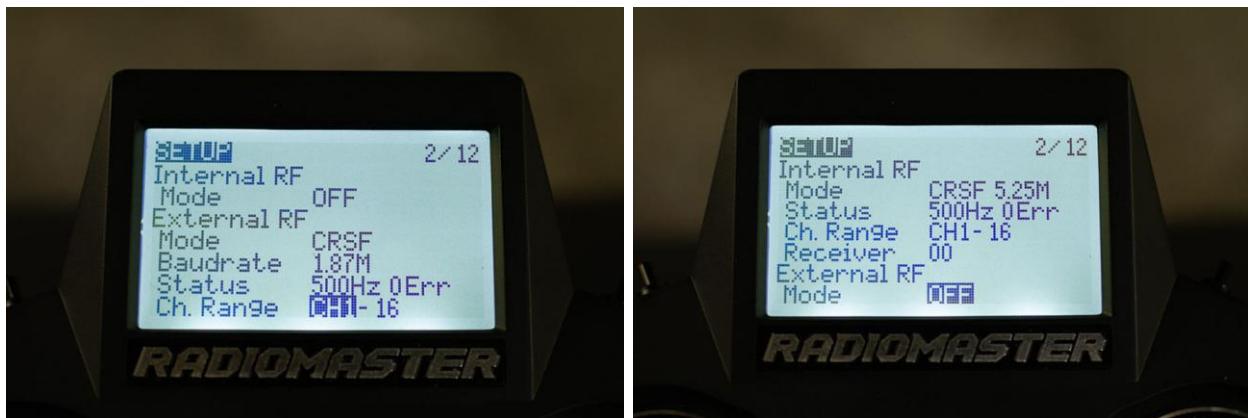


Рисунок 4.8 – Настройки внешнего и внутреннего модуля связи передатчика

Настройка тумблеров на пульте управления выполняется для каждого БпЛА в соответствии с количеством задействованных каналов управления и предпочтениями оператора. Настройки сохраняются в памяти пульта управления. В одном пульте управления может быть сохранено несколько настроек – моделей (по количеству моделей БпЛА или вариантов управления). Предустановленные настройки управления (модель) не имеют назначенных тумблеров, кроме четырех каналов управления стиками. Поэтому если при проверке сигналов на каналах в программе Betaflight Configurator не работают тумблеры, необходимо их назначить во вкладке Mixes в настройках модели аппаратуры. Для переназначения тумблера необходимо выбрать необходимый канал, зажать кнопку выбора и нажать Edit. Затем выбрать Source и назначить тумблер для данного канала (рисунок 4.9).

Важно помнить, что для включения и выключения режима парковки (APM) в протоколах ELRS и TBS необходимо использовать только AUX1 (5й канал) и никакой другой.

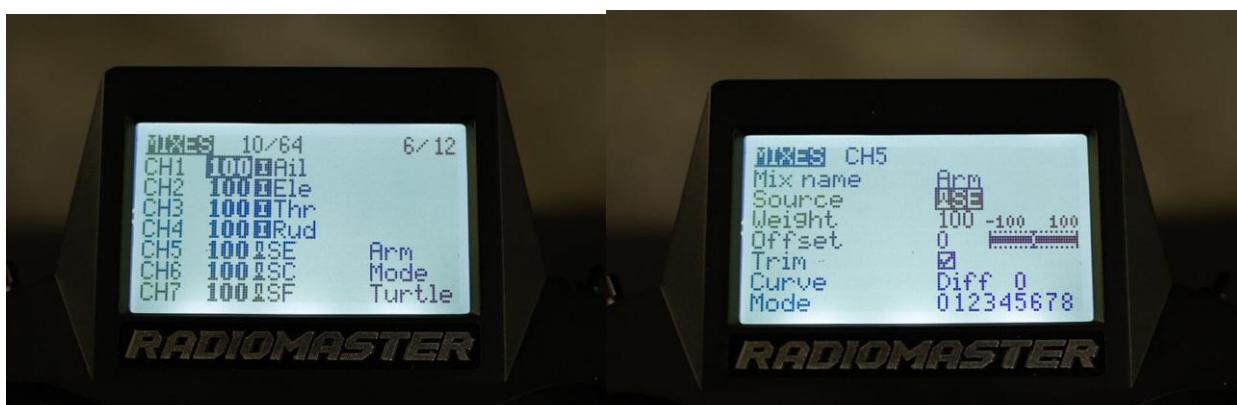


Рисунок 4.9 – Назначение тумблеров на каналы управления

7. Сопряжение передатчика пульта управления с приемником. Для выполнения этой операции необходимо зажать на пульте управления кнопку SYS, перейти в раздел системных настроек и выбрать пункт меню ExpressLRS Lite или TBS Agent Lite. Затем в настройках скрипта (Lua Script) необходимо выбрать пункт WiFi Connectivity, а далее выбрать Enable WiFi. Нажать OK еще раз, чтобы включить раздачу Wi-Fi сигнала на передатчике (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Настройка раздачи Wi-Fi сигнала с передатчика

Далее необходимо подключиться к беспроводной сети ExpressLRS TX с паролем по умолчанию expresslrs (рисунок 4.11).

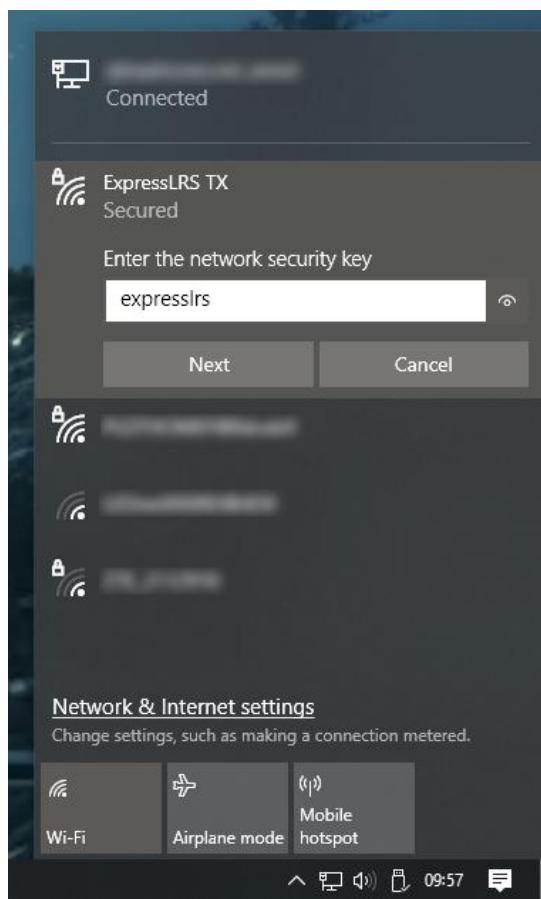


Рисунок 4.11 – Подключение к Wi-Fi сигналу с передатчика

Особое внимание при сопряжении следует уделить настройке программного обеспечения, которое заключается в привязке передатчика с приемником по Wi-Fi. Для этого требуется выполнить настройку одинакового

кодового слова (Binding Phrase) на обоих устройствах. По этому слову приемник будет находить передатчик, следовательно, для того, чтобы к одному передатчику не подключился другой БпЛА, необходимо использовать уникальную символьно-цифровую последовательность. Кодовое слово вводится в меню настроек передатчика (рисунок 4.12), которое должно отобразиться в браузере компьютера при успешном подключении к Wi-Fi сети аппаратуры. После ввода кодового слова необходимо нажать кнопку «сохранить» [10].

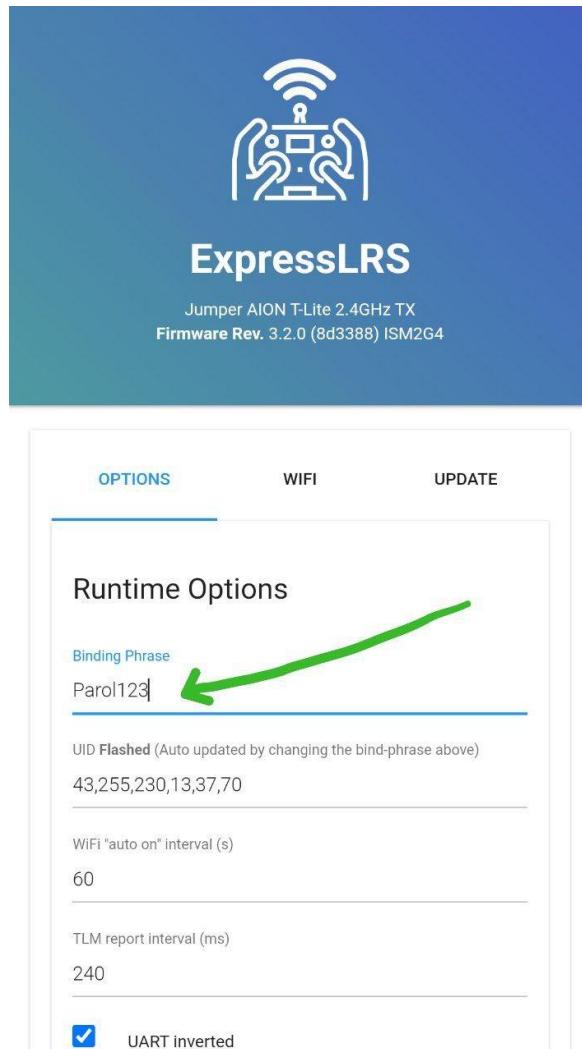


Рисунок 4.12 – Меню настроек кодового слова передатчика

Для назначения кодового слова в прошивку приемника необходимо подать питание на приемник. Если в течение 60 секунд после включения приемника он не соединился с передатчиком, то он автоматически перейдет в режим раздачи Wi-Fi сигнала. При этом зеленый светодиод на приемнике будет быстро мигать зеленым цветом. Процесс ввода кодового слова на приемник аналогичен процессу ввода кодового слова на передатчике.

Больше никаких дополнительных процедур для привязки не требуется, сопряжение будет произведено автоматически, если кодовые слова на передатчике и приемнике совпадают.

8. Установка камеры, видеопередатчика и сигнализатора.
Видеопередатчик подключается к полетному контроллеру методом пайки. Для припаивания проводов видеопередатчика используется схема, представленная на рисунке 4.3.

FPV-камеру лучше запитать либо от платы распределения питания (PDB), либо от видеопередатчика.



Рисунок 4.13 – Монтаж видеопередатчика и камеры на БпЛА

Антенны видеопередатчика крепятся к раме пластиковыми стяжками под прямым углом друг к другу, как показано на рисунке (рисунок 4.14 а) или установкой антенн на V-образном креплении (рисунок 4.14 б).



Рисунок 4.14 – Способы крепления антенн на FPV–дроне:

а) – с использованием пластиковых стяжек; б) – с использованием специального крепления для антенн

Сигнализатор крепится на соответствующие контакты полетного контроллера. Этот элемент предполагает получение звукового сигнала, что облегчает его поиск в случае падения.

9. Окончательная сборка рамы и фиксирование проводки и компонентов дрона является завершающим этапом сборки и заключается в установке верхней пластины и ремешка крепления АКБ. Конденсатор, проводку и другие незакрепленные компоненты БпЛА необходимо прикрепить к неподвижным элементам рамы с помощью нейлоновых стяжек или скотча.

10. Подключение аккумуляторной батареи осуществляется к разъему XT60 с фиксацией к раме ремешком. Аккумулятор может крепиться к корпусу БПЛА как снизу, так и сверху (рисунок 4.15).

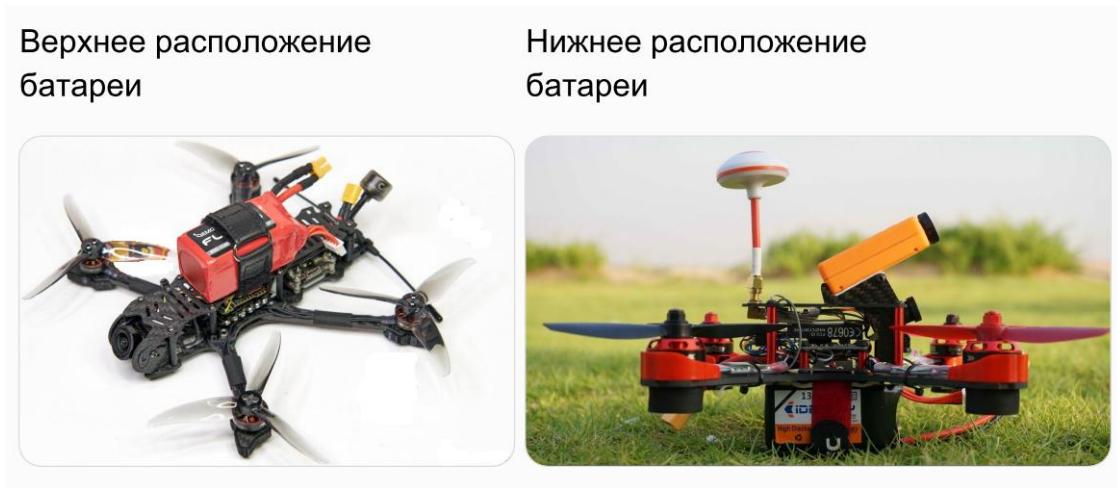


Рисунок 4.15 – Верхнее и нижнее расположение аккумуляторной батареи

Следует обратить внимание на то, что монтаж лопастей не производится до настройки полетного контроллера.

4.2 Подготовка FPV-дрона к работе и настройка каналов управления и передачи данных

После сборки всех компонентов квадрокоптера на ПК устанавливается (обновляется) и настраивается программное обеспечение (прошивка). Эта процедура выполняется с использованием специальной программы – конфигуратора. Существует несколько видов программ конфигураторов, предназначенных для настройки ПК, каждая из них поддерживает аппаратные средства различных производителей и различные модели одного производителя. Наиболее востребованной для настройки ПК FPV-дронов является Betaflight Configurator – это программа, которая позволяет получить доступ к ПК и всем его датчикам, загрузить в него программное обеспечение (прошивку), а также настроить его конфигурацию. Рассмотрим процесс настройки ПК с использованием Betaflight Configurator версии 10.9.0.

Для установки ПО на квадрокоптер необходимо следующее оборудование [19]:

- квадрокоптер с полетным контроллером, который поддерживает Betaflight Configurator версии 10.9.0;
- кабель MicroUSB;
- компьютер с доступом в Интернет.

Настройка ПК квадрокоптера начинается с запуска программы Betaflight Configurator (при этом полетный контроллер не подключается). На первой вкладке программы (рисунок 4.16) приведен список драйверов, которые

необходимо установить. Устанавливаются все предложенные программой драйверы [1].

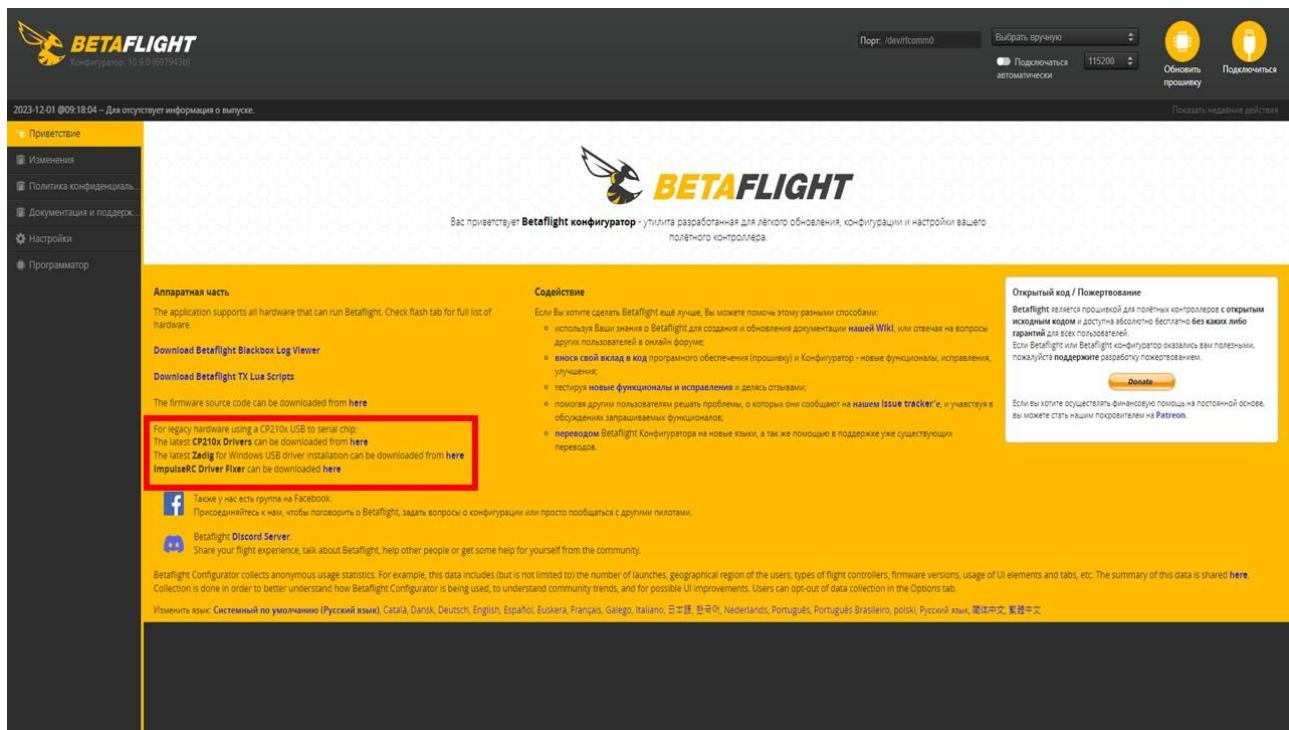


Рисунок 4.16 – Интерфейс программы Betaflight со списком драйверов

Для того чтобы обновить встроенное программное обеспечение (прошивку) ПК, необходимо зажать и удерживать кнопку «Boot» на плате ПК, и в этот же момент подсоединить его к компьютеру. При нажатии на кнопку запускается режим «Bootloader», то есть ПК переводится в режим обновления программного обеспечения. После подключения USB-кабеля к компьютеру и полетному контроллеру должен постоянно гореть только один синий светодиод. Если второй светодиод мигает, то в настройках допущена ошибка.

Прежде всего требуется убедиться в том, что установлен режим обновления прошивки DFU (маркер 1 на рисунке 4.17). Если этого не произошло, необходимо повторить предыдущие шаги. Также проблемы могут возникнуть из-за некорректно установленных драйверов.

Перейти на вкладку «Программатор» (маркер 2 на рисунке 4.17). Из выпадающего списка выбрать имеющийся полетный контроллер (маркер 3 на рисунке 4.17). В следующем выпадающем списке необходимо выбрать последнюю стабильную версию прошивки (маркер 4 на рисунке 4.17).

Нажать на переключатель «Полное стирание чипа» (маркер 5 на рисунке 4.17).

При подключенном интернете нажать кнопку «Загрузить прошивку (Online)» (маркер 6 и 7 на рисунке 4.17). Дождаться загрузки актуальной прошивки. После этого кнопка «Загрузить прошивку» станет активной.

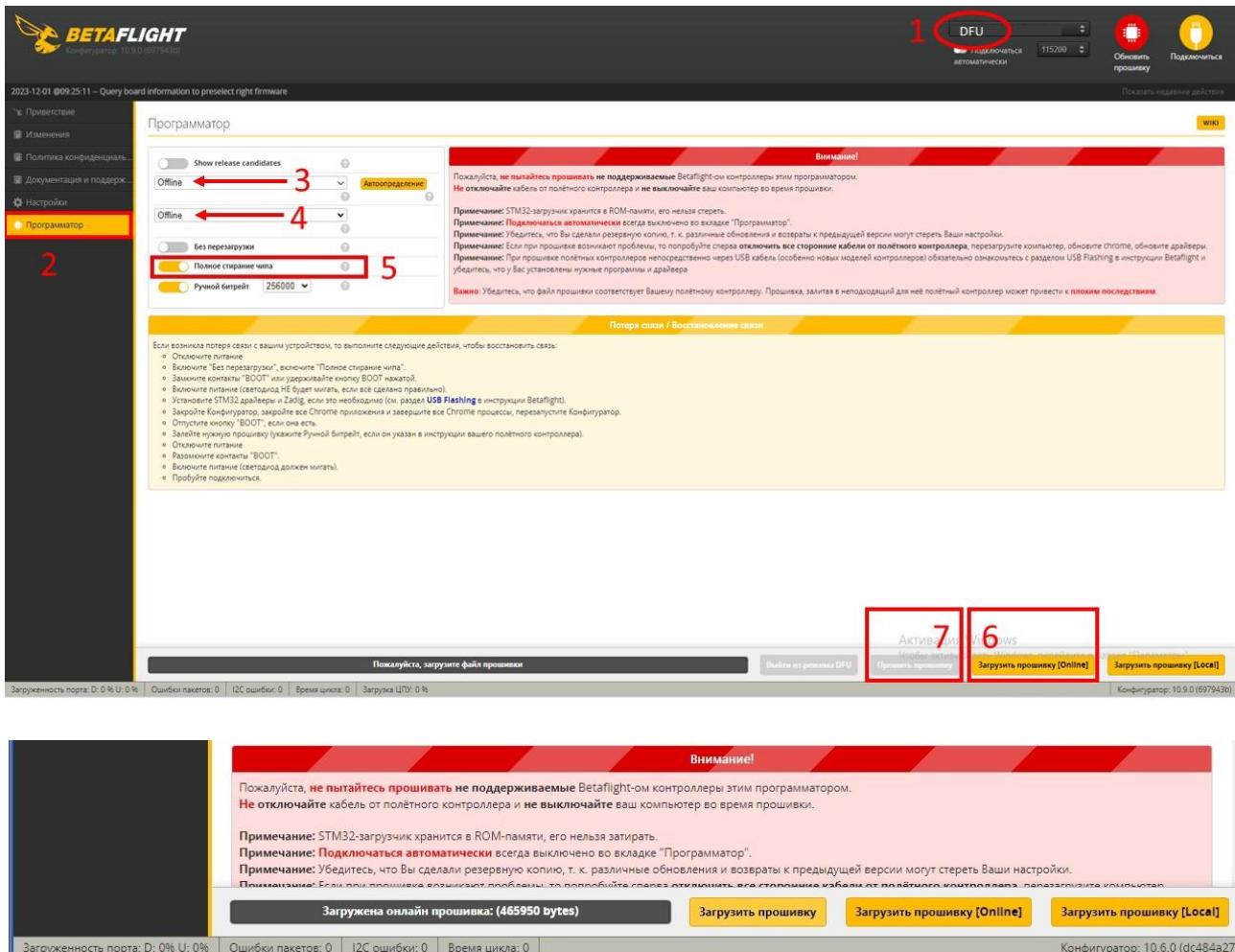


Рисунок 4.17 – Режим обновления прошивки полетного контроллера

Нажать кнопку «Загрузить прошивку» и дождаться окончания ее загрузки в ПК. Затем отключить и подключить ПК снова, но уже без зажатой кнопки boot. ПК должен мигать разноцветными светодиодами.

Нажать кнопку «Подключить». Вверху окна включится режим эксперта.

Перейти на вкладку «Система», и откалибровать гироскоп/акселерометр (рисунок 4.18). Для этого требуется установить БпЛА на ровную поверхность и нажать «Калибровать акселерометр» [1]. В результате калибровки стрелка на полетном контроллере, обозначающая направление движения, должна совпадать с направлением модели дрона в окне отображения положения. Правильное положение откалиброванного акселерометра показано на рисунке 4.19.

Если не получилось откалибровать гироскоп/акселерометр, то перейти во вкладку «конфигурация» и программно повернуть гироскоп до тех пор, пока стрелка не совпадет с направлением модели дрона (рисунок 4.19), а также проверить, чтобы был включен акселерометр (рисунок 4.20).

Далее перейти на вкладку «Конфигурация» и включить параметр Dynamic_Filter для фильтрации данных, выходящих с гироскопа на регулятор оборотов. На рисунке 4.21 указан порядок включения параметра Dynamic_Filter.

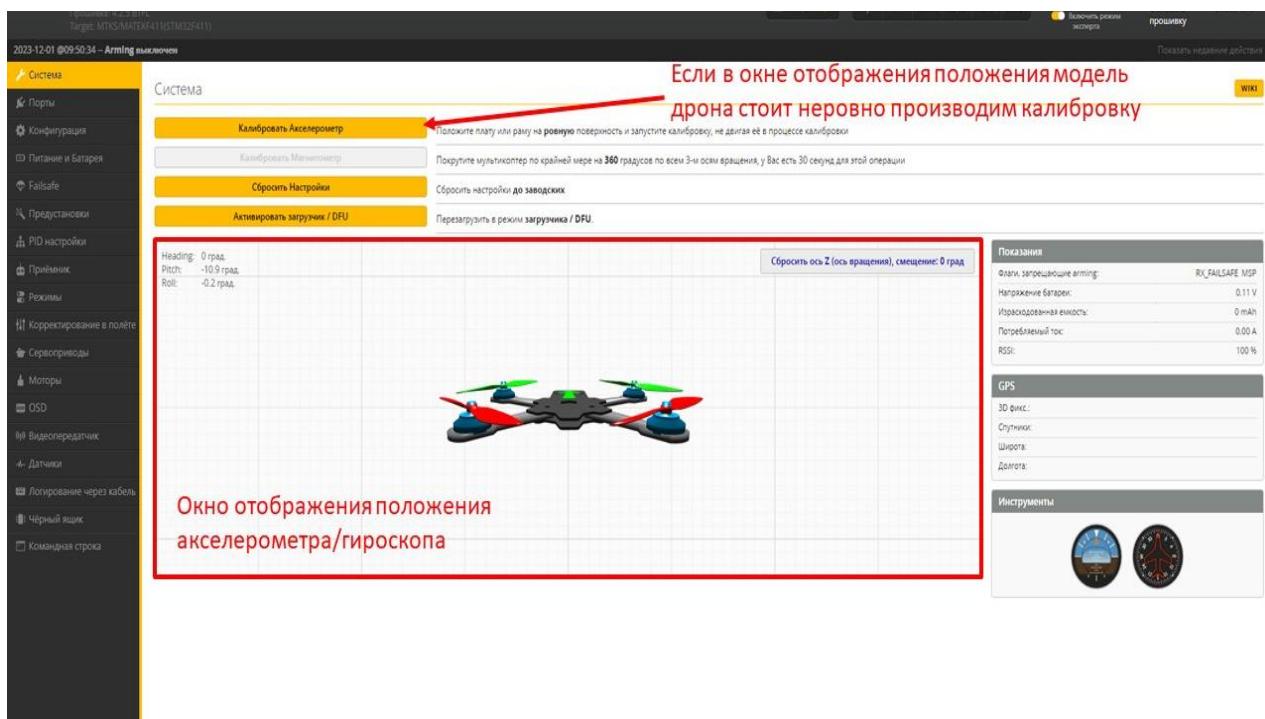


Рисунок 4.18 – Режим калибровки гироскопа/акселерометра

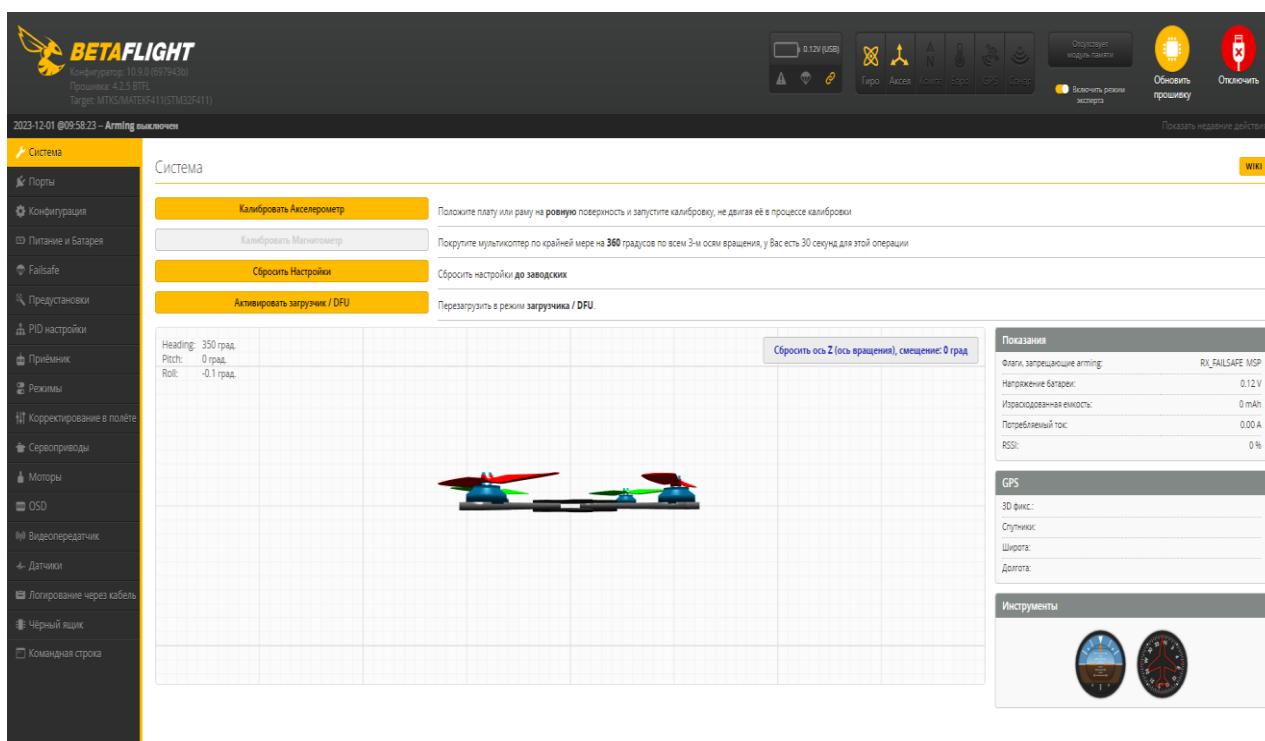


Рисунок 4.19 – Режим калибровки гироскопа/акселерометра

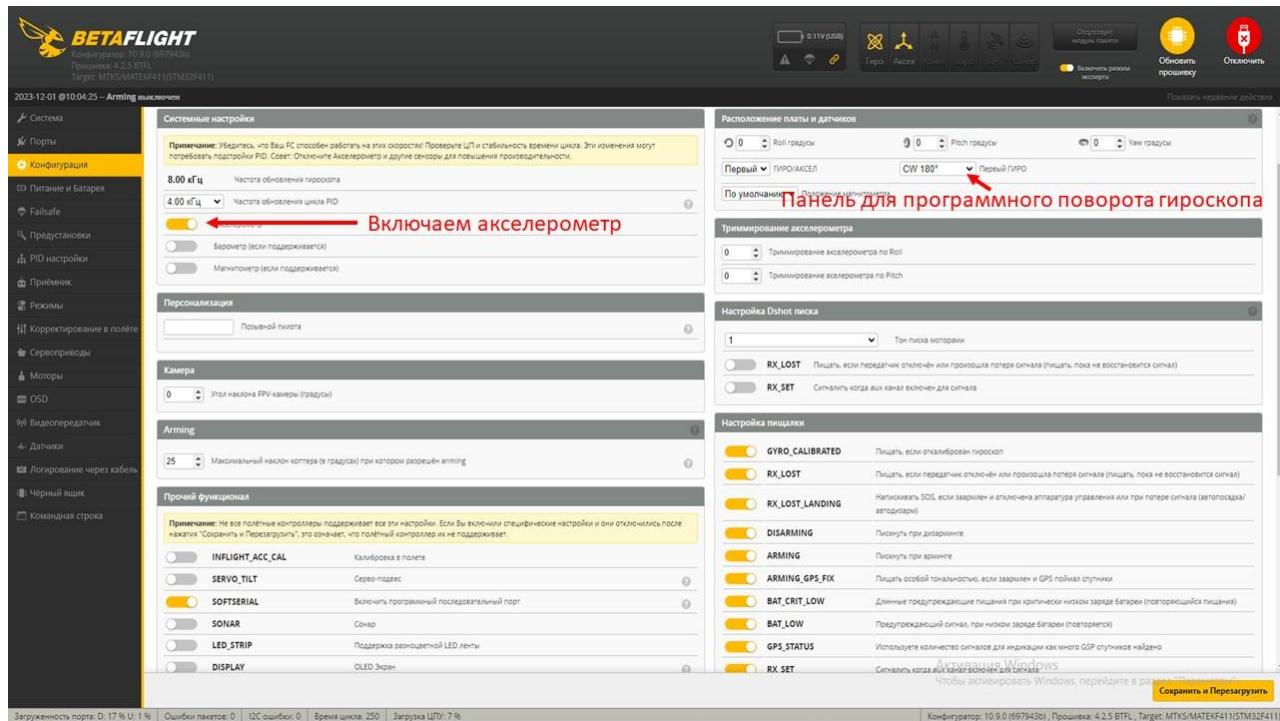


Рисунок 4.20 – Режим включения/выключения акселерометра

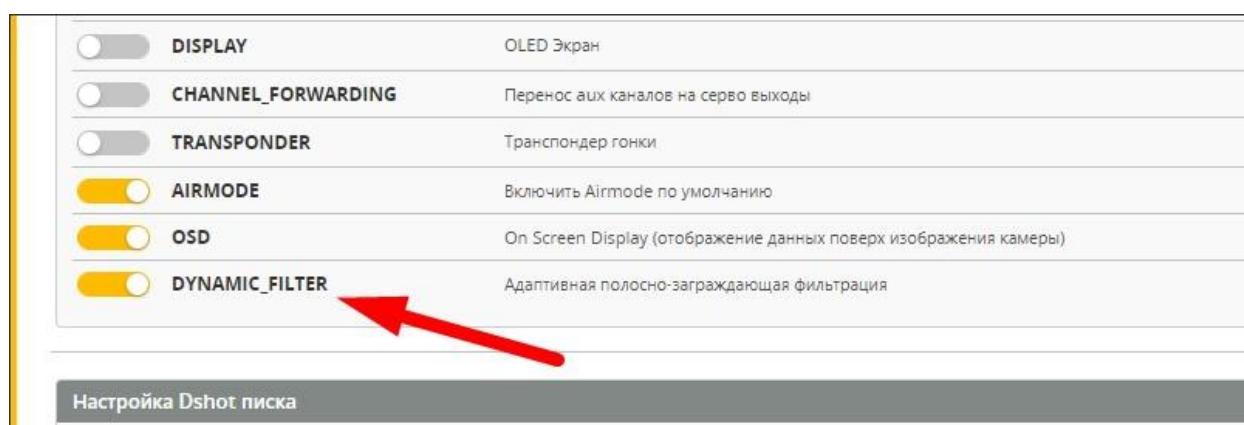


Рисунок 4.21 – Режим включения/выключения параметра Dynamic_Filter

На вкладке «Порты» находятся настройки для UART-портов, то есть для последовательных портов, которые используются для обмена данными с различными компонентами, такими как приемник, видеопередатчик, GPS-модуль и др. Параметр USB VCP всегда должен быть включен.

В этом разделе требуется включить порт, который используется для обмена информацией с приемником (рисунок 4.22). У различных полетных контроллеров он может быть разным.

Необходимо настроить входы портов. UART – это группа контактов RX и TX. Номер рядом указывает на номер UART. В соответствии с тем, как припаяны контакты приемника, необходимо включить на порте UART (где припаян приемник) Serial RX (для обмена данными полетного контроллера с приемником) и на порте UART (где припаян видеопередатчик) выбрать VTX

(IRC Tramp) для переключения каналов с полетного контроллера (необязательно) [8].

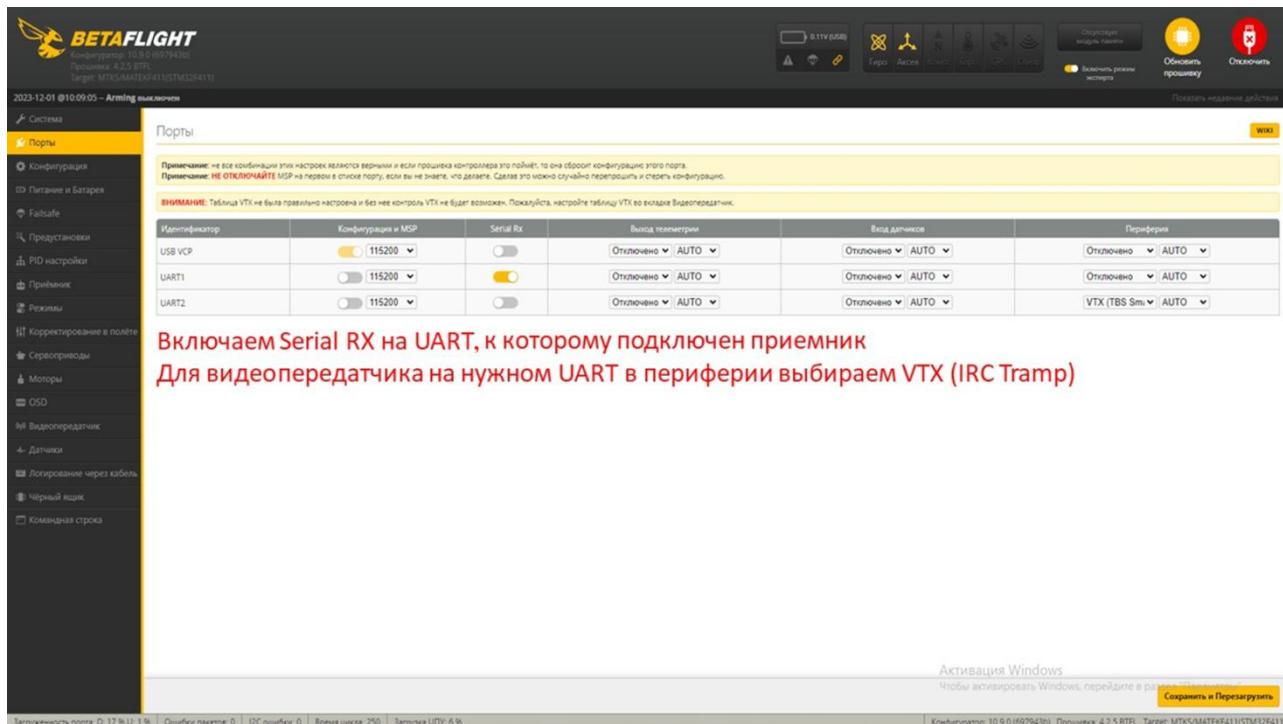


Рисунок 4.22 – Режим настройки входов портов

Затем на вкладке «Приемник» нужно настроить режим приема, т.е. порт и протокол обмена данными между приемником и полетным контроллером.

Подключиться к Betaflight и перейти во вкладку «Receiver». Затем подключить АКБ, включить пульт.

Проверить, все ли каналы реагируют на действия оператора. Когда он двигает стиками и переключателями, цветные полоски тоже должны двигаться.

Если полоски не двигаются, убедиться, включены ли приемник и пульт, правильно ли подключен приемник. Также убедиться, что во вкладке «Конфигурация» выбран правильный тип приемника (IBus, SBUS и т.д.), а также правильный ли выбран протокол работы (MultiSHOT, DSHOT и т.д.).

Выбрать в выпадающем списке «Серийный порт (через UART)» и в выборе протокола связи поставить «CRSF».

Если полоски двигаются, но не в том порядке, необходимо попробовать поменять карту разметки с AEFR1234 на TEAR1234 во вкладке «receiver».

Настройка порогов применяется для калибровки положения стиков на аппаратуре. Здесь прописывается цифровое значение стиков в крайнем нижнем положении и в крайнем верхнем положении, а также по центру. Значения по умолчанию обычно не требуют изменения [9].

При включении пульта и при движении стиков в различных направлениях разноцветные полоски (рисунок 4.23) будут бегать в пределах от 1000 до 2000, среднее положение при отпускании стика должно быть на отметке $1500 \pm 1\text{--}2$ единицы, но лучше, чтобы было точно 1500. Потому что эти 2 градуса будут вносить свои корректизы в полете.

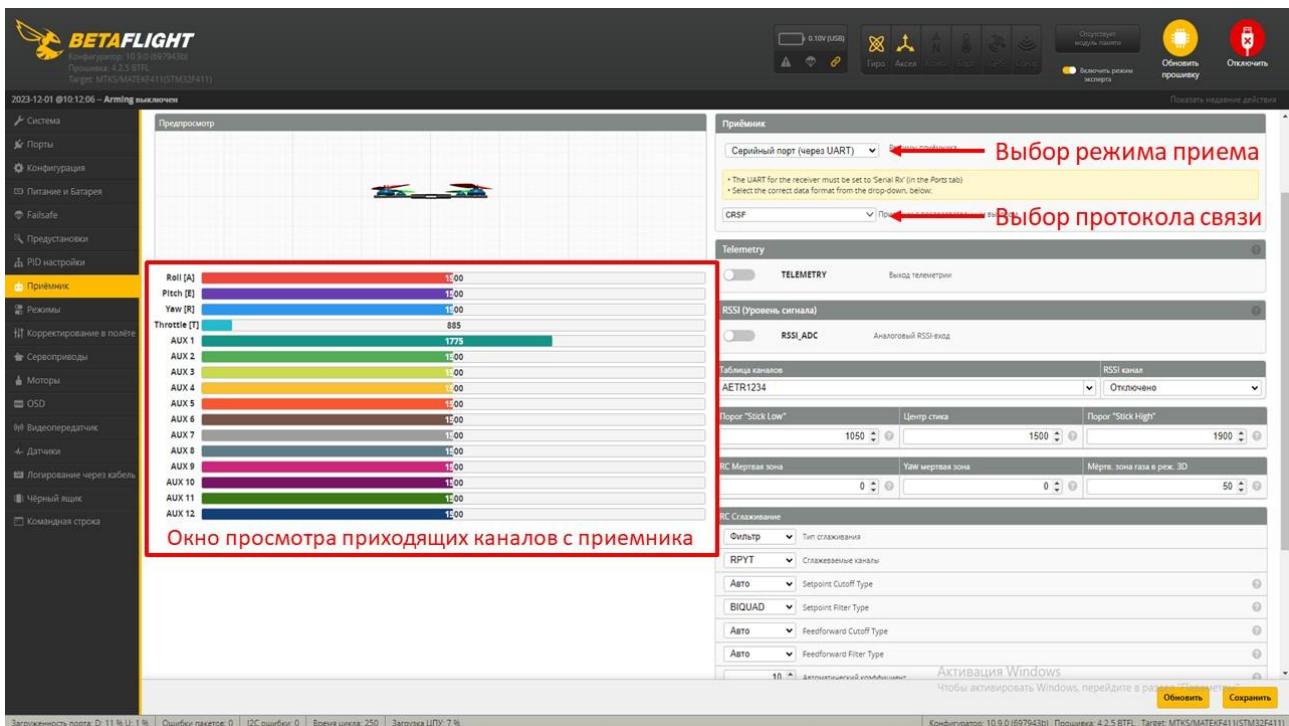


Рисунок 4.23 – Настройка раздела «Приемник»

Поправить значения можно кнопками триммирования на пульте (рисунок 4.24) или внеся корректировки через CLI.



Рисунок 4.24 – Кнопки триммирования на пульте управления

Неправильные средние значения приведут к тому, что БпЛА начнет дрейфовать и лететь в разные стороны.

Далее выбрать вкладку «Моторы». Прежде чем производить настройки на этой вкладке требуется:

- Снять пропеллеры, если они установлены. Рекомендуется все настройки производить в таком состоянии. Установленные пропеллеры – это риск нанести травму!

- Подсоединить аккумулятор к квадрокоптеру.

3. Перейти на вкладку «Моторы» конфигуратора Betaflight и включить ползунок под маркером 2 на рисунке 4.25. В блоке под маркером 3 указано правильное направление вращения для каждого из электродвигателей.

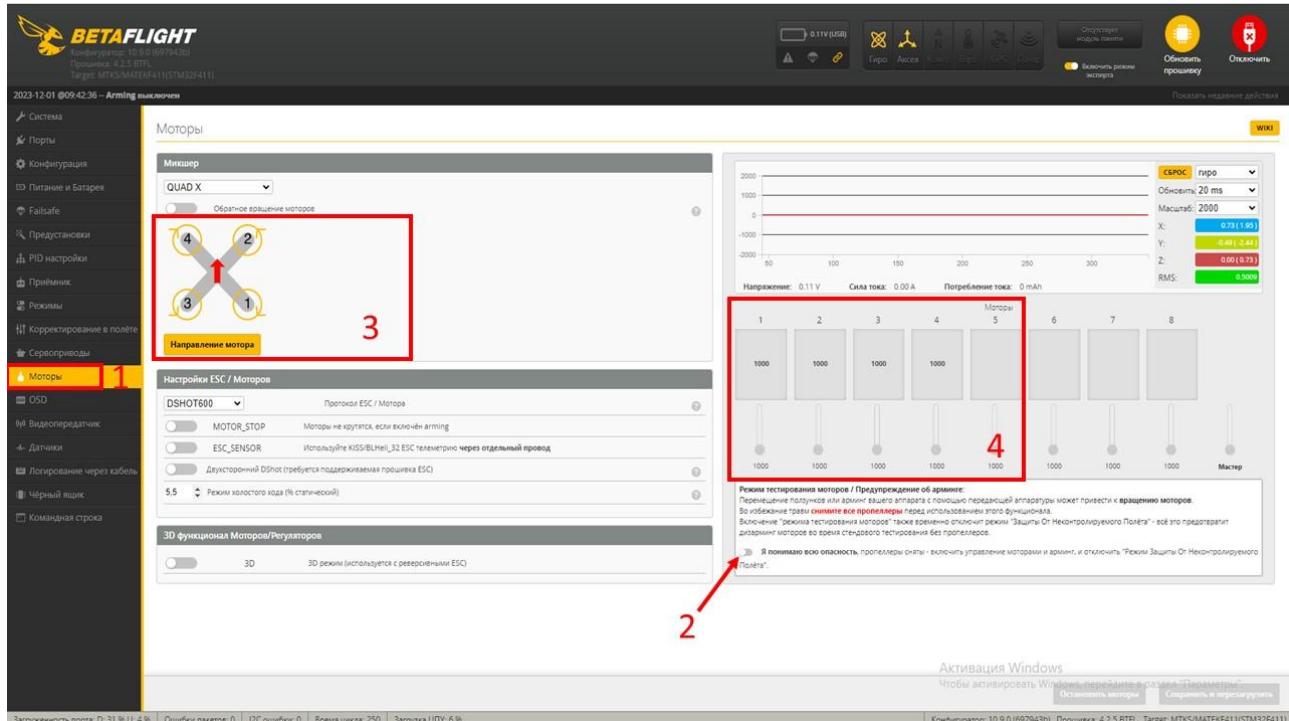


Рисунок 4.25 – Настройка раздела «Моторы»

4. Перейти к блоку 4 рисунка 4.25. Плавно поднять ползунок возле мотора №1 и контролировать направление вращения. Если вращение по часовой стрелке, тогда перевести ползунок вниз. Точно так же проверить все оставшиеся моторы с учетом их направления вращения. Если вращение электродвигателей не совпадает с блоком №3, необходимо произвести индивидуальную настройку вращения каждого мотора, для этого необходимо нажать: направление мотора – индивидуально и нажатием с удержанием настроить вращение каждого мотора индивидуально [9]. Если при пробном полете БПЛА переворачивается, то требуется переназначить каналы вкладки «Переназначить моторы» (рисунок 4.26).

Калибровка регуляторов оборотов (ESC).

В этом блоке настраиваются протоколы и параметры двигателей.

DSHOT600 – это протокол взаимодействия между регуляторами оборотов и ПК. Все современные регуляторы ESC и ПК поддерживают протоколы DSHOT300, DSHOT600 и DSHOT1000. Следует выбирать тот протокол, который рекомендует производитель.

MOTOR-STOP – используется для остановки двигателей при включении. Обычно функцию не используют.

ESC_SENSOR – используется для включения телеметрии, если на регуляторах для этого используется отдельный сигнальный провод.

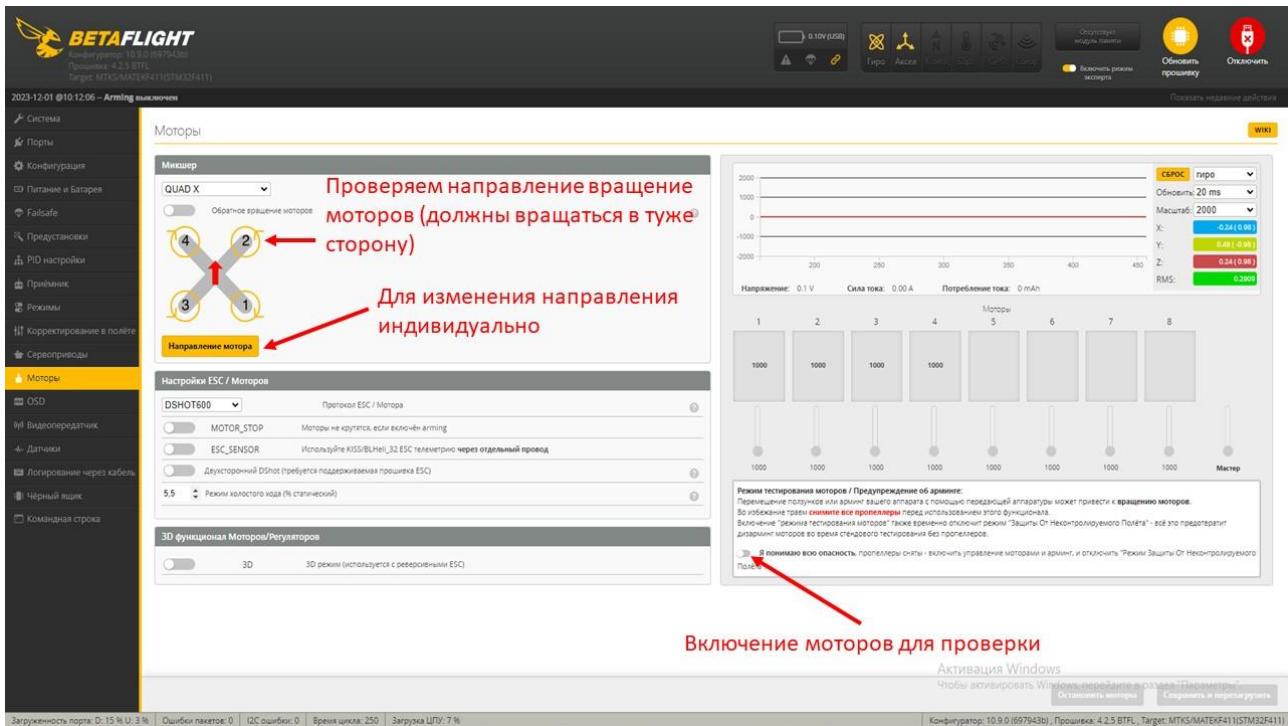


Рисунок 4.26 – Настройка раздела «Моторы»

Двухсторонний Dshot – новая функция в Betaflight 4.x, которая позволяет ПК получать информацию об оборотах двигателя по сигнальному каналу ESC без использования дополнительных проводов и каналов.

Полюса электродвигателей – окно, в котором вводится количество магнитов в электродвигателе.

Холостой ход – окно, в котором устанавливается скорость, с которой будут вращаться пропеллеры после включения (Arming). Обычно хватает 2-4%.

Нет необходимости калибровать регуляторы, если используется протокол DShot, включая DShot150, DShot300, DShot600, DShot1200 и DShot2400. Однако их необходимо калибровать, если на регуляторах протокол PWM, Oneshot125, Oneshot42 и Multishot.

Процесс калибровки под OneShot ничем не отличается от калибровки под любой другой протокол [8].

Для калибровки под протокол OneShot следует:

- отключить FPV-дрон от питания и снять пропеллеры с двигателей;
- подсоединить полетный контроллер к компьютеру, запустить Cleanflight или Betaflight и перейти во вкладку Motor;
- выбрать «Test motor», в Betaflight справа будет ползунок, позволяющий поднять скорость вращения до максимума сразу всех двигателей;
- поднять ползунки всех двигателей вверх, подключить питание (аккумулятор подсоединить) и резко опустить все ползунки вниз. Звуковая сигнализация укажет, что все регуляторы откалиброваны.

Далее отсоединить и снова присоединить аккумулятор и плавно немного добавить ползунком обороты двигателей, убедиться, что все двигатели врачаются одновременно.

Вкладка «Режимы» позволяет настраивать разные тумблеры на пульте управления. В этом режиме в основном настраиваются два тумблера:

Arming – установка и снятие с охраны квадрокоптера (ARM - включение / DISARM-выключение электродвигателей);

Включение режима стабилизации (HORIZONT, ANGLE) и режима ACRO – ручной режим управления.

Для настройки тумблеров необходимо выбрать необходимый режим и нажать «Добавить диапазон». Далее диапазон настраивается так, чтобы положение тумблера, где он включен, соответствовало диапазону (рисунок 4.27).

Выбрать канал, например AUX1, либо оставить «АВТО» и переключить любой удобный тумблер на пульте управления, который будет задействован для этой функции. Автоматически будет выбран канал, который привязан к этому тумблеру. После того, как выбран AUX, требуется несколько раз переключить тумблер, при этом на индикаторе будет перемещаться желтый маркер, соответствующий положению тумблера. Если переместить желтые полоски на область, где будет находиться желтая точка, то квадрокоптер начнет реагировать на это положение, в данном случае это Arming или снятие с охраны.

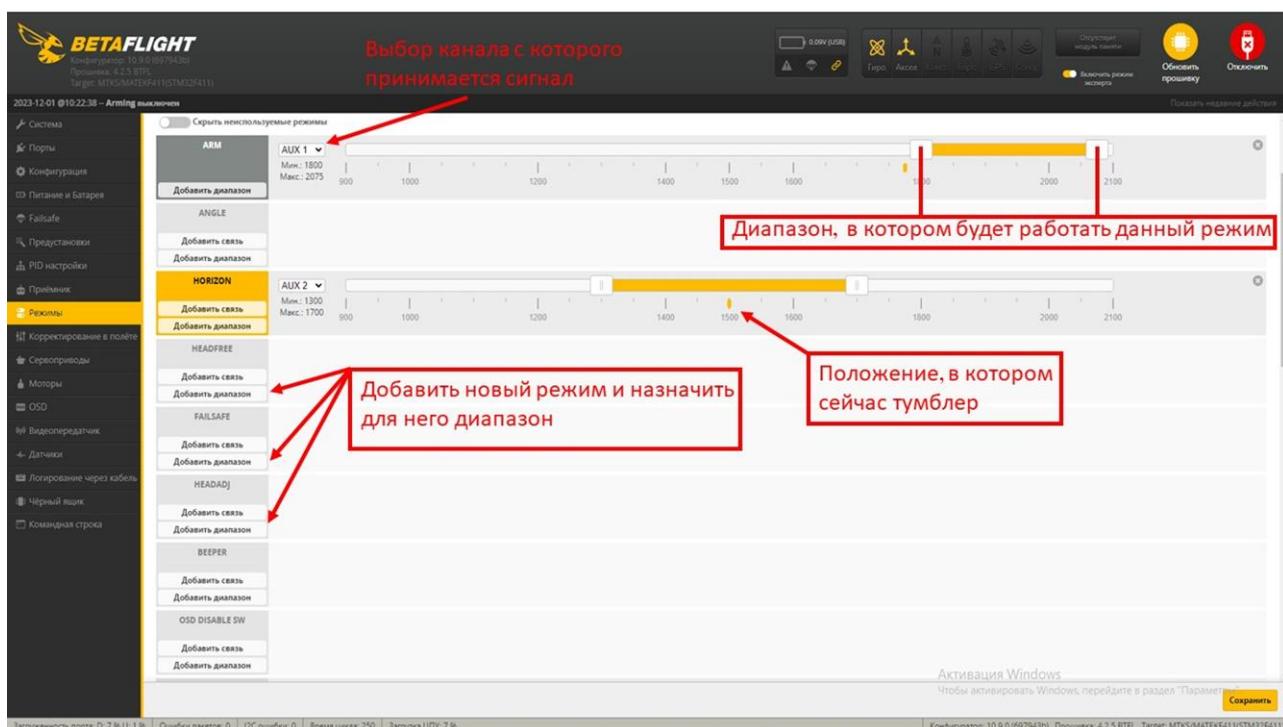


Рисунок 4.27 – Настройка раздела «Режимы»

Должен получиться результат, представленный на рисунке 4.28.

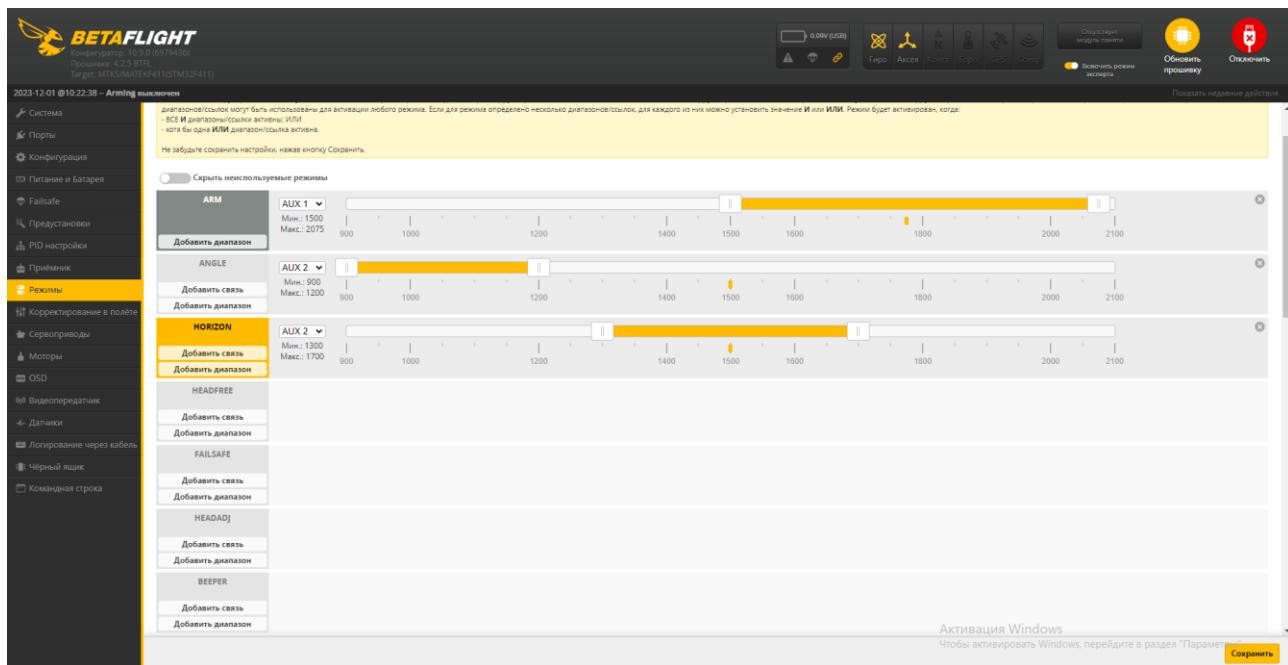


Рисунок 4.28 – Правильная настройка раздела «Режимы»

Вкладка «Failsafe» позволяет настроить режим сохранения, то есть действия, которые квадрокоптер будет делать при потере связи с пультом управления (рисунок 4.29).

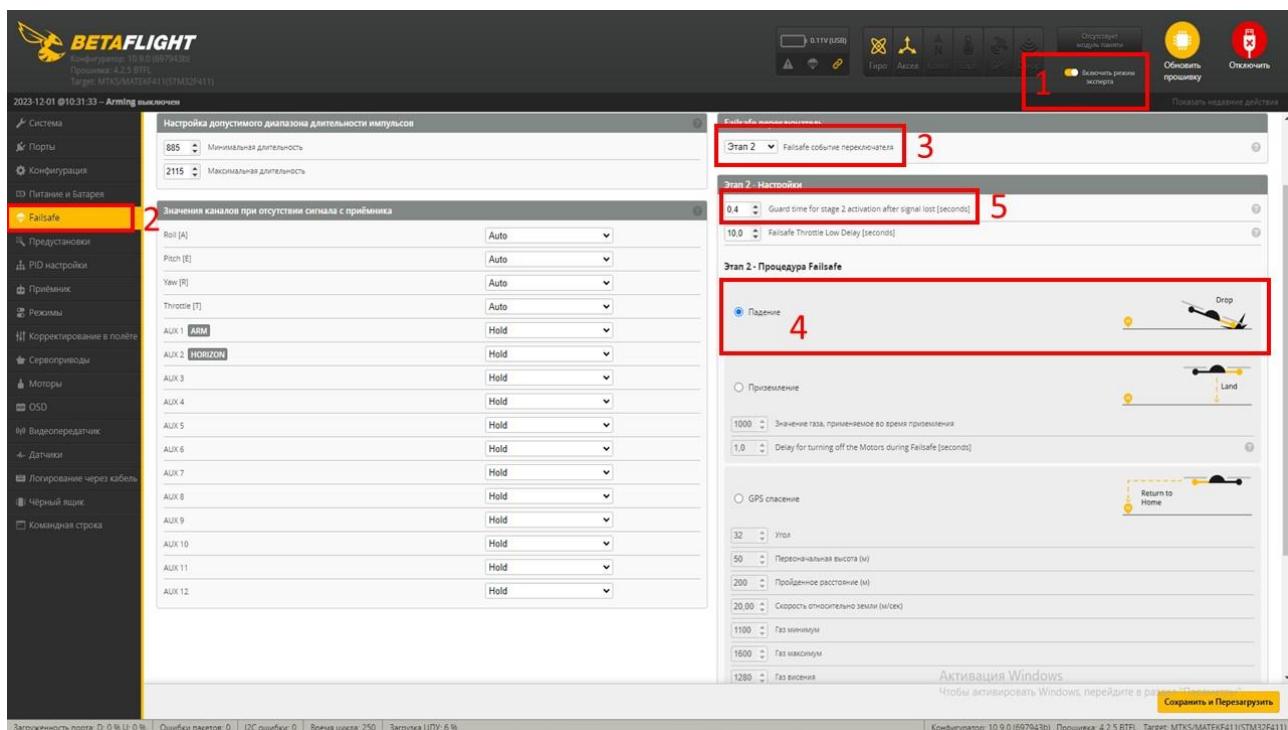


Рисунок 4.29 – Настройка раздела «Failsafe»

Failsafe – это функция, которая выполняет определенные действия после того, как пропадает радиосвязь между квадрокоптером и аппаратурой управления. Включение этой функции означает, что при отказе аппаратуры управления квадрокоптер не полетит дальше, а экстренно совершил посадку.

Failsafe срабатывает в случаях, если:

- квадрокоптер отлетел дальше зоны действия сигнала аппаратуры управления;
- между квадрокоптером и пультом препятствие, через которое не проходит сигнал;
- пропало питание в пульте или приемнике (аппаратура отключена/отключилась);
- приемник отключился от полетного контроллера.

При настройке этого Failsafe, можно выбрать 3 режима (рисунок 4.29):

- Падение (Drop) – квадрокоптер отключает двигатели, что приводит к падению;
- Приземление (Land) – БПЛА уменьшает газ до 20% и медленно садится.

GPS-спасение (Return to Home). Если на квадрокоптере установлен GPS-модуль, то с его помощью можно настроить возврат квадрокоптера. В случае потери связи активируется функция GPS Rescue, БПЛА поднимется на определенную высоту и полетит в примерную точку взлета. Функция GPS Rescue экстренная и созданная с целью вернуть управление квадрокоптером, но не посадить его. Функция сработает, если БПЛА улетит на расстояние не менее 50 метров. Сажать БПЛА с помощью GPS-модуля не рекомендуется, так как он может удариться о землю (нет других датчиков).

Вкладка «OSD» настраивает параметры отображения различной информации на экране очков или шлема (рисунок 4.30).

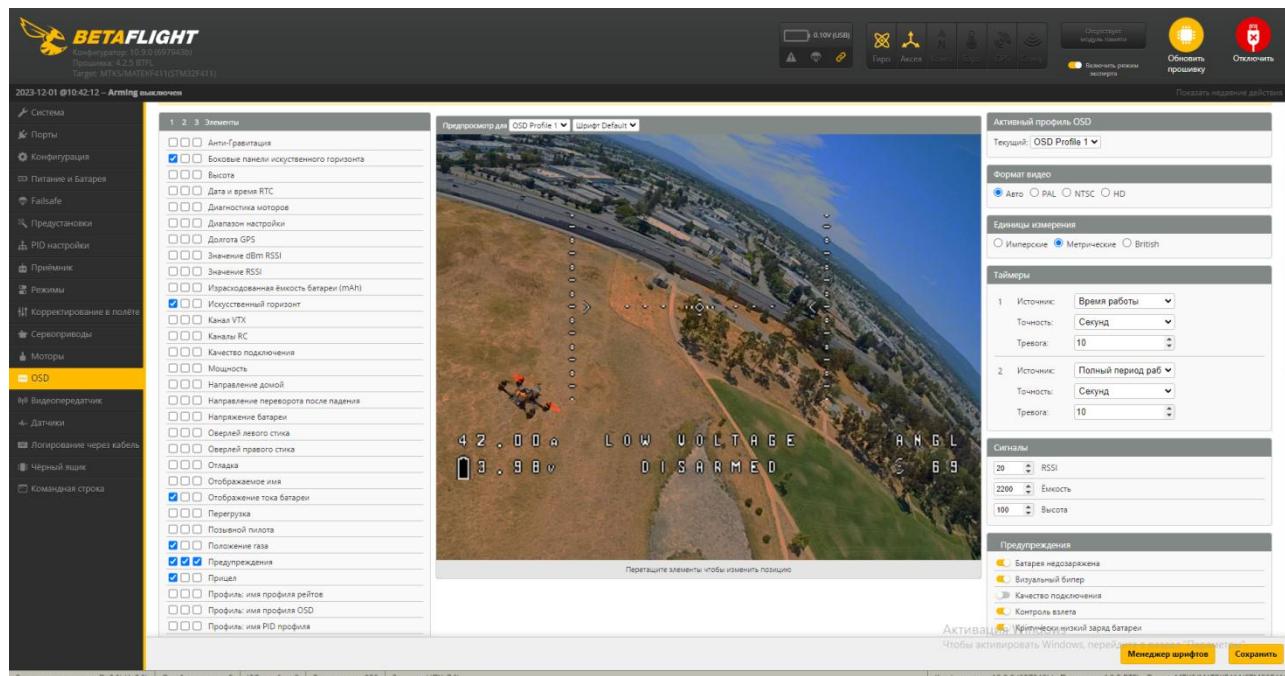


Рисунок 4.30 – Настройка раздела «OSD»

По центру располагается имитация экрана. Слева следует поставить галочки на нужных параметрах, затем они появятся на окне. Для того чтобы

узнать, что означает параметр, необходимо навести на него курсор мыши – появится подсказка.

Рекомендуется выставлять самое необходимое, чтобы не перегружать экран информацией (рисунок 4.31). При настройке необходимо ставить галочки и перемещать информацию по экрану в нужное место.



Рисунок 4.31 – Результат настройки раздела «OSD»

Параметры, которые отслеживаются оператором БпЛА в полете:

- 1) Оптимальное направление переворота при падении вверх ногами;
- 2) «Прицел» – направление продольной оси квадрокоптера относительно линии искусственного горизонта;
- 3) Искусственный горизонт (авиагоризонт) – показывает положение горизонта относительно оси квадрокоптера;
- 4) Текущий ток потребления (мгновенное значение);
- 5) Использованная емкость батареи;
- 6) Напряжение одной ячейки батареи (усредненное значение);
- 7) Время полета;
- 8) Указатель общего режима;
- 9) Предупреждение о неисправности;
- 10) Температура микроконтроллера квадрокоптера;
- 11) Уровень сигнала управления;
- 12) Указатель режима полета.

Вкладка «PID» – аббревиатура из 3 слов:

1. P – Proportional (пропорциональная);
2. I – Integral (интегральная);

3. D – Derivative (производная).

PID – функция в полетном контроллере, которая позволяет обрабатывать информацию с датчиков (как правило, это гироскоп и акселерометр), и вырабатывает управляющие сигналы, а затем отправляет команды регуляторам оборотов электродвигателей (ESC).

Пропорциональная составляющая линейно изменяет управляющий сигнал (обеспечивает чувствительность управления).

Интегральная составляющая обеспечивает минимизацию статической ошибки (обеспечивает максимальную точность управления).

Дифференциальная составляющая снижает амплитуду перерегулирования, что снижает раскачку.

После сборки и настройки проводится проверка FPV-системы, которая заключается в проверке качества видеозображения в шлеме/очках.

4.3 Техническое обслуживание и ремонт FPV-дронов в полевых условиях. Инструменты и ЗИП

Оператор FPV-дrona должен уметь самостоятельно выполнять техническое обслуживание, которое включает в себя следующие этапы:

- первичное обслуживание (внешний осмотр изделия, очистка от пыли и загрязнения, осмотр кабельных и резьбовых соединений);
- техническое обслуживание с применением запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП);
 - замена сломанных лучей;
 - замена неисправных винтов;
 - замена неисправных двигателей;
 - зарядка аккумуляторных батарей;
 - пайка элементов БПЛА мини-класса.

Пилотирование FPV-дронов может сопровождаться авариями, что требует от оператора навыков проведения ремонтных работ. Наибольшую сложность вызывает ремонт в полевых условиях. Рассмотрим набор оборудования и запасных частей для проведения технического обслуживания и ремонта FPV-дронов в полевых условиях, сформированный на основе опыта их эксплуатации:

- комплект инструментов (нож, пассатижи, набор отверток, пинцет, кусачки бокорезы);
- шестигранные головки -1.5, 2, 2.5 и 3 мм;
- паяльник и припой;
- термопистолет (от USB);
- термоусадочные трубы;
- изолента ПВХ;
- ремень фиксирующий;
- набор хомутов пластиковых;
- гидрофобное (водоотталкивающее) средство для видеокамеры.

Запасные комплектующие БпЛА:

- аккумуляторы;
- лучи;
- комплект электродвигателей;
- пропеллеры;
- электронные компоненты;
- антенны.

Количество комплектующих для ремонта БпЛА следует выбирать в соответствии с интенсивностью полетов, удаленностью пунктов постоянной дислокации, рельефом местности и т.д. Однако наиболее часто в результате эксплуатации повреждаются лопасти пропеллеров, антенны, моторы, лучи рамы и проводка, следовательно, такие комплектующие должны обязательно входить в комплект запасных частей и принадлежностей.

4.4 Техника безопасности при сборке и техническом обслуживании

При проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту БпЛА необходимо соблюдать требования инструкции по эксплуатации.

Зарядку аккумуляторных батарей проводить только в специально отведенных местах, соблюдая требования техники безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей данного класса и убедившись в отсутствии людей, не связанных с проведением данных работ, на расстоянии не менее 5 метров.

Запрещается эксплуатировать аккумуляторные батареи при обнаружении механических повреждений защитной пленки, вздутии пластин, появлении характерного запаха химической реакции.

При обнаружении неисправности или внештатной ситуации при сборке немедленно прекратить процесс и провести комплекс мероприятий по ее устранению.

По окончании работ свернуть комплект согласно инструкции по эксплуатации, снять аккумуляторную батарею с БпЛА, провести зарядку батареи и убрать ее в контейнер. Хранение аккумуляторной батареи в свободном доступе запрещается.

При возникновении неконтролируемых процессов в аккумуляторных батареях в процессе подключения или зарядки (повышение температуры, вздутие, открытая химическая реакция), немедленно отключить ее от цепи и изолировать аккумуляторную батарею, поместив ее в контейнер или металлическую емкость, например, ведро, кастрюлю и т.п. Тушение пожара лучше производить порошковым огнетушителем для пожаров класса D (горение металлов), углекислотным огнетушителем, противопожарным полотном (брэзентом), землей или песком. Необходимо избегать вдыхания продуктов горения, поскольку они токсичны.

При получении травм оказать пострадавшим первую доврачебную помощь, вызвать врача. До прихода врача оказывать помощь, исходя из состояния пострадавшего.

4.5 Обеспечение безопасности при работе со средствами поражения

К работам с боевыми гранатами РГД-5, Ф-1, РГО с БпЛА мини-класса допускается личный состав, усвоивший требования безопасности при обращении с боевыми гранатами.

К работе с выстрелами ПГ-7В, фиксируемыми на БпЛА, допускается личный состав, успешно выполнивший подготовку к применению и стрельбы из гранатомета РПГ-7 и усвоивший требования безопасности при обращении с головной частью выстрела ПГ-7В.

Примечание: следует оберегать гранаты, выстрелы и другие взрывные устройства от сильных толчков, ударов, огня, грязи, сырости.

При проведении занятий:

- перед заряжанием провести осмотр гранат и запалов, в случае обнаружения неисправностей немедленно дождить руководителю занятий (командиру);
- вставлять запал только перед заряжанием гранаты в систему сброса;
- зарядить гранату в систему сброса, проконтролировать закрытие донной крышки и удержание ее скобой сервопривода;
- через отверстия в системе сброса разжать руки и выдернуть чеку.

Запрещается:

- разбирать боевые гранаты и устранять в них неисправности, переносить гранаты вне сумок (зацепленными за кольцо, предохранительную чеку), а также приближаться без команды и трогать неразорвавшиеся гранаты;
- применять гранаты, имеющие наружные повреждения;
- находиться на стартовой площадке во время запуска, снаряженного БпЛА;
- запускать снаряженный БпЛА с рук.

Если заряженная граната не была сброшена с системы сброса, необходимо увеличить скорость полета БпЛА с целью увеличения инерции схода гранаты.

При получении минно-взрывных травм необходимо немедленно оказать пострадавшим первую доврачебную помощь, вызвать врача. До прихода врача оказывать помощь, исходя из состояния пострадавшего.

Контрольные вопросы

1. Какие комплектующие необходимы для сборки БпЛА мини-класса?
2. Порядок сборки FPV-дрона.
3. Назначение платы OSD.
4. Почему карбон является рекомендованным материалом для рам БпЛА мини-класса?
5. Какие основные вкладки для настройки БпЛА имеются в меню программы BetaFlight, их назначение?
6. Для чего предназначен режим сохранения (Failsafe)?
7. На какой канал настраивается режим парковки (ARM)?

8. Какие процедуры необходимо выполнить для привязки дрона к пульту управления?
9. Где отражены требования по технике безопасности при обращении с FPV-дроном?
10. Правила обращения с аккумуляторами при сборке и подготовке к полету.
11. Что запрещается при работе со средствами поражения?

5 ПИЛОТИРОВАНИЕ FPV-ДРОНОВ НА ТРЕНАЖЕРЕ

Для тренажной подготовки оператора FPV-дрона используются программы-симуляторы. Они позволяют получить навыки пилотирования без риска потери БпЛА итраты его летного ресурса. При этом они помогают операторам научиться работать с органами управления БпЛА без наличия самого аппарата. Полет на тренажере можно производить в любую погоду, на нем нет необходимости получать разрешение на использование воздушного пространства, нет ограничений по времени полета на аккумуляторной батарее. Симуляторы используют как новички, так и профессионалы для поддержания и совершенствования своих навыков.

Наилучшими программами для обучения оператора FPV-дрона являются такие симуляторы как: LiftOff, Velocidrone, FPV Freerider, DRL 3.0, FPV Air 2, Uncrashed: FPV Drone Simulator, DJI Flight Simulator, Zephyr Drone Simulator. Симуляторы отличаются друг от друга реализацией flight-модели, учитывающей аэродинамику и динамику и полета БпЛА, наличием мультиплеера (возможность полета на одной карте нескольких участников) и редактором карт, типом поддерживаемых операционных систем. Наибольшую популярность получил симулятор LiftOff, который выделяется реалистичной графикой и flight-моделью, большим количеством треков и моделей БпЛА, а также возможностью изменения их компонентов и настроек [18].

5.1 Интерфейс программного обеспечения и его возможности

Для работы на симуляторе понадобится следующее оборудование:

- наземное оборудование FPV-системы – пульт управления, шлем (необязательно), провода для подключения пульта к компьютеру (USB, micro USB, Type-C);
- компьютер (ноутбук) с программным обеспечением (симулятором). В качестве примера воспользуемся симулятором LiftOff.

Предусматриваются два варианта подключения аппаратуры управления к компьютеру:

- напрямую кабелем (USB, micro USB, Type-C) или через специальный переходник (рисунок 5.1);
- путем подключения передатчика аппаратуры управления к симулятору через ПК и приемник (рисунок 5.2).

Современные FPV-шлемы или очки подключаются к компьютеру через кабель HDMI. Изображение с монитора компьютера дублируется на экране FPV шлема.

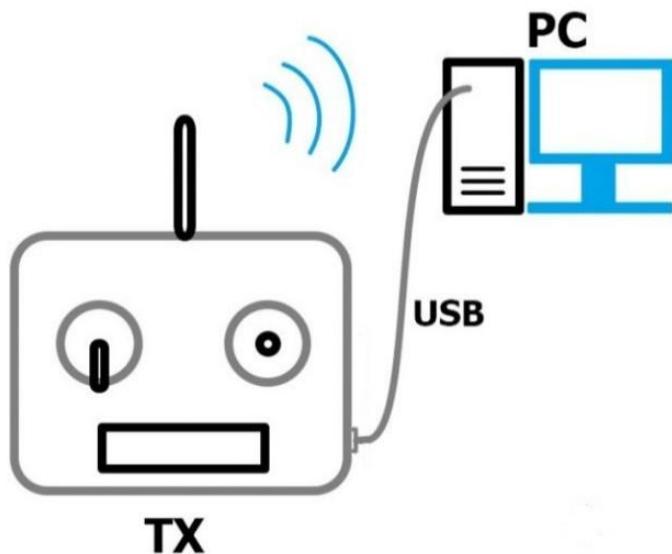


Рисунок 5.1 – Схема подключения оборудования для обучения оператора FPV-дрона через кабель

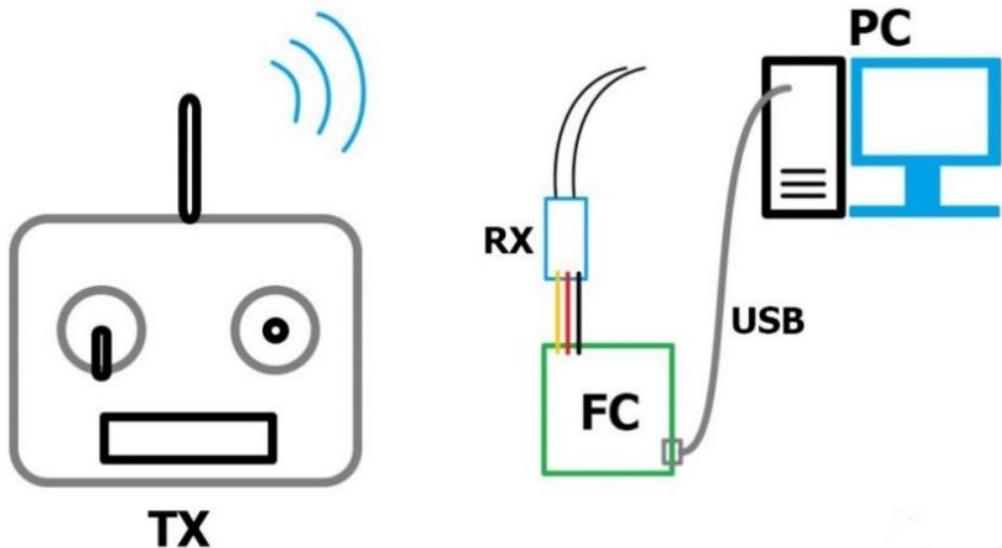


Рисунок 5.2 – Схема подключения оборудования для обучения оператора FPV-дрона через полетный контроллер

Для обучения на симуляторе необходимо выполнить следующие действия:

1. Установить симулятор LiftOff из прилагаемого дистрибутива (если оно не установлено).
2. Включить пульт управления (аппаратуру).
3. Подключить кабель USB Type-C сначала к компьютеру, потом к разъему пульта управления.
4. В меню пульта выбрать режим «USB Joystick (HID)».
5. Запустить симулятор по ярлыку.
6. В меню симулятора выбрать OPTIONS → CONTROLS → CONTROLLER (рисунок 5.3).

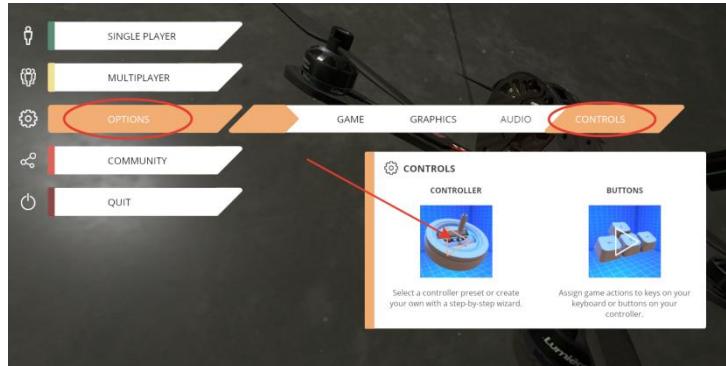


Рисунок 5.3 – Меню «CONTROLS» симулятора LiftOff

7. В открывшемся меню выбрать SELECT → Выбрать модель пульта, подключенного к ПК (на примере модель Radiomaster TX12 Joystick) → Save (рисунок 5.4).

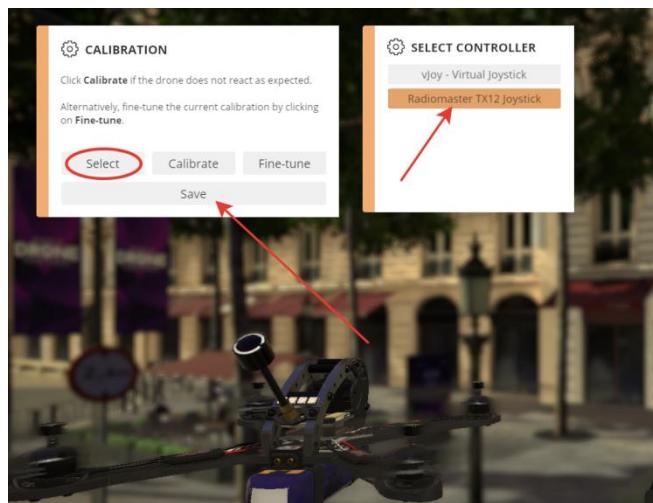


Рисунок 5.4 – Меню «SELECT CONTROLLER» симулятора LiftOff

8. Далее нажать Calibrate → Start calibration, следовать подсказкам на экране (необходимо двигать стики управления в соответствии с подсказками на экране) → Save (рисунок 5.5).

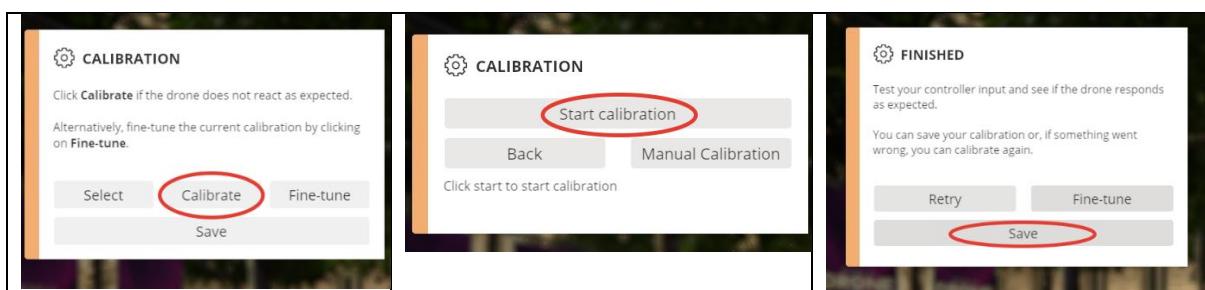


Рисунок 5.5 – Меню «CALIBRATION» симулятора LiftOff

9. Вернуться в главное меню.

10. Выбрать Single Player → WORKBENCH и нажать на открывшуюся картинку с коптером (рисунок 5.6).

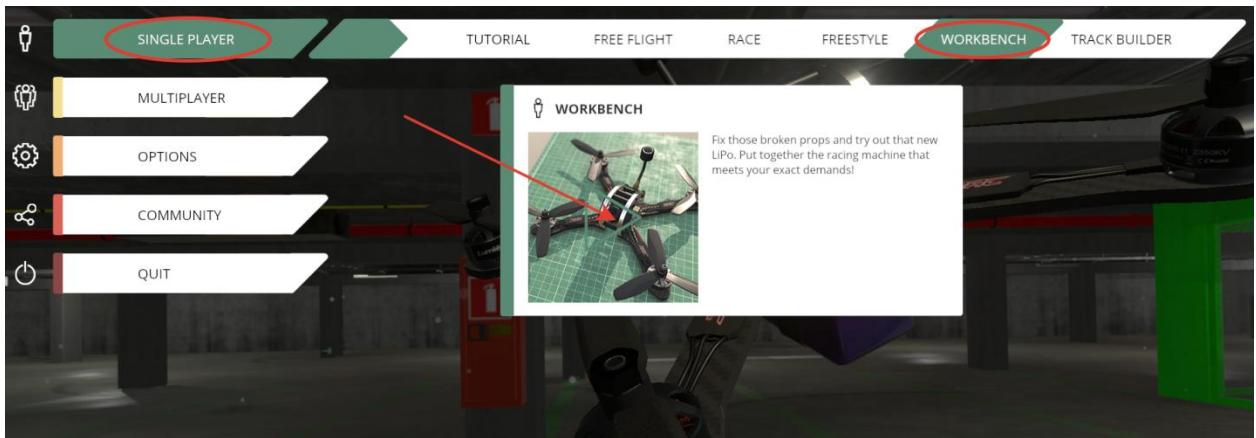


Рисунок 5.6 – Меню «WORKBENCH» симулятора LiftOff

11. Выбрать пункт BLUEPRINTS (рисунок 5.7).

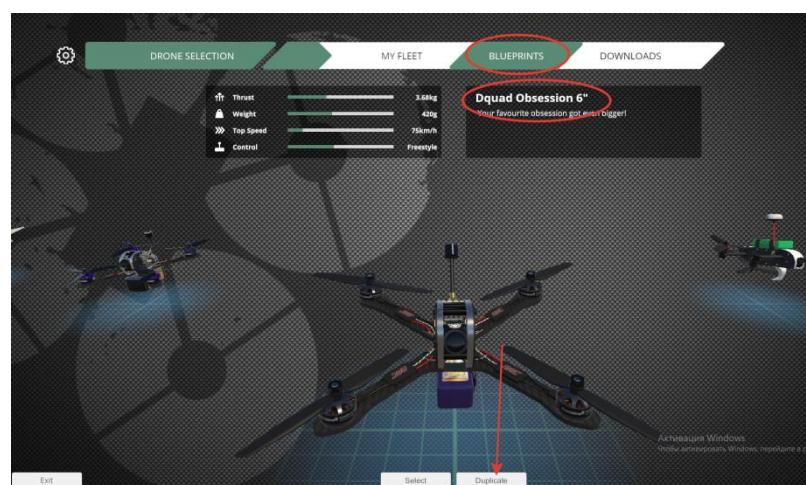


Рисунок 5.7 – Меню «BLUEPRINTS» симулятора LiftOff

12. Стрелками клавиатуры выбрать модель квадрокоптера «Dquad Obsession 6».

13. Нажать внизу Duplicate → OK.

14. Нажать внизу Select (рисунок 5.8).

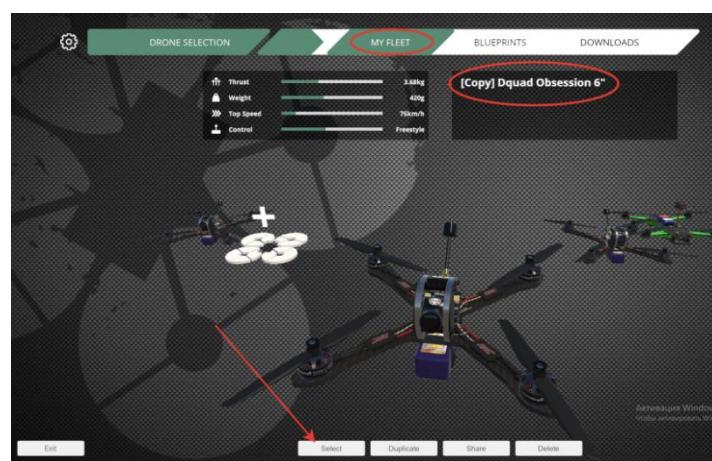


Рисунок 5.8 – Меню «MY FLEET» симулятора LiftOff

15. В открывшемся окне внизу справа нажать Edit Flight Controller Settings (рисунок 5.9).



Рисунок 5.9 – Меню «EDIT DRONE» симулятора LiftOff

16. Установить значения RC Rate и Super как 1.00 и 0.60 для всех трех строчек (рисунок 5.10).

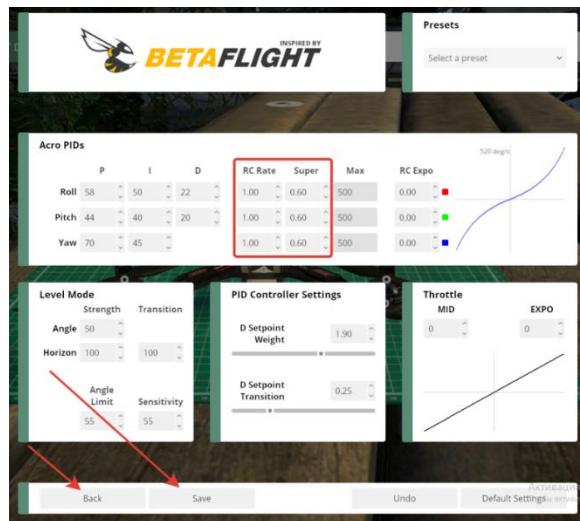


Рисунок 5.10 – Меню «Edit Flight Controller Settings» симулятора LiftOff

17. Нажать Save → Back.

18. Справа в строке Drone Name написать «Основной» (рисунок 5.11).



Рисунок 5.11 – Меню «EDIT DRONE» симулятора LiftOff

19. Нажать Save → OK → Exit.

Режимы, в которых может находиться FPV-дрон:

- питание отключено;
- режим «парковки» (DISARMED): питание подключено, моторы выключены, видео транслируется, БПЛА не реагирует на сигналы управления (нет выхода управления на моторы, полетный контроллер видит сигнал);
- режим «полета» (ARMED): моторы включены, БПЛА реагирует на сигналы управления.

Режимы управления БПЛА:

- режим «ANGLE» (ANG): коптер автоматически возвращается в горизонтальное положение при отсутствии отклоняющих сигналов, максимальный угол наклона коптера ограничен. Как правило в симуляторах этот режим называется «STABILAZE» (STAB);
- режим «HORIZON» (HOR): коптер автоматически возвращается в горизонтальное положение при отсутствии отклоняющих сигналов, но угол наклона коптера не ограничен, коптер может совершать переворот;
- режим «ACRO» (AIR): при отсутствии отклоняющих сигналов коптер сохраняет свой наклон [7].

Для управления моделью FPV дрона в симуляторе используется пульт управления по 3 осям и газу, а для всего остального используется клавиатура.

Основные задействованные кнопки (английская раскладка):

R – перезапуск полета;

A – переключение режимов полета;

T – перемотка времени назад;

F – переключение режима видео;

C – включение/отключение симуляции качества видеосвязи (симуляция FPV очков);

V – переключение вида на вид от третьего лица;

B – переключение вида на вид «от оператора»;

↑ и ↓ – изменение угла наклона камеры;

← и → – изменение фокусного расстояния камеры (угол обзора);

ESC – вызов меню.

Экран управления БПЛА в симуляторе представлен на рисунке 5.12:



Рисунок 5.12 – Экран управления БПЛА в симуляторе LiftOff

На экране управления БпЛА указана следующая информация:

- режим полета;
- компас;
- авиагоризонт;
- «Прицел» – направление продольной оси коптера относительно линии искусственного авиагоризонта;
- высота относительно точки взлета;
- путевая скорость (относительно земли).

По мере совершенствования навыков пилотирования возможно усложнять полетное задание путем изменения карты.

Примерное увеличение сложности по картам:

- карта 8 «ганновер» (Hannover) трек 1;
- карта 1 «поле» (Straw Bale) трек 1;
- карта 2 «лес» (Pine Valley) треки 1, 2;
- карта 4 «сад» (Autumn Fields) трек 1;
- карта 1 «поле» (Straw Bale) трек 2, 3;
- карта 10 «карьер» (The Pit);
- карта 11 «гольф» (The Green);
- карта 8 «ганновер» (Hannover) трек 2;
- карта 12 «холл» (Hall 26);
- карта 5 « ангар» (Hangar C03);

Карты средней сложности: LiftOff Arena треки 3, 2; Dubai Legends; Bardwells Yard.

Более сложные карты: 4 «сад» (Autumn Fields) трек 2; LiftOff Arena трек 1.

Самые сложные карты: Paris Drone Festival треки 1 и 2; Minus two треки 1 и 2.

Общие рекомендации оператору FPV- дрона по пилотированию:

Держать кисти рук расслабленными, напряжение в руках только ухудшает точность позиционирования стиков и, как следствие, делает полет менее предсказуемым.

Запрещается делать резкие движения стиками. Чем резче и сильнее отклоняется стик, тем быстрее изменяются обороты двигателей и скорости вращения дрона по той или иной оси. В начале обучения необходимо двигать стики постоянно, но делать это очень медленно и плавно. Так обучающийся быстрее научится чувствовать сам коптер, а дальнейшее его поведение будет более предсказуемым. Особенно аккуратно следует перемещать стик газа.

Основная тяга коптера идет по вертикальной оси, поэтому основное влияние на изменение вектора скорости вносит изменение направления вертикальной оси и перемещение стика газа.

Поворот коптера по оси рыскания незначительно влияет на направление его движения. Для правильного поворота необходимо отклонять стик не только по оси рыскания, но и по оси крена. Движение стиками выполняется одновременно и плавно.

Маневр поворота с фиксированным радиусом в режиме ACRO требует одновременной работы обоими стиками. Для поворота влево: крен влево,

тангаж на себя, рыскание влево, газ от себя. Для поворота вправо: крен вправо, тангаж на себя, рыскание вправо, газ от себя.

При наклоне коптера вертикальный вектор тяги уменьшается, а горизонтальный увеличивается, поэтому для сохранения высоты при маневрировании требуется добавить газ.

При полетах на открытой местности в большинстве случаев достаточно резко взлететь вверх для избегания столкновения и последующего восстановления равновесия [14].

Для торможения нужно не убирать газ, а наклонить коптер по тангажу «на себя» и добавить газ, потом убавить газ и вернуть горизонтальное положение. Движение обоими стиками выполняется согласованно.

Для получения навыков управления FPV-дроном необходимо отработать навыки управления в симуляторе.

5.2 Выполнение упражнений «Взлет. Удержание высоты. Прямолинейный полет. Повороты. Посадка»

Целью выполнения упражнений «Взлет и удержание высоты. Прямолинейный полет. Поворот. Посадка» являются получение и совершенствование следующие навыков:

- 1) Плавность посадки;
- 2) Удержание высоты;
- 3) Поворот с удержанием высоты;
- 4) Удержание прямолинейной траектории полета.

Упражнение №1 «Удержание высоты в режиме HORIZON или STAB».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется Карта №1 «поле» (Straw Bale) без трека (Free Flight), в режиме HORIZON или STAB произвести набор высоты, снизиться до одного метра и, удерживая высоту, удержать дрон в одной точке, не допуская смещения в стороны более 2 метров и изменения высоты более пятидесяти сантиметров в течение 10 секунд.

Задачей данного упражнения является выработка у обучающегося навыка удержания положения БпЛА в заданной точке на протяжении десяти секунд, в режиме HORIZON или STAB.

Критерием выполнения упражнения №1 считается успешно выполненное задание, в ходе которого не было допущено касания с подстилающей поверхностью и повреждения БпЛА.

Упражнение №2 «Полет по прямолинейным участкам с поворотами в режиме HORIZON или STAB».

Для выполнения упражнения рекомендуется следующая карта (Карта 1 «Поле» (Straw Bale)) без трека (Free Flight), в режиме HORIZON или STAB выполнить облет поля вдоль забора на произвольной высоте по часовой или против часовой стрелки, отклоняясь от прямолинейного направления забора не более чем на 3 метра.

Задачей упражнения №2 является выработка у оператора навыков по изменению направления полета, а также по выдерживанию прямолинейного курса полета БпЛА [19].

Критерием выполнения упражнения №2 считается успешно выполненное задание, в ходе которого оператором не было допущено касания с подстилающей поверхностью и повреждения БпЛА.

Упражнение №3 «Удержание высоты в режиме ACRO».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется Карта 1 «Поле» (Straw Bale) без трека (Free Flight), в режиме ACRO произвести набор высоты, снизиться до 1 метра и, удерживая высоту, зафиксировать дрон в одной точке, не допуская смещения в стороны более 2 метров и изменения высоты более 50 сантиметров в течении 10 секунд.

Задачей данного упражнения является выработка у обучающегося навыка удержания положения БпЛА в заданной точке на протяжении 10 секунд в режиме ACRO.

Критерием выполнения упражнения №3 считается успешно выполненное задание, в ходе которого не было допущено касания с подстилающей поверхностью и повреждения БпЛА.

Упражнение №4 «Полет по прямолинейным участкам с поворотами в режиме ACRO».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется Карта 1 «Поле» (Straw Bale) без трека (Free Flight), в режиме ACRO выполнить облет поля вдоль забора на произвольной высоте по часовой или против часовой стрелки, отклоняясь от прямолинейного направления забора не более чем на 3 метра.

Задачей упражнения №4 является выработка у оператора навыка по управлению БпЛА в режиме ACRO.

Критерием выполнения упражнения №4 считается успешно выполненное задание, в ходе которого оператор не допустил касание с подстилающей поверхностью и повреждение БпЛА.

Упражнение №5 «Полет по прямолинейным участкам с поворотами с удержанием высоты в режиме ACRO».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется Карта 1 «Поле» (Straw Bale) без трека (Free Flight), в режиме ACRO выполнить облет поля вдоль забора (отклоняясь от прямолинейного направления забора не более чем на 3 метра) с удержанием постоянной высоты (поднимая БпЛА не выше 20-15-10-5 метров над забором) по часовой или против часовой стрелки, не превышая скорость в 20 км/ч.

Задачей упражнения №5 является выработка у оператора навыков по изменению направлению полета, а также устойчивого и контролируемого полета БпЛА.

Критерием выполнения упражнения №5 считается успешно выполненное задание, в ходе которого оператором не было допущено касания с подстилающей поверхностью, превышения скоростного режима и повреждения БпЛА.

При наработке устойчивого навыка управления БпЛА после прохождения вышеперечисленных упражнений производится отработка посадки (подлет на небольшой скорости в точку старта и плавное снижение до касания) [19].

5.3 Выполнение упражнений «Преодоление полосы препятствий. Полет в замкнутом пространстве. Воронка. Посадка внутри дома»

Целями выполнения упражнений являются:

- совершенствование навыков пилотирования;
- приобретение навыков полета в замкнутых пространствах;
- преодоление полосы препятствий.

Упражнения для выполнения полета по траектории с преодолением препятствий выполняются в режиме ACRO после получения первичных навыков пилотирования БпЛА.

Упражнение №6 «Преодоление полосы препятствий».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется карта 2 «Лес» (Pine Valley) трек №1, прохождение трека в режиме гонки «Race».

Задачей выполнения упражнения №6 является полет по оптимальной траектории с облетом мелких препятствий.

Критерием выполнения упражнения является успешно выполненное задания, в ходе которого не было допущено касаний подстилающей поверхности и повреждений БпЛА. В ходе прохождения допускается набор высоты для избегания столкновения с препятствиями и последующим возвратом на траекторию.

Упражнение №7 «Полет в замкнутом пространстве».

Для выполнения данного упражнения рекомендуется карта «Minus two» трек №1, в режиме ACRO выполнить взлет, облет по границе карты, произвести посадку в точке взлета.

Задачей упражнения №7 является выработка у оператора навыка управления в замкнутом пространстве.

Критерием выполнения упражнения считается отсутствие растерянности оператора при управлении БпЛА в замкнутых пространствах, а также отсутствие повреждений БпЛА и касаний с подстилающей поверхностью.

Упражнение №8 «Воронка».

Облет дерева в центре поля на карте «Осенние поля» (Autumn Fields) Задача упражнения №8 заключается в удержании дерева в поле зрения на протяжении нескольких оборотов.

Упражнение №9 «Посадка внутри дома».

Задача совершиТЬ посадку внутри дома через окно на карте «Осенние поля» (Autumn Fields) и далее выполнить взлет и вылететь обратно через то же окно.

Контроль полученных навыков проходит в присутствии инструктора, обучающийся обязан самостоятельно выполнить:

- подключение пульта управления оператора к тренажеру «LiftOff»;
- выполнить упражнение №3 «Удержание высоты в режиме ACRO»;

- выполнить упражнение №5 «Прямолинейный полет с удержанием высоты в режиме ACRO»;
- выполнить упражнение №6 «Преодоление полосы препятствий»;
- выполнение упражнение №7 «Полет в замкнутом пространстве».

Для совершенствования навыков и дальнейшего обучения рекомендуется выбрать «Race» в верхней строчке меню.

6 ПИЛОТИРОВАНИЕ FPV-ДРОНОВ

6.1 Общие рекомендации по управлению FPV-дроном. Полет FPV-дrona под управлением инструктора

К полету на реальном FPV-дроне допускаются лица, прошедшие курс подготовки операторов и успешно сдавшие зачет на знание теории конструкции и оборудования БпЛА, а также подтвердившие наличие устойчивых практических навыков управления FPV-дрона на симуляторе.

Перед началом полета оператору необходимо:

- произвести визуальный осмотр оборудования на предмет повреждений;
- зарядить АКБ FPV-дrona, очков и пульта;
- установить antennu пульта;
- установить antennu очков;
- включить пульт;
- включить очки;
- установить АКБ в коптер и подключить ее в разъем;
- надеть очки;
- установить требуемый режим полета.

Для выполнения полета необходимо выполнить следующие действия:

- проверить положение левого стика (газ на минимум);
- переключить режим парковки в ARMED;
- плавно толкнуть от себя левый стик до момента отрыва БпЛА от земли;
- стараться не допускать резких рывков стиков;
- стараться держать кисти рук расслабленными;
- для посадки БпЛА выйти в желаемую точку и плавно снижая высоту и скорость, около земли перейти в режим парковки (DISARMED).

Рекомендации оператору управления FPV-дrona при разряде АКБ, авариях и столкновениях с препятствиями:

- если в процессе полета в центре экрана высветилась надпись «LANDING NOW» требуется незамедлительно посадить БпЛА, так как через несколько секунд самопроизвольно отключится АКБ из-за разряда;
- если после столкновения не удалось удержать дрон в воздухе, то необходимо максимально быстро переключить БпЛА в режим парковки (DISARMED) для сохранности оборудования;
- если конечная точка падения коптера позволяет взлететь, то действовать по алгоритму «полет»;
- если БпЛА упал в перевернутом положении, то проверить положение газа, перевести режим в (DISARMED), после чего включить режим «черепашки» (режим переворота коптера на земле), вернуть режим (ARMED) и правым стиком подать управляющий сигнал для переворота коптера. После

переворота снова перевести в режим (DISARMED), потом в режим (ARMED) и далее действовать по алгоритму «полет»;

– если самостоятельный переворот коптера невозможен или нежелателен, установить коптер в удобное для взлета место и действовать по алгоритму «полет»;

– если невозможно визуально обнаружить место падения коптера, то необходимо включить режим «пищалки» для облегчения поиска БПЛА;

– если после падения коптер отключился, нужно просмотреть запись с очков и постараться восстановить траекторию полета коптера для облегчения его поиска;

– если после аварии изображение пропало и появилось, а на сигналы управления коптер не реагирует, следует отключить и включить питание коптера. Возможно, так же, что АКБ разрядилась и потребуется подключить другую.

Для начинающего оператора управления FPV-дрона необходимо понимать различие двух наиболее часто используемых режимов полета:

Angle (STAB) – это стабилизированный режим полета, который чаще всего используется во время начального обучения полетам на квадрокоптере. В этом режиме отклонение стика (крена/тангажа) управляет значениями углов крена и тангажа. В этом режиме не получиться перевернуть квадрокоптер на 360 градусов по оси тангажа или крена, как в режиме ACRO. В режиме Angle можно отпустить стик управления по осям тангаж/крен и коптер автоматически возвратится в горизонтальное положение. На вращение дрона по оси рысканья данный режим не влияет.

ACRO (ARCO) – этот режим полета, в котором отклонение стика (крена/тангажа) определяется скоростью вращения коптера по выбранной оси. Если отпустить стик в этом режиме, то коптер не вернется в горизонтальное положение как в Angle (коптер продолжит движение с ранее выбранными параметрами) [10].

При реальных полетах помимо рекомендаций по пилотированию FPV-дронов на симуляторе дополнительно следует учитывать следующие особенности.

Поведение коптера в реальности и в симуляторе различается. Симулятор дает общее понимание о том, как происходит управление и как на это реагирует коптер, а при полете в реальности на коптер действуют все физические законы, которые в симуляторе не реализованы или реализованы не идеально [12].

В симуляторе отсутствует ветер, который значительно усложняет управление коптером. Однако, чем коптер тяжелее, тем слабее на него влияет ветер. Сложные тяжелые коптеры могут самостоятельно компенсировать влияние ветра в некоторых пределах, однако имеют свой предел применения по погодным условиям.

При полетах на открытой местности чтобы избежать столкновения с препятствием, как правило, достаточно резко взлететь вверх.

Для торможения требуется не убирать газ, а наклонить коптер по тангажу «на себя» и добавить газ, а потом убавить газ и вернуть горизонтальное положение. Движение обоими стиками выполняется координированно.

Наклон камеры влияет на «комфортность» полета на разных скоростях. Чем меньше угол, тем проще лететь на низкой скорости, чем больше – на высокой. В большинстве коптеров камера устанавливается на 30-45°, но для первичного обучения и выработки навыков можно установить 15°. Существуют коптеры, где камера установлена на 60-70° для обеспечения максимальной скорости полета. Стоит отметить, что чем больше угол камеры, тем сложнее выполнять посадку/взлет так как видимость в нижней полусфере ограничена.

Полет на коптере в небольших замкнутых пространствах (помещениях) требует более плавного обращения с стиками, резкие движения могут стать причиной столкновения.

При подлете коптера к вертикальной стене создается эффект прилипания, и коптер «притягивается» передней частью к стене, а эффективность электродвигателей падает.

Поведение коптера с подвешенным грузом значительно отличается от поведения коптера без груза ввиду возросшей инерционности и более высокого уровня тяги, необходимого для поддержания высоты. Коптер с грузом слабее ускоряется и замедляется, а количество доступной тяги обратно пропорционально возросшей общей массе коптера.

Полет коптера на большую дистанцию по открытой местности требует умения вести визуальную ориентировку.

При полете над местностью необходимо учитывать не только расстояние до объекта, к которому выполняется полет, но и рельеф местности. Высокие дома и постройки, деревья и иные объекты могут ослабить сигнал видеосвязи и управления. Линии электропередач и иные элементы инфраструктуры могут быть плохо заметны в камеру, столкновение с ними может привести к падению.

Всегда изучайте местность по карте перед полетом, запоминайте крупные объекты, которые будет легко увидеть с воздуха, это поможет ориентироваться в пространстве. После взлета необходимо осмотреться и закрепить для себя некоторые опорные объекты (ориентиры), относительно которых будете перемещаться, например, водонапорная башня или большое расстояние среди деревьев в лесной местности. Это необходимо для того чтобы не потеряться при полете до объекта или при возврате «домой».

При заходе за крупный объект или рельеф можно потерять видеосигнал, но сохранить управление. В такой ситуации требуется переключить коптер в режим ANGLE и набрать высоту для улучшения условий связи. Во избежание таких ситуаций, следует стараться поддерживать высоту полета для достижения надежного сигнала приема. Следует помнить: чем дальше находится оператор от коптера, и чем ниже летит коптер относительно него, тем легче потерять видеосигнал и сигнал управления коптером, поэтому заранее следует подбирать наиболее прямолинейные траектории полета до объекта, чтобы потеря сигнала не помешала вам выполнить задачу.

6.2 Самостоятельное управление FPV-дроном. Выполнение упражнения «Взлет. Полет по маршруту. Посадка». Разбор полета

Занятие по самостояльному пилотированию FPV-дрона проводится в следующей последовательности:

- проверка работоспособности и предполетная подготовка БПЛА, пульта и FPV очков (шлема);
- выполнение различных упражнений, а именно: взлет; удержание БПЛА на высоте; повороты на месте; движения вперед, назад, вправо, влево; посадка;
- первичные полеты на 3-х дюймовом БПЛА мини-класса.

Подготовка к самостоятельной работе на FPV-дроне предусматривает выполнение следующих мероприятий:

1. Проверку оборудования БПЛА.
2. Включение FPV очков БПЛА.
3. Включение пульта управления БПЛА.
4. Включение БПЛА.
5. Сопряжение пульта и очков с БПЛА.
6. Снятие блокировки на шлеме и на БПЛА.

7. Выполнение основных настроек БПЛА в программе «Betaflight Configurator» (в соответствии с разделом 4.2).

Перед полетом необходимо распределить видео- и радиоканалы между обучающимися, если используются несколько дронов. Установить частоту видеосигнала в шлемах и БПЛА.

В процессе обучения оператор обязан получить навыки самостоятельной настройки оборудования.

Первые полеты проводятся визуально без использования очков (шлема) с целью визуального наблюдения за квадрокоптером для фиксации точки отрыва от земли и контроля углов крена, тангажа и рыскания. Упражнения, выполняемые после адаптации оператора к управлению: повороты вокруг своей оси, движения вперед/назад/посадка;

После получения оператором необходимых навыков визуального пилотирования оператор приступает к выполнению упражнений в очках на 3-х дюймовом БПЛА мини-класса. Упражнение проводится с целью получения навыков управления от первого лица.

Упражнения по пилотированию проводятся до достижения обучающимися следующих показателей: плавного перемещения БПЛА в пространстве без подскоков, уверенного удержания БПЛА на высоте, плавной посадки, выдерживания БПЛА мини-класса на минимальной высоте перед посадкой.

Пилотирование на пересеченной местности с огибанием рельефа.

Пилотирование на пересеченной местности первично проводится на 5-ти дюймовом БПЛА мини-класса. После получения навыков полета на 5-ти дюймовом БПЛА мини-класса и достижения обучающимися установленных

показателей проводятся полеты на 7-ми дюймовом БПЛА мини-класса с системой сброса.

Примечание: в виде полезной нагрузки для БПЛА мини-класса применяются тротиловые шашки, РГД-5, Ф-1, ВОГ-17 и т.д.

В ходе пилотирования на пересеченной местности обучающиеся выполняют следующие упражнения:

Восьмерка – взлет с места старта, полет по обозначенному заранее маршруту вокруг препятствий с разворотами по фигуре «восьмерка», возврат на исходную точку (3-4 круга), посадка (рисунок 6.1).



Рисунок 6.1 – Упражнение «Восьмерка»

Облет препятствий – взлет, полет по маршруту с огибанием и заходом за естественные препятствия (деревья, кустарники) с левой и правой стороны, возврат на место старта и повторный полет (3-4 круга), посадка в точке старта (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2 – Упражнение «облет препятствий на местности»

Пролет по траектории с удержанием высоты – взлет, полет через рамки (устанавливаются друг за другом на расстоянии три-четыре метра друг от друга с разными размерами высоты и ширины проема) с удержанием высоты, разворот на открытой площадке и возврат на место старта с повторным

пролетом через рамки. Для усложнения упражнения рамки могут быть расставлены в случайном порядке (рисунок 6.3).

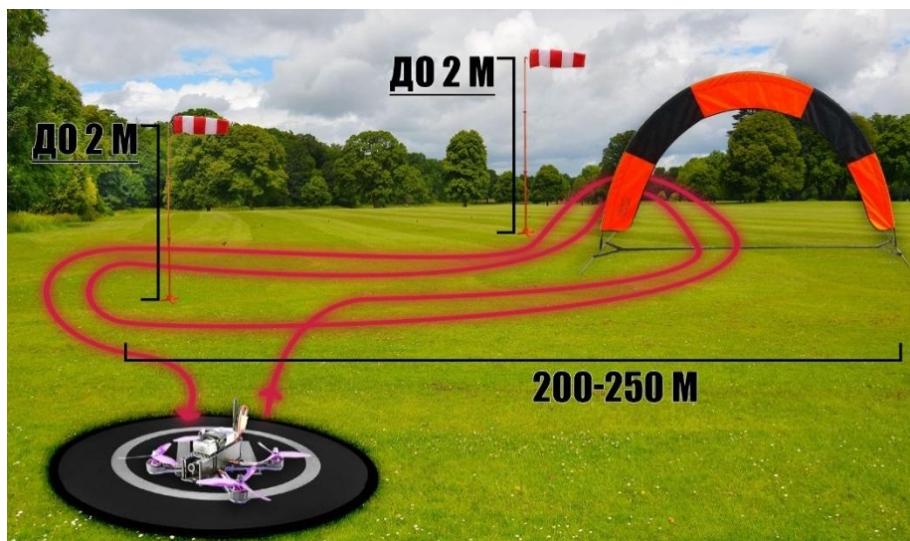


Рисунок 6.3 – Упражнение «Полет по траектории с удержанием высоты»

Полет с залетом в здание или замкнутое помещение – взлет, полет до здания, влет в здание через проем, разворот внутри замкнутого пространства, вылет. Во время выполнения упражнения внутри здания инструктор должен продемонстрировать возможность появления эффекта распространения и переотражения радиоволн, для этого обучающиеся выставляют на минимум мощность видеопередатчика (VTX) (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Упражнение «Полет с разворотом в замкнутом помещении»

6.3 Итоговый контроль подготовки

С целью проверки и оценки уровня теоретических знаний и практических навыков в области применения FPV-дронов и правил их эксплуатации, обучающиеся сдают зачеты.

Зачет представляет собой комплексное занятие, разделенное на два этапа. На первом этапе осуществляется входной контроль теоретических знаний, на втором этапе производится контроль практических навыков. Зачет рекомендуется проводить на оборудованном мишенной обстановкой (окопы, щиты, препятствия, круги обозначения целей) полигоне.

Второй этап включает проверку готовности к выполнению полетов, заключающуюся в отсутствии у обучающихся скованности действий и растерянности при управлении БпЛА, особенно при возникновении сложной обстановки.

Контроль первоначальных навыков управления осуществляется по трем упражнениям:

Упражнение №1 – Удержание БпЛА на высоте;

Упражнение №2 – Прямолинейный полет на малой высоте

Упражнение №3 – Полет на боевое применение.

Упражнения выполняются в простых метеоусловиях с подготовленной площадки. Маршрут полета должен проходить через характерные ориентиры.

Упражнение №1: Удержание БпЛА на высоте.

Количество управлений – 1.

Время на выполнение упражнения – 1 минута.

Задание на полет:

Готовый к работе БпЛА установлен на расстоянии 5 метров от оператора управления на стартово-посадочной площадке. Оператору управления в визуальном режиме (без FPV очков) выполнить взлет и удержание БпЛА на высоте 2 метров в течении 1 минуты.

Критерием для выполнения данного упражнения является удержание БпЛА в точке с отклонением не более 0,5 метра. Контроль качества выполнения упражнения осуществляется двумя инструкторами обучения, время управления засекается по секундомеру.

При успешном выполнении упражнения №1 обучающийся допускается к выполнению упражнения №2.



Рисунок 6.5 – Выполнение упражнения №1

Упражнение №2: Прямолинейный полет на малой высоте.

Количество управлений – 1.

Время на выполнение упражнения – 5 минут.

Задание на полет:

Готовый к работе БпЛА установлен на расстоянии 5 метров от оператора управления на стартово-посадочной площадке. Оператор управления выполняет полет по прямолинейной траектории на высоте не более 1.5 метров от земли с отклонением не более одного метра по горизонтали на время. Полет выполнять по маршруту, по заранее намеченным ориентирам (окоп, дорога, натянутая киперная лента) с разворотом на 180 градусов в заданной точке и посадкой в точке взлета.

Критерием для выполнения данного упражнения является успешно выполненный полет, исключающий соприкосновение БпЛА с подстилающей поверхностью и удержание прямолинейной траектории в заданное время.

Контроль выполнения упражнения осуществляется визуально двумя инструкторами обучения.

При успешном выполнении упражнения №2 обучающийся допускается к выполнению упражнения №3.



Рисунок 6.6 – Выполнение упражнения №2

Упражнение №3: Полет на боевое применение БпЛА

Количество управлений – 1.

Время на выполнение упражнения – 10 минут.

Задание на полет:

Готовый к работе БпЛА, снаряженный полезной нагрузкой (например, макет инерционного боеприпаса в натуральную величину) устанавливается на расстоянии 5 метров от оператора управления на стартово-посадочной площадке. Оператор управления получает задачу на боевое применение по наземному объекту, находящемуся на удалении около 500 метров, анализирует возможности БпЛА, оценивает текущую воздушную (наземную) обстановку, по команде инструктора приступает к выполнению задачи. Выполняет взлет, полет до цели, определяет ориентиры рядом с целью, поднимает БпЛА на высоту 50 – 100 метров с одновременным уходом от цели на 350-400 метров. По первой команде инструктора выполнить пикирование в цель, затем, по

второй команде, выводит аппарат из пикирования и совершают посадку (рисунок 6.5).

Критерием для выполнения данного упражнения является успешно выполненный полет, заход на цель и посадка БпЛА, исключающие столкновение с земной поверхностью, потерю управления, растерянность при управлении оператора и потерю БпЛА. Контроль качества выполнения упражнения осуществляется двумя инструкторами обучения с использованием второго комплекта FPV-очков, оператор управления заканчивает выполнение упражнения (заход на цель) по команде инструктора «Выводи».

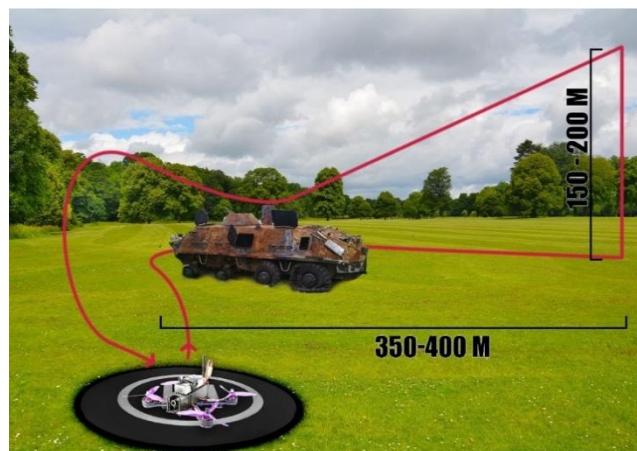


Рисунок 6.7 – Выполнение упражнения №3

Инструктор по результатам сдачи зачета и выполнения упражнений принимает решение об окончании обучения и допуске к самостоятельному управлению в составе расчета.

6.4 Техника безопасности при подготовке к полету, перед взлетом и после посадки

Для проведения тренировочных полетов руководителем занятия выбирается большое открытое пространство, лучше с травяным покрытием. В момент тренировок зона пилотирования должна быть вдали от зданий, линий электропередач, вышек сотовой связи, мест скопления людей, железнодорожных и автомобильных дорог, любых источников сигнала или электромагнитного излучения. Для взлета необходимо выбрать ровную площадку на расстоянии не менее трех метров от препятствий.

Обучающиеся обязаны выполнять команды и требования инструкторов.

Руководитель занятия вправе отстранить обучающихся по состоянию здоровья в случае недомогания (головокружение, тошнота, температура, обильное выделение пота).

Все работы на БпЛА необходимо проводить при отключенном аккумуляторе. Подключение осуществлять непосредственно перед вылетом.

Перед полетом необходимо:

- проверить квадрокоптер на наличие неисправностей, целостность

корпуса, правильность установки лопастей и целостность винтов, двигателей, крепление всех узлов, оборудования и аккумулятора;

– проверить заряд АКБ БпЛА: она должна быть полностью заряжена. Нельзя использовать АКБ с повреждениями, измененной геометрией (вздутием) или оголенными проводами;

– проверить заряд пульта управления;

– при подключении аккумуляторной батареи убедиться, что пальцы рук находятся вне зоны вращения пропеллеров;

– проверить отсутствие уведомлений об ошибках неисправностях (при наличии системы самодиагностики);

– проверить работу системы телеметрии;

– при необходимости откалибровать компас и гироскоп;

– при использовании GPS убедиться в наличии спутников;

– перед взлетом запомнить или записать расчетное время полета;

– отойти на безопасное расстояние, но не менее трех метров;

– выполнить процедуру включения согласно инструкции к дрону.

Взлет БпЛА осуществлять только с разрешения инструктора (командира).

Перед взлетом БпЛА после подачи команды «пуск» убедиться в отсутствии посторонних звуков на пропеллерах.

После отрыва от земли необходимо выполнить контрольное висение – зафиксировать БпЛА в точке отрыва, неподвижно, на небольшой высоте, убедиться в устойчивой работе двигателей, правильной работе стиков и после чего можно начинать полет.

Посадку БпЛА осуществлять под руководством инструктора.

После посадки по команде инструктора «стоп» немедленно отключить БпЛА соответствующей кнопкой на пульте и отключить аккумуляторную батарею.

После посадки проверить двигатели и регуляторы оборотов на отсутствие перегрева. Если двигатель или регулятор горячий, необходимо устранить возникшие неисправности. Если двигатели горячие с одной стороны дрона, это означает, что неправильно распределен вес на раме и квадрокоптер это компенсирует перекос повышенными оборотами [20].

Также необходимо проверить раму, двигатели, крепления на люфт. Проверить визуально плату и электрическую проводку.

6.5 Безопасность полета. Действия оператора FPV-дрона в особых случаях в полете

При полетах на FPV-дронах рядом с оператором обязательно должен находиться помощник «штурман», который поможет в случае необходимости скорректировать маршрут полета, вовремя предупредить об опасности: появлении посторонних предметов в зоне полета, приближении птиц, животных, людей, машин, приближении противника и прочих опасностях.

При выполнении учебных полетов необходимо соблюдать следующие правила:

- выполнять все указания преподавателя (инструктора);
- летать только в обозначенной пилотажной зоне и не допускать вылета за ее пределы, не залетать за собственную спину;
- при выполнении учебных упражнений летать на уровне ниже собственного роста;
- летать в пределах прямой видимости, на расстоянии, позволяющем руководителю занятия (помощнику) убедиться в отсутствии опасности столкновения с окружающими предметами. В случае затруднений в определении местоположения и ориентации БпЛА – немедленно выполнить посадку на месте;
- при управлении БпЛА все движения стиками выполнять аккуратно и плавно, не допускать резких движений. При необходимости быстро изменить направление полета двигать стиками следует энергично, но не резко;
- летать осторожно и выполнять только те элементы пилотажа, которые определены планом проведения занятия. Запрещается выполнять маневры, которые могут привести к причинению вреда здоровью людей, животных, окружающим предметам и имуществу;
- соблюдать скоростной режим. Скорость полета коптера держать в пределах, установленных упражнением;
- вернуть БпЛА в место посадки к расчетному времени, не допускать полной разрядки аккумулятора в полете. Посадку выполнять на ровную открытую площадку вдали от препятствий.
- из-за особенностей оптики FPV-камер при полетах в FPV-очках углы и расстояния до объектов могут восприниматься в искаженном виде, поэтому оператору необходимо привыкнуть к динамике коптера и особенностям определения дистанции до объектов. При обучении полетам в режиме FPV необходимо вначале летать осторожно с небольшой скоростью (5 – 7 км/ч);
- при полетах на высокой скорости учитывать инерцию и просадку коптера, чтобы не допустить столкновения с землей или окружающими предметами.

При полетах на FPV-дронах могут возникать ситуации, при которых дальнейшее применение БпЛА по назначению становится невозможным или высока вероятность его потери. Такие внештатные ситуации называются особыми случаями в полете.

В сложных метеорологических условиях полетов, к которым БпЛА не приспособлен, необходимо принимать все возможные меры по выводу БпЛА из них и принять решение о продолжении или прекращении полетного задания, учитывая воздушную обстановку, метеоусловия и оставшийся заряд аккумуляторов [18].

Тряска коптера при движении в турбулентном потоке (propwash) – это критический режим полета, аналогичный режиму вихревого кольца у вертолета, развивающийся при резком развороте на 180 градусов, или при попытке резко уменьшить вертикальную скорость при быстром снижении квадрокоптера с малой поступательной скоростью. Режим характеризуется тем, что ощущаются «провалы тяги», дрон начинает вибрировать и «надрываться» с

характерным звуком – тяги двигателей не хватает для того, чтобы избежать падения.

Во избежание возникновения явления турбулентности не рекомендуется резко выводить БпЛА из пикирования и выполнять развороты с предельными перегрузками. При вертикальном снижении с большой вертикальной скоростью нужно плавно увеличивать подачу газа [6].

Следующие рекомендации в большей степени актуальны для учебных БпЛА, так как при падении или столкновении с препятствием у боевого дрона скорее всего сработает установленная на нем боевая часть.

При возникновении пожара в полете, если управление по-прежнему возможно, посадите дрон в безопасном месте, вдали от расчета, на негорючую поверхность. Если пожар произошел на земле, дайте аккумулятору прогореть, при необходимости предотвратите распространение пламени с помощью огнетушителя, противопожарного полотна и других подручных средств.

При отказе системы связи следует зафиксировать точку местоположения аппарата во время потери связи, его скорость, высоту, направление полета, остаточный заряд батареи и время полета. Если по истечении предполагаемого остаточного времени полета связь с аппаратом не восстановлена, необходимо предпринять меры по поиску аппарата [19].

При резком падении напряжения на полетном контроллере, снижении мощности двигателей, отказе другого оборудования, предпринять все меры по экстренной посадке БпЛА, исключив свободное падение аппарата [20].

В случае падения следует немедленно отключить аккумулятор от бортовой сети БпЛА и проверить его на предмет отсутствия повреждений, вздутия или возгорания. Если присутствует нагрев, дым или пламя от аккумулятора, нельзя прикасаться к БпЛА руками без огнезащитных перчаток.

Контрольные вопросы

1. Что запрещается при выполнении учебных полетов?
2. Назовите действие оператора при попадании FPV-дрона в метеорологические условия, в которых эксплуатация БпЛА не предусмотрена.
3. Что такое явление турбулентности?
4. Какие действия должен выполнить оператор FPV-дрона при потере мощности?
5. Какие действия должен выполнить оператор FPV-дрона при отказе системы связи?
6. Какие действия должен выполнить оператор FPV-дрона при пожаре в воздухе если управление возможно?
7. Какие действия должен выполнить оператор FPV-дрона при пожаре на земле?

7 НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Основные нормативные правовые акты в сфере БАС:

Основным документом, определяющим нормы воздушного законодательства Российской Федерации, является Воздушный кодекс Российской Федерации, который принимается Государственной Думой. В соответствии с этим документом разрабатываются и утверждаются в установленном Правительством Российской Федерации порядке федеральные правила использования воздушного пространства и федеральные авиационные правила.

Все нормативные правовые акты, применяемые в Единой системе, должны обеспечивать единый разрешительный порядок использования воздушного пространства, систему государственных приоритетов, единых правил, стандартов, процедур.

Федеральные правила использования воздушного пространства, утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. №138, разработаны в соответствии с Воздушным кодексом Российской Федерации и устанавливают порядок использования воздушного пространства (ИВП) Российской Федерации в интересах экономики и обороны страны, в целях удовлетворения потребностей пользователей воздушного пространства и обеспечения безопасности использования воздушного пространства.

Постановлением Правительства РФ от 21 июня 2023 г. №1016 внесены изменения в Федеральные правила использования воздушного пространства в части, касающейся установления запретных зон, зон ограничения полетов и зон полетов беспилотных воздушных судов. Федеральные авиационные правила производства полетов государственной авиации, утвержденные приказом Министра обороны РФ от 24 сентября 2004 г. №275, разработанные в соответствии с действующим воздушным законодательством Российской Федерации и нормативными правовыми актами, определяют порядок производства полетов государственной авиации РФ и обязательны для выполнения всеми авиационными формированиями (авиационными и авиационно-техническими подразделениями и частями, центрами и т.п.).

Порядок производства полетов беспилотных летательных аппаратов Министерства обороны Российской Федерации определен временными правилами производства полетов БпЛА, утвержденными Начальником Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации – первым заместителем Министра обороны РФ 18 апреля 2013 года.

7.1 Основы организации воздушного движения в Российской Федерации

Для эффективного проведения практических занятий с операторами FPV-дронов, инструкторский состав обязан обеспечить своевременную регистрацию БпЛА, используемых в процессе обучения.

Правительства РФ от 19 марта 2022 г. №415 внесены изменения в Правила учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации, (Постановление Правительства РФ 25.05.2019 №658), а именно: «регистрации (учету) подлежат БВС взлетной массой более 0,15 кг».

Заявление о постановке беспилотного воздушного судна на учет предусмотрено пунктом 8 Правил учета (регистрации) БВС в отношении беспилотного гражданского воздушного судна с максимальной взлетной массой от 0,15 килограмма до 30 килограммов, ввезенного в Российскую Федерацию или произведенного в Российской Федерации представляется в Федеральное агентство воздушного транспорта в следующие сроки:

в случае приобретения беспилотного воздушного судна на территории Российской Федерации – в течение 10 рабочих дней со дня приобретения;

в случае ввоза беспилотного воздушного судна в РФ – в течение 10 рабочих дней со дня ввоза;

в случае самостоятельного изготовления беспилотного воздушного судна – до начала его использования для выполнения полетов в воздушном пространстве над территорией Российской Федерации, а также за ее пределами, где ответственность за организацию воздушного движения возложена на Российскую Федерацию.

7.2 Получение разрешения на полеты и производство полетов

Разрешительным порядком использования воздушного пространства является порядок, при котором пользователи воздушного пространства осуществляют свою деятельность на основании планов (расписаний, графиков) использования воздушного пространства при наличии разрешения на использование воздушного пространства.

Поэтому при выполнении полетов БПЛА на высотах выше разрешенных, и массой более 30 кг необходимо получить разрешение на использование воздушного пространства.

Получение разрешения на полеты.

В соответствии со структурой и классификацией воздушного пространства ФП ИВП РФ устанавливается разрешительный или уведомительный порядок использования воздушного пространства.

Разрешительный порядок использования воздушного пространства устанавливается:

а) для пользователей воздушного пространства, чья деятельность не связана с выполнением полетов воздушных судов и осуществляется на основании планов использования воздушного пространства во всем воздушном пространстве Российской Федерации;

б) для пользователей воздушного пространства, выполняющих полеты (за исключением деятельности, указанной в пункте 114 ФП ИВП), а также в

воздушном пространстве класса G – для полетов беспилотных летательных аппаратов.

В воздушном пространстве класса G устанавливается уведомительный порядок использования воздушного пространства.

В классе G – разрешаются полеты, выполняемые по правилам полетов по приборам и правилам визуальных полетов. Эшелонирование воздушных судов не производится. Все полеты по запросу обеспечиваются полетно-информационным обслуживанием. Для всех полетов на высотах ниже 3050 м действует ограничение по скорости – не более 450 км/ч. Воздушные суда, выполняющие полеты по правилам полетов по приборам, обязаны иметь постоянную двухстороннюю радиосвязь с органом обслуживания воздушного движения (управления полетами). При полетах воздушных судов по правилам визуальных полетов наличие постоянной двухсторонней радиосвязи с органом обслуживания воздушного движения (управления полетами) не требуется.

Границы элементов структуры воздушного пространства устанавливаются по географическим координатам и высотам. Границы и условия использования элементов структуры воздушного пространства публикуются в документах аeronавигационной информации.

Организация использования воздушного пространства в зонах (районах) Единой системы осуществляется органами Единой системы ОрВД.

Перечень оперативных органов Единой системы организации воздушного движения РФ утверждены приказом Министерства транспорта РФ от 28 сентября 2020 г №1224-П с изменениями на 27.09. 2021 года.

Пользователи воздушного пространства, осуществляющие полеты в воздушном пространстве класса G, уведомляют соответствующие органы обслуживания воздушного движения (управления полетами) о своей деятельности в целях получения полетно-информационного обслуживания и аварийного оповещения.

При планировании полетов в воздушном пространстве класса G пользователи воздушного пространства обязаны иметь аeronавигационную и метеорологическую информацию.

Использование воздушного пространства беспилотным воздушным судном в воздушном пространстве класса G осуществляется на основании плана полета воздушного судна и разрешения на использование воздушного пространства и осуществляется посредством установления временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений в интересах пользователей воздушного пространства, организующих полеты беспилотных воздушных судов (пункт 52. Федеральных правил использования воздушного пространства РФ).

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 03.02.2020 № 74 «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» (пункт 52.¹) получение разрешения на использование воздушного пространства не требуется в случае выполнения визуальных полетов беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой до 30 кг, осуществляемых в пределах прямой

видимости в светлое время суток на высотах менее 150 метров от земной или водной поверхности:

- а) вне диспетчерских зон аэродромов гражданской авиации, районов аэродромов (вертодромов) государственной и экспериментальной авиации, запретных зон, зон ограничения полетов, специальных зон, воздушного пространства над местами проведения публичных мероприятий, официальных спортивных соревнований, а также охранных мероприятий, проводимых в соответствии с Федеральным законом «О государственной охране»;
- б) на удалении не менее 5 км от контрольных точек неконтролируемых аэродромов и посадочных площадок.

Таким образом выполняя полеты в пределах прямой видимости в светлое время суток на высотах менее 150 метров от земной или водной поверхности, на БпЛА взлетной массой менее 30 кг получение разрешения на использование воздушного пространства не требуется.

Основанием для выполнения полета БпЛА является утвержденный план проведения занятия. Запуск БпЛА без утвержденного плана проведения занятия для выполненные учебных задач запрещен.

План проведения занятия составляется инструктором практического обучения и утверждается командиром подразделения. Приложением к плану проведения занятий является расчет сил и средств, привлекаемых к проведению занятия, в котором указывается потребное количество БпЛА и последовательность выполнения упражнений расчетами БпЛА.

При проведении занятий принцип обеспечения их безопасности является главным, и все усилия личного состава должны быть направлены на его соблюдение.

Учебные занятия по выполнению практических полетов на FPV – дронах включает следующие мероприятия: подготовка БпЛА к работе, подключение и настройка аппаратуры управления, полеты и разбор полетов.

Учебные полеты выполняются в процессе проведения практических (тактико-специальных) занятий.

Решение на подготовку и проведение учебных занятий с учетом стоящих задач, ожидаемых метеоусловий, воздушной и орнитологической обстановки в районе полетов, уровня подготовки расчетов БпЛА состояния комплексов с БпЛА, посадочной площадки, средств управления и обеспечения полетов принимается командиром воинской части еженедельно на основании плана подготовки части на учебный год.

На основании принятого решения командиром подразделения составляется расписание занятий. В котором указываются время, место, привлекаемый личный состав, материально техническое обеспечение, а также отрабатываемые задачи, нормативы и упражнения.

Перед началом учебного дня командир подразделения указывает:

- руководителя занятия (инструктора), наблюдателя за БпЛА;
- основные цели и задачи занятия;
- потребное количество комплексов с БпЛА;

- ожидаемую воздушную, метеорологическую, орнитологическую и наземную (морскую) обстановки в районе полетов;
- порядок подготовки и использования стартово-посадочных площадок (полигонов);
- порядок обеспечения занятия: порядок использования средств связи, поисково-эвакуационного обеспечения полетов, использования средств объективного контроля;
- меры по обеспечению безопасности полетов;
- порядок подготовки расчетов БпЛА и комплексов с БпЛА;
- время и порядок проведения контроля готовности;
- время и место проведения целевого инструктажа перед проведением учебных занятий.

Ни один член расчета БпЛА не может быть допущен к управлению БпЛА без необходимой подготовки и проверки его готовности к выполнению полетного задания.

В день, предшествующий проведению занятий, в часы самостоятельной подготовки, проводится предварительная подготовка расчетов БпЛА к полетам.

Она включает:

- самостоятельную подготовку расчетов БпЛА к полетам;
- тренировку на тренажерах;
- контроль готовности к полетам.

Содержание и продолжительность предварительной подготовки определяется руководителем занятия, в зависимости от новизны и сложности выполняемых задач, уровня подготовки расчетов БпЛА, возможностей учебно-материальной базы. Большая часть времени предварительной подготовки должна отводиться на самостоятельную подготовку. Во всех случаях она должна обеспечивать подготовку расчетов БпЛА к полетам в полном объеме.

Порядок и продолжительность тренировок личного состава расчетов БпЛА на тренажерах устанавливает командир подразделения, исходя из наличия тренажеров и возможностей организации тренировок на них.

Контроль готовности является основным видом проверки расчетов БпЛА перед полетами. Он проводится непосредственными начальниками в форме, позволяющей убедиться в готовности расчетов БпЛА к выполнению полетных заданий. Основной формой контроля готовности расчетов БпЛА к полетам является выполнение полетного задания на тренажере по прохождению предложенной инструктором трассы на тренажере.

При выявлении недостаточной подготовленности расчета БпЛА к полетам контролирующий обязан организовать дополнительную подготовку или отстранить расчет БпЛА от полетов.

Инструктаж расчетов БпЛА к полетам проводится непосредственно перед началом учебных занятий с учетом конкретно складывающейся на это время метеорологической, орнитологической, воздушной и наземной (морской) обстановок.

На инструктаже доводятся:

- время начала и окончания учебных занятий;
- фактическая метеорологическая, орнитологическая обстановки и прогноз погоды в районе (на маршрутах) полетов;
- воздушная, наземная (морская) и навигационная обстановки в районе (на маршрутах) полетов;
- особенности использования средств связи;
- состояние стартово-посадочной площадки;
- особенности выполнения полетных заданий и эксплуатации БпЛА;
- конкретные меры безопасности, обусловленные фактическими метеоусловиями и характером полетных заданий.

Прием и проверка готовности к полетам комплексов с БлЛА, подготовка и проверка рабочих мест перед выполнением полетного задания проводится расчетами БпЛА.

При проведении учебных занятий инструктор доводит до обучающихся учебные и воспитательные цели, учебные вопросы, очередность выполнения летных упражнений, меры безопасности при работе с FPV-дронами. Один инструктор может проводить занятие не более чем с двумя расчетами, при этом на одном учебном месте в воздухе может находиться только один БпЛА.

При проведении учебных занятий запрещается взлетать в случаях:

- если на стартово-посадочной площадке находятся другие БпЛА или препятствия;
- если обнаружены неисправности БпЛА, двигателей и оборудования;
- если скорость ветра (его боковая составляющая) превышает безопасную для данного типа БпЛА;
- в других случаях, если не обеспечивается безопасность взлета.

Подведение итогов проводится в конце рабочего дня с целью исключения повторения ошибок в технике пилотирования, воздушной навигации, эксплуатации систем и оборудования комплекса с БпЛА, при выполнении полетных заданий, а также с целью предотвращения допуска к последующим полетам неподготовленных расчетов БпЛА.

Для подведения итогов используются:

- данные бортовых и наземных средств объективного контроля;
- доклады членов расчета БпЛА, выполнивших полетное задание;
- результаты личных наблюдений проверяющего (инструктора).

7.3 Ответственность за нарушение правил использования воздушного пространства

К нарушениям порядка использования воздушного пространства Российской Федерации относятся:

а) использование воздушного пространства без разрешения соответствующего центра Единой системы при разрешительном порядке

использования воздушного пространства, за исключением случаев, указанных в пункте 114 ФП ИВП РФ;

б) несоблюдение условий, доведенных центром Единой системы в разрешении на использование воздушного пространства;

в) невыполнение команд органов обслуживания воздушного движения (управления полетами) и команд дежурного воздушного судна Вооруженных Сил Российской Федерации;

г) несоблюдение порядка использования воздушного пространства приграничной полосы;

д) несоблюдение установленных временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений;

е) полет группы воздушных судов в количестве, превышающем количество, указанное в плане полета воздушного судна;

ж) использование воздушного пространства запретной зоны, зоны ограничения полетов без разрешения;

з) посадка воздушного судна на незапланированный (незаявленный) аэродром (площадку), кроме случаев вынужденной посадки, а также случаев, согласованных с органом обслуживания воздушного движения (управления полетами);

и) несоблюдение экипажем воздушного судна правил вертикального, продольного и бокового эшелонирования (за исключением случаев возникновения на борту воздушного судна аварийной ситуации, требующей немедленного изменения профиля и режима полета);

к) несанкционированное органом обслуживания воздушного движения (управления полетами) отклонение воздушного судна за пределы границ воздушной трассы, местной воздушной линии и маршрута, за исключением случаев, когда такое отклонение обусловлено соображениями безопасности полета (обход опасных метеорологических явлений погоды и др.);

л) влет воздушного судна в контролируемое воздушное пространство без разрешения органа обслуживания воздушного движения (управления полетами).

Нарушение требований ФП ИВП РФ влечет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

7.4 Штрафы за нарушение порядка использования воздушного пространства

Контроль за соблюдением требований ФП ИВП РФ осуществляется Федеральным агентством воздушного транспорта, органами обслуживания воздушного движения (управления полетами) в установленных для них зонах и районах. Кодексом об административных правонарушениях РФ Части 1 и 2 Статьи 11.4. определены следующие виды ответственности:

1. Нарушение пользователем воздушного пространства Федеральных правил использования воздушного пространства, если это действие не содержит уголовно наказуемого деяния – влечет наложение административного штрафа:

на граждан в размере от двадцати тысяч до пятидесяти тысяч рублей;
на должностных лиц – от ста тысяч до ста пятидесяти тысяч рублей;
на юридических лиц – от двухсот пятидесяти тысяч до трехсот тысяч рублей или административное приостановление деятельности на срок до девяноста суток.

А если это действие повлекло по неосторожности причинение тяжкого вреда здоровью или смерть человека – лишение свободы на срок до пяти лет.

2. Нарушение правил использования воздушного пространства лицами, не наделенными в установленном порядке правом на осуществление деятельности по использованию воздушного пространства, если это действие не содержит уголовно наказуемого деяния – влечет наложение административного штрафа:

на граждан в размере от тридцати тысяч до пятидесяти тысяч рублей;
на должностных лиц – от пятидесяти тысяч до ста тысяч рублей;
на юридических лиц – от трехсот тысяч до пятисот тысяч рублей или административное приостановление деятельности на срок до девяноста суток.

Части 1 и 2 статьи 11.5 КоАП определяют наказание за причинение по неосторожности легкого и среднего вреда здоровью из-за нарушения допуска к полетам или правил подготовки и выполнения полетов. Для граждан наказание в виде штрафа от 1500 до 2000 рублей или лишение права управления воздушным судном на срок от трех до шести месяцев при причинении легкого вреда здоровью, и от 2000 до 2500 рублей или лишение права управления воздушным судном на срок до одного года при причинении среднего вреда здоровью.

Согласно части 5 статьи 11.5 КоАП полет на не поставленном на учет БпЛА наказывается штрафом от 2000 до 2500 рублей или лишением права управления воздушным судном на срок до одного года.

В соответствии с Федеральным законом от 02.12.2019 № 404-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» право временно ограничивать нахождение беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве над местом проведения публичного (массового) мероприятия и прилегающей к нему территории, а также пресекать несанкционированное нахождение беспилотных судов в воздушном пространстве, в том числе посредством уничтожения и повреждения таких судов, подавления или преобразования сигналов дистанционного управления в целях защиты жизни, здоровья и имущества граждан, проведения неотложных следственных действий, оперативно-розыскных и антитеррористических мероприятий могут следующие силовые ведомства:

- Федеральная служба безопасности;
- Министерство внутренних дел;
- Федеральная служба охраны;
- Федеральная служба исполнения наказаний;
- Росгвардия;
- Служба внешней разведки.

Закон разрешает:

– ФСБ может сбивать БпЛА по своему усмотрению без каких-либо ограничений по территории полета, вне зависимости от наличия разрешений.

– МВД может сбивать БпЛА «над местом проведения публичного (массового) мероприятия и прилегающей к нему территории, проведения неотложных следственных действий и оперативно-розыскных мероприятий.

– ФСО имеет право сбивать БпЛА в целях обеспечения безопасности объектов государственной охраны и защиты охраняемых объектов. Без указания ограничений по территориями или других ограничений.

– Органы ФСИН могут сбивать БпЛА при полетах над исправительными учреждениями, следственными изоляторами и прилегающими к ним территориями.

– Росгвардия может сбить БпЛА в целях защиты граждан, служащих, охраняемых ими территорий, объектов, специальных грузов, сооружений на коммуникациях, собственных объектов войск национальной гвардии, над местами выполнения войсками национальной гвардии служебно-боевых задач. Точно определить территории, где БпЛА может быть сбит не удастся.

– Служба внешней разведки имеет право сбивать БпЛА при полетах над территориями их объектов.

Все процедуры разрешения на уничтожение БпЛА разрабатываются перечисленным органами самостоятельно. Принимают решения на уничтожение они же. Отметим, что речь идет исключительно о незаконном, то есть умышленном противоправном и даже террористическом применении БпЛА для слежки или доставки опасных веществ к месту поражения.

Контрольные вопросы

1. Назовите наказание за нарушение правил использования воздушного пространства?

2. БпЛА какой массы надо ставить на учет?

3. Нарушение каких руководящих документов влечет ответственность в соответствии с законодательством РФ?

4. Какие основные нормативные правовые акты в сфере БАС вы знаете?

5. Какое наказание предусмотрено за нарушение пользователем воздушного пространства Федеральных правил использования воздушного пространства, если это действие не содержит уголовно наказуемого деяния?

6. Какое наказание предусмотрено за нарушение правил использования воздушного пространства лицами, не наделенными в установленном порядке правом на осуществление деятельности по использованию воздушного пространства, если это действие не содержит уголовно наказуемого деяния?

7. Какое наказание предусмотрено за причинение по неосторожности легкого и среднего вреда здоровью из-за нарушения допуска к полетам или правил подготовки и выполнения полетов?

8. Какое наказание предусмотрено за полет на не поставленном на учет БпЛА?

8 ОСНОВЫ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА

Основы боевого применения БпЛА, в том числе для FPV-дронов, составляют знания по тактике ведения общевойскового боя, дополненные теорией и практикой подготовки и ведения боя подразделениями беспилотной авиации (БпА), в том числе в условиях радиоэлектронного и огневого противодействия. При планировании и ведении боевых действий следует учитывать закономерности, характер и содержание боя, способы его подготовки и ведения.

Важно осознавать, что тактика применения FPV-дронов постоянно претерпевает изменения ввиду динамичного развития вооружений противоборствующих сторон, что в свою очередь требует своевременной реакции операторов FPV-дронов.

Основным элементом тактики являются тактические приемы, определяемые как избранный порядок маневрирования и применения БпЛА при одиночном и групповом применении.

Целью обучения боевому применению операторов БпЛА является формирование у них навыков в выполнении задач по предназначению в ходе управления FPV-дронами в различных условиях метеорологической, радиоэлектронной и тактической обстановки.

В результате обучения основам боевого применения FPV-дронов операторы должны уметь:

- грамотно и уверенно работать с подвеской ударных нагрузок (выстрелами РПГ, осколочными гранатами и др.);
- правильно выбирать и выполнять тактические приемы выполнения боевых задач по предназначению;
- осуществлять поиск и обнаружение одиночных и групповых малоразмерных и площадных (линейных), стационарных и подвижных, незамаскированных и замаскированных объектов на земной (морской) поверхности и определять их координаты;
- распознавать (идентифицировать) обнаруженные объекты разведки, определять их характеристики и характер деятельности, вести наблюдение за ними.

Несмотря на то что FPV-дроны используются в основном для выполнения ударных задач, **актуальной задачей** для операторов FPV-дронов является также ведение разведывательных задач в том числе в интересах корректировки (обслуживания) стрельбы артиллерии (рисунок 8.1), при этом операторы должны: вести радиообмен с подразделениями артиллерии в ходе корректировки стрельбы; обеспечивать передачу видеопотока руководителям стрельбы артиллерии; правильно и оперативно определять отклонения разрывов снарядов от цели и своевременно производить доклады при корректировке стрельбы.

Для автоматизации процессов информационного обеспечения ударных задач разработаны программно-аппаратные комплексы (рисунок 8.2), обеспечивающие сопряжение аппаратуры (планшетов) операторов расчетов

БпЛА, руководителей стрельбы артиллерии (старшего офицера на батарее), с установленными программными продуктами для обработки

В настоящее время разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс корректировки огня артиллерии, например, программа «Ветерок». Принцип работы оператора БпЛА (FPV-дрона) и привлекаемые для этого средства представлены на рисунках 8.1, 8.2.



Рисунок 8.1 – Совместная работа оператора FPV-дрона и корректировщика

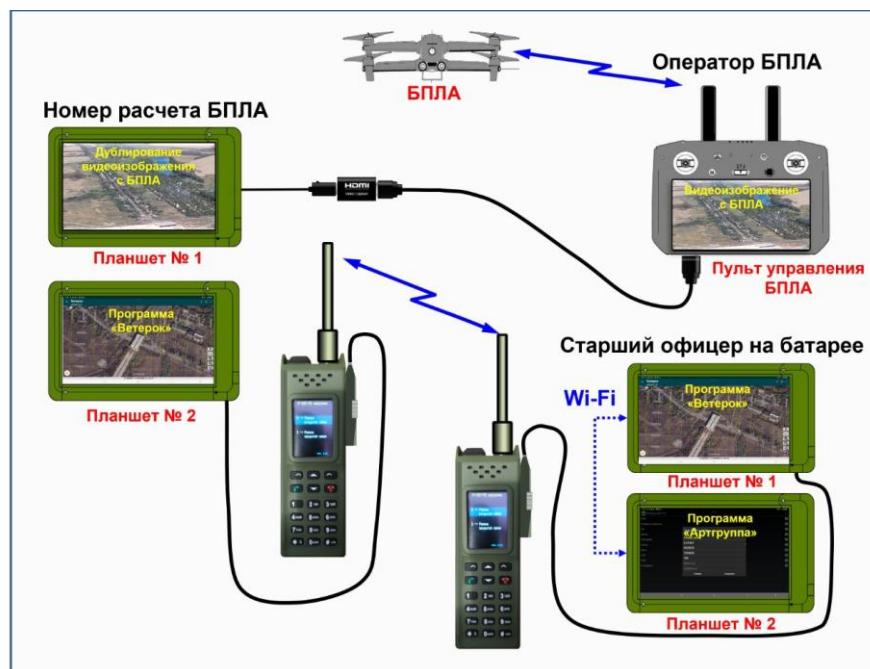


Рисунок 8.2 – Программно-аппаратный комплекс корректировки артиллерийского огня

Целью включения расчетов FPV-дронов в систему поражения является формирование полностью замкнутых разведывательно-ударных (огневых) контуров с максимально возможным ускорением передачи информации,

включающей разведданные и команды управления, при этом должно быть обеспечено:

- максимальное сокращение времени на обработку и передачу данных об обнаруженных объектах огневого поражения;
- селекцию объектов огневого поражения по комплексному критерию, включающему показатели: важность/опасность/удаленность;
- выбор оптимальных (наиболее эффективных) средств для нанесения огневого поражения по выявленным объектам.

Данные разведки расчетов FPV-дронов должны быть органично использованы со всем спектром источников информации (визуальное наблюдение, радио- и радиотехнические средства разведки, средства разведки пилотируемой авиации и БПЛА со средствами видео-, инфра- и тепловизионного обнаружения противника, радиолокационных, акустических, лазерных и других систем добывания информации о типе, и координатах объектов огневого поражения и т.д.)

Система разведывательно-ударных (огневых) контуров с включением расчетов FPV-дронов должна обладать [21]:

- универсальностью применяемых алгоритмов, форматов и протоколов обработки и передачи информации в разведывательно-огневой контур, независимо от используемых программно-технических средств;
- полной совместимостью аппаратно-программных изделий военного и двойного назначения при встречной работе;
- устойчивой обратной связью по результатам огневого поражения разведанных объектов (целей).

Передача (распространение) информации от расчетов FPV-дронов об обнаруженных объектах должны быть не только в адрес старшего начальника (лица принимающего решение) и командира средств огневого поражения, но и всем заинтересованным командирам взаимодействующих элементов боевого порядка (оперативного построения) с целью повышения их ситуационной осведомленности в масштабе времени, близком к реальному.

8.1 Основы тактики применения FPV-дронов

Тактика применения FPV-дронов в ходе СВО определяется с одной стороны устоявшимися постулатами ведения боевых действий, с другой стороны – особенностями СВО.

Наиболее значимым фактором выбора тактики применения FPV-дронов можно считать местность и относительное расположение на ней противоборствующих сторон. Позиции операторов FPV-дронов должны обеспечить противоречивые требования, с одной стороны максимальную радиовидимость БПЛА, с другой стороны максимальную скрытность размещения расчетов БПЛА. Так в условиях городской застройки легче обеспечить скрытность действий, однако остро стоит вопрос с обеспечением дальности прямой видимости. В то же время в полевых условиях, особенно в зимнее время, легче обеспечить максимально возможную дальность прямой

видимости, но при этом решение задачи обеспечения скрытности затруднено, что требует более частой смены позиций расчетами БпЛА.

СВО характеризуется практически равным боевым потенциалом противоборствующих сторон, а именно, как с одной стороны, так и с другой, есть достаточные силы и средства для ведения обороны, преимущественно маневренной, при этом недостаточно сил и средств для ведения эффективного наступления. В связи с этим на ряде участках фронта как таковых интенсивных боевых действий нет, наблюдается «позиционный тупик», а боевые действия носят систематический характер. В этом случае, повышение интенсивности применения FPV-дронов наблюдается при отражении наступления противника. В периоды снижения эффективности ведения боевых действий наблюдаются менее интенсивные полеты, при этом способ выполнения боевой задачи по уничтожению живой силы и поражению техники можно характеризовать как «свободная охота».

Следующим фактором, характеризующим применение FPV-дронов, является уровень обеспеченности подразделений. В случае, когда обеспеченность высокая, FPV-дроны применяются вплоть до ведения «свободной охоты» на отдельных солдат противника.

Фактором, характерным для СВО, является повсеместное применение средств радиоэлектронной борьбы. В связи с этим, при реализации различных тактических приемов, от расчетов БпЛА требуется постоянный контроль радиоэлектронной обстановки и принятие мер радиоэлектронной защиты.

Выбор стартовых площадок в ходе боевого применения FPV-дронов является первостепенной задачей.

Подбор стартовой площадки осуществляется с учетом:

- рабочей дальности комплекса БпЛА;
- возможностей оборудования;
- высоты расположения стартовой площадки и ретранслятора (при его наличии);
- рельефа местности и других мешающих распространению радиоволн объектов.

Чем выше будет расположен оператор FPV-дрона или его ретранслятор, тем дальше будет радиогоризонт и, соответственно, больше места для маневра. Также необходимо учитывать расположение опорных пунктов по обе стороны линии разграничения. Выбирать стартовые площадки рекомендуется на некотором удалении от своего опорного пункта, чтобы не подвергать его риску обстрела в случае вскрытия вашего расположения противником.

Исходя из опыта СВО наилучшим расположением стартовой площадки является максимальное удаление расчета от линии боевого соприкосновения с возможностью гарантированного поражения цели.

В то же время, не следует сильно удаляться от основных сил ввиду того, что может понадобиться различного рода поддержка и обеспечение, например, зарядка аккумуляторных батарей.

8.2 Общие тактические приемы применения БпЛА

В общем случае порядок применения ударных FPV-дронов заключается в том, что предварительно в указанном направлении производится воздушная разведка комплексами с БпЛА ближнего действия или малой дальности, наиболее часто используются БпЛА мультироторного типа (ДЛ, Autel и др). При выявлении потенциальных объектов противника для огневого поражения фиксируется их местоположение, выполняется их идентификация [22]. По защищенным каналам связи выдается целеуказание операторам управления FPV-дронов. С получением информации об объекте поражения противника следует выполнить следующие мероприятия:

- оценку сведений о рельефе местности в районе полетов FPV-дронов: тип местности (лесная, горная), перепады высот земной поверхности, наличие площадок, пригодных для запуска БпЛА, их координаты, состояние дорог и наличие характерных ориентиров назначенных объектов поражения противника;
- выбор основных и запасных стартовых площадок;
- планирование маршрута и высоты полета БпЛА с учетом рельефа местности;
- определение типа средств поражения, в зависимости от указанной цели;
- подготовку оборудования, его настройку при помощи специального программного обеспечения, установку средств поражения на БпЛА.

Следующим этапом идет выполнение специальной задачи расчетом FPV-дронов по поражению выявленных объектов противника. Мероприятия объективного контроля в данный момент производятся расчетами комплексов с БпЛА ближнего действия или малой дальности.

В виде полезной нагрузки для FPV-дронов применяются: тротиловые шашки, выстрел РПГ-7В, КЗ-6, ОФСП 1.7, 2.5 и т.д.

Пилотирование для нанесения удара по цели противника является наиболее сложной в реализации специальной задачей, которая требует от личного состава максимальной концентрации и внимания. Для получения устойчивого навыка огневого поражения объектов противника и его поддержание на высоком уровне необходимы практические тренировки на FPV-дронах и тренажерах (симуляторах).

По итогам применения FPV-дронов выполняется доразведка местности при помощи комплексов с БпЛА мультироторного типа с целью объективного контроля результатов огневого поражения объектов противника.

Структурно-логическая схема порядка применения FPV-дронов по огневому поражению выявленных объектов противника представлена на рисунке 8.3.

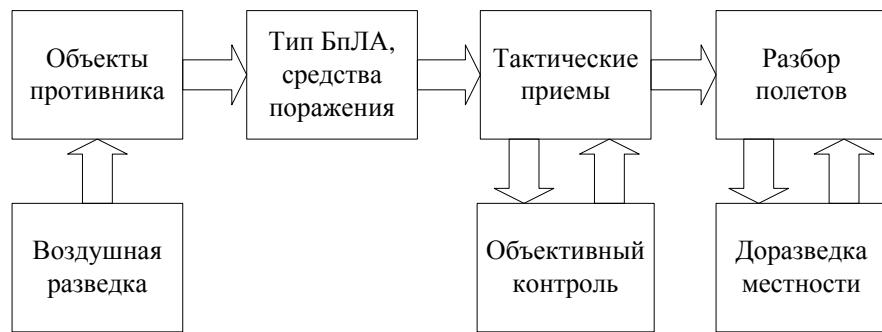


Рисунок 8.3 – Структурно-логическая схема организации применения FPV-дронов

Таким образом, в ходе реализации мероприятий по обнаружению, идентификации, определению местоположения и поражению объектов противника силами и средствами расчетов комплексов с БпЛА важнейшей задачей является выработка верного тактического приема.

Под **тактическим приемом** выполнения разведывательно-ударных задач расчетом комплекса с БпЛА понимается, предварительно запрограммированный или управляемый в ручном режиме, полет одного или нескольких БпЛА в районе выполнения специальной задачи, направленный на полное и внезапное для противника использование боевых возможностей комплекса с БпЛА, его разведывательного и навигационного оборудования, средств огневого поражения, средств командно-телеметрической радиосвязи БпЛА в сложных условиях обстановки с целью успешного выполнения поставленных задач.

Независимо от предназначения, можно выделить содержание каждого тактического приема:

- маршрут полета БпЛА с заданной конфигурацией;
- высота и скорость полета БпЛА;
- участки (зоны) применения полезной нагрузки;
- радиочастотные диапазоны канала управления БпЛА и параметры полезной нагрузки;
- параметры боевого порядка при групповом полете БпЛА (сектора, эшелоны, допустимые расстояния между БпЛА, радиочастоты).

Выбор того или иного тактического приема осуществляется с учетом:

- боевых возможностей БпЛА и его полезной нагрузки;
- типов объектов разведки или огневого поражения;
- физико-географических условий в районе выполнения специальной задачи;
- ожидаемого противодействия средств РЭБ и ПВО противника;
- летно-технических характеристик БпЛА.

Основой тактических приемов по применению FPV-дронов для решения ударных задач является плавное перемещение БпЛА в пространстве без подскоков, с возможностью удержания его на высоте, плавный заход на цель, выдерживание минимальной высоты перед огневым поражением.

В ходе пилотирования на пересеченной местности рекомендуется выполнять следующие тактические приемы:

– **облет препятствий** – выполняется в том случае, когда объектом для поражения является единица вооружения и военной, специальной техники противника и она находится на относительно открытом участке местности. Выполняется взлет по плану, полет по маршруту с огибанием подстилающей поверхности и заходом за естественные препятствия (деревья, кустарники) с различных сторон на требуемую дистанцию, работа в аналоговом сигнале, перед выходом на огневой рубеж выполняется подъем на высоту 60 – 100 м, совершение маневра «пикирование» на объект, уничтожение объекта.

– **полет с заходом в здание (окно, дверной проем)** – выполняется в том случае, когда объектом для поражения назначается расположение личного состава в защитных сооружениях. Для выполнения данной задачи осуществляется взлет, полет по маршруту с огибанием подстилающей поверхности на требуемую дистанцию, влет в здание через проем. Рекомендуется использовать аналоговый режим работы видеопередатчика.

– **пикирование на движущиеся или стационарные объекты противника** выполняется на конечном участке траектории полета FPV-дрона. Для эффективного выполнения тактического приема пикирование должно осуществляться в наиболее уязвимую точку объекта противника.

Поражение обнаруженных целей с применением ударной нагрузки должно осуществляться с учетом наиболее уязвимых места бронетехники противника, например, представленных на рисунке 8.4.

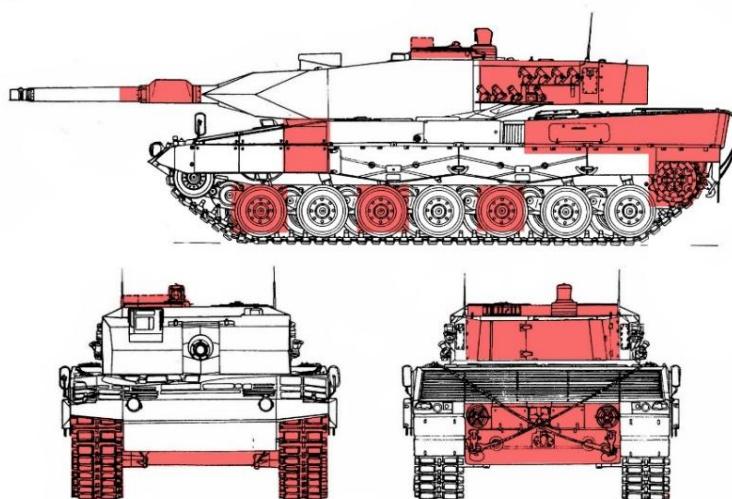


Рисунок 8.4 – Уязвимые места танка «Леопард»

8.3 Выполнение задач разведки и объективного контроля

Основными задачами ведения воздушной разведки операторами разведывательных БПЛА является обнаружение объектов удара, определение их координат, своевременная передача разведывательных данных на пункты управления днем и ночью.

Ведение воздушной разведки должно осуществляться с использованием, как минимум, двух типов датчиков, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

Известны следующие тактические приемы ведения воздушной разведки с помощью БпЛА:

Челночный поиск – выполняется в том случае, когда заданный район разведки является относительно открытым участком местности. При разведке сильнопересеченной или лесной местности данный тактический прием может выполняться с различных направлений. Он используется для поиска групповых и одиночных объектов в тактической и ближней оперативной глубине боевых порядков противника. При выполнении приема зона барражирования представляет собой прямоугольник, одной из сторон которого является отрезок линии заданного маршрута, заданный двумя поворотными пунктами маршрута (ППМ). Другая сторона направлена вправо от указанного отрезка. Барражирование осуществляется в направлениях вдоль отрезка линии заданного маршрута, определяющего одну из сторон зоны барражирования.

Количество проходов в зоне барражирования определяется таким образом, чтобы зона барражирования была полностью охвачена полем зрения разведывательной аппаратуры. Зоны разворотов должны быть вынесены за зону барражирования для обеспечения просмотра зоны на прямолинейных участках полета.

Достоинством приема является относительно простое планирование проведения разведки и облегченная обработка ее результатов в совокупности с результатами других БпЛА. Основным недостатком этого тактического приема является большое время, необходимое для ведения разведки, возможность пропуска движущихся объектов противника.

Один–два разворота на угол до 180° («двумя на 180°») – прием, который выполняется в том случае, если район разведки небольшой и «просмотр» может быть выполнен двумя–тремя проходами.

В случае, когда протяженный объект является нелинейным, личному составу расчетов комплексов с БпЛА необходимо за счет своих профессиональных навыков и умений исключить не просматриваемые участки.

Облет заданного рубежа с несколькими проходами применяется, как правило, при необходимости детального вскрытия объектов с определением координат объектов с высокой точностью. Выполнение данного приема возможно путем линейного или перекрестного патрулирования.

Данный прием является основным приемом разведки при поиске объектов в тактической глубине боевых порядков противника, при передаче разведывательной информации в режиме времени близком к реальному.

Недостатком приема является то, что в сравнении с другими приемами, при его использовании скрытность БпЛА снижена. Наилучшие результаты разведки достигаются при использовании БпЛА с большой продолжительностью полета. Однако в этом случае БпЛА с включенным радиоканалом управления или передачи информации и малой скоростью полета представляет собой заметную цель для тактической и армейской авиации

противника и зенитных ракетных комплексоввойской ПВО.

Для разведки подвижных объектов, перемещающихся по автомобильным, железным дорогам, вне дорог, рекам применяются те же тактические приемы, что и при разведке протяженных объектов.

Зависание в районе ожидания цели – самый распространенный вариант, в связи с перенасыщением линии боевого соприкосновения средствами РЭБ и возможностью поражения собственными огневыми средствами «дружественный огонь». Является наименее энергозатратным способом. Применяется для оперативного выявления целей противника, а также непосредственной поддержки штурмовых подразделений.

Поиск объекта в секторе применяется, как правило, при поиске объектов в известном секторе их возможного нахождения или при групповом полете БпЛА.

Этот прием поиска объекта применяется для обнаружения, в основном, подвижных и малоподвижных объектов на территории противника. В этом случае район сбора разведывательной информации разбивается на отдельные сектора, в каждом из которых выполняет боевую задачу отдельный БпЛА. Данный тактический прием целесообразно применять в условиях отсутствия сплошной линии боевого соприкосновения войск, а также при совершении противником марша и развертывании войск, для разведки резервов противника.

В общем виде последовательность работы расчета FPV-дрона представляет собой:

- выбор позиции для расчета и стартовой позиции дрона;
- подготовка оборудования и постановка дрона на «боевое дежурство»;
- получение целеуказания (обычно от разведывательного БпЛА);
- боевой вылет;
- подтверждение огневого поражения цели средствами объективного контроля;
- повторный вылет в случае необходимости.

8.4 Работа в условиях огневого поражения и радиоэлектронного противодействия силами и средствами вооруженных сил Украины

Расчетам операторов FPV-дронов особенно важно учитывать состав подразделений РЭБ ВСУ на своем направлении. Известно, что особенности тактических действий подразделений РЭБ украинских войск (сил) заключались в ведении РЭБ штатными или временно созданными мобильными (маневренными) группами РЭБ (мг РЭБ) в целях противодействия БпЛА.

Командование ВСУ считает целесообразным задействование таких групп в качестве отдельных подразделений в боевом составе омбр или батальонной тактической группы.

Мобильные группы РЭБ для борьбы с БпЛА в составе ВСУ. Для своевременного обнаружения и противодействия БпЛА в зонах ответственности оперативных командований в 2022 году были созданы

объединенные группы, в состав которых вошли штатные подразделения Р и РЭБ омбр, приданые *маневренные группы радиоэлектронной борьбы* (мг РЭБ). Мобильные группы РЭБ обеспечивали на ряде направлений в полосе шириной до 5 км создание сплошной зоны радиоэлектронного подавления.

В соответствии с методическими рекомендациями «Борьба с БпЛА» наиболее перспективным методом борьбы с БпЛА (в том числе с дронами FPV-типа) командование ВСУ считало радиоэлектронное подавление (РЭП), обеспечивающее постановку помех бортовому оборудованию связи и навигации, а также перехват каналов управления беспилотными аппаратами.

Боевой порядок мобильной группы РЭБ обеспечивал рассредоточенное и скрытое размещение сил и средств с учетом маскировочных и защитных свойств местности, а также возможность оперативного проведения маневра в необходимом направлении.

В зависимости от поставленных задач задействования в интересах войсковых формирований различного уровня *типовой состав мг РЭБ* включал следующие средства РЭБ:

- комплекс РЭБ борьбы с БпЛА «Буковель-АД Р4»;
- универсальную станцию радиопомех «Прометей-МФ5»;
- переносные средства противодействия БпЛА EDM4S-UA, «Джаммерган-3».

Кроме того, для противодействия БпЛА (в том числе дронов FPV-типа) используются следующие средства РЭБ:

- комплекс РЭБ «Анклав»;
- многофункциональный комплекс РЭБ «Полонез»;
- комплекс РЭБ «Хмара-2».

Средства РЭБ ВСУ. Для решения задач РЭБ дронов FPV-типа использовались следующие средства РЭБ украинского и иностранного производства.

Украинский многофункциональный комплекс РЭБ «Полонез» (рисунок 8.5) включает РЛС и оптико-электронный модуль, установленные на телескопической мачте высотой 5,5 м. Они обеспечивают захват и сопровождение обнаруженных целей. Максимальные дальности обнаружения БпЛА - до 10 км. Также в состав комплекса входят блок подавления сигналов команд управления и телеметрии БпЛА, передатчик и формирователь заградительных помех приемникам сигналов КРНС «Навстар» и «ГЛОНАСС». Максимальная дальность постановки прицельной помехи 10 км.

Данные об обнаруженных БпЛА в автоматическом режиме могут передаваться на средства огневого поражения.



Рисунок 8.5 – Мобильный многофункциональный комплекс РЭБ «Полонез»

Комплекс РЭБ «Прометей-МФ5» (рисунок 8.6) предназначен для ведения радиоразведки, подавления каналов управления, навигации и телеметрии БпЛА, беспроводных сетей стандартов Wi-Fi и Wi-Max. Телескопическая мачта высотой 14 м обеспечивает максимальную дальность ведения радиоразведки до 30 км, а радиоподавления до 25 км.



Рисунок 8.6 – Мобильный комплекс РЭБ «Прометей-МФ5»

Комплекс РЭБ «Хмара-2» («Облако-2», рисунок 8.7) предназначен для обнаружения и постановки прицельных помех для подавления сигналов КРНС на дальности до 30 км, а каналов управления БпЛА - до 15 км. Аппаратура станции устанавливается на автомобиле повышенной проходимости.



Рисунок 8.7 – Мобильный комплекс РЭБ «Хмара-2»

Меры помехозащиты. При осуществлении радиоподавления каналов управления целью воздействия является бортовой приемник БпЛА. При осуществлении радиоподавления каналов передачи видео с БпЛА целью воздействия является наземный приемник видео (очки) или ретранслятор. Для повышения эффективности применения FPV-дронов возможно применение следующих мер помехозащиты:

1. Использовать специальную технику полета, которая заключается в сохранении ориентации диаграммы направленности антенн в положении, при котором достигается максимальная мощность сигнала управления. При ориентации антенн управления в горизонтальной плоскости следует избегать маневрирования вблизи цели, поскольку при повороте БпЛА диаграмма направленности его приемной антенны управления может сориентироваться своим минимумом в направлении пульта управления. Поскольку средства РЭБ часто размещаются непосредственно на корпусе цели, а БпЛА всегда размещен к нему передней частью, его диаграмма направленности будет максимальна относительно приемной антенны с любой стороны налета, рисунок 8.8.

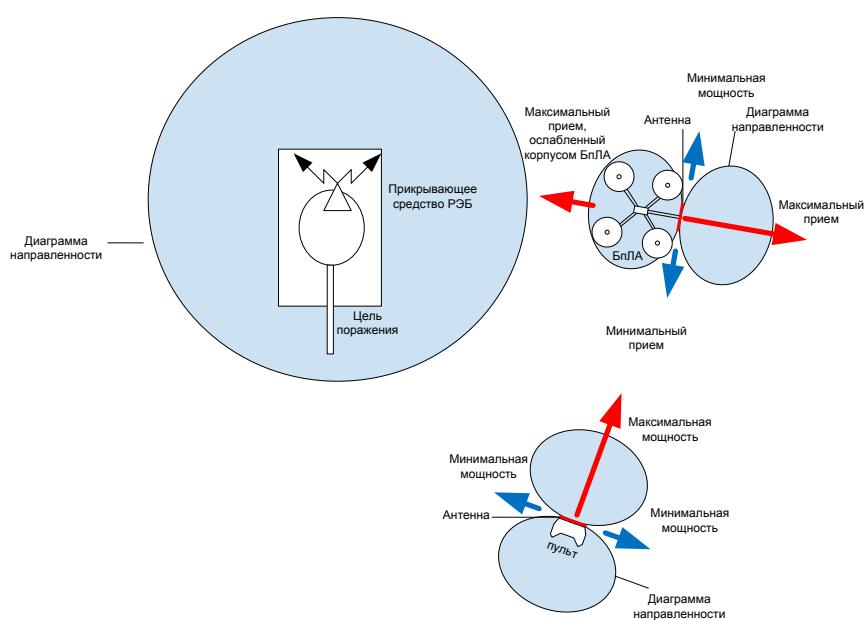


Рисунок 8.8 – Характеристика уровней сигнала от пульта управления на приемнике БпЛА при налете на цель сбоку

Налет следует осуществлять по предварительному целеуказанию, прямолинейно относительно пульта управления, без резких маневров, таким образом, чтобы антенны БпЛА и пульта были размещены параллельно относительно друг друга, рисунок 8.9.

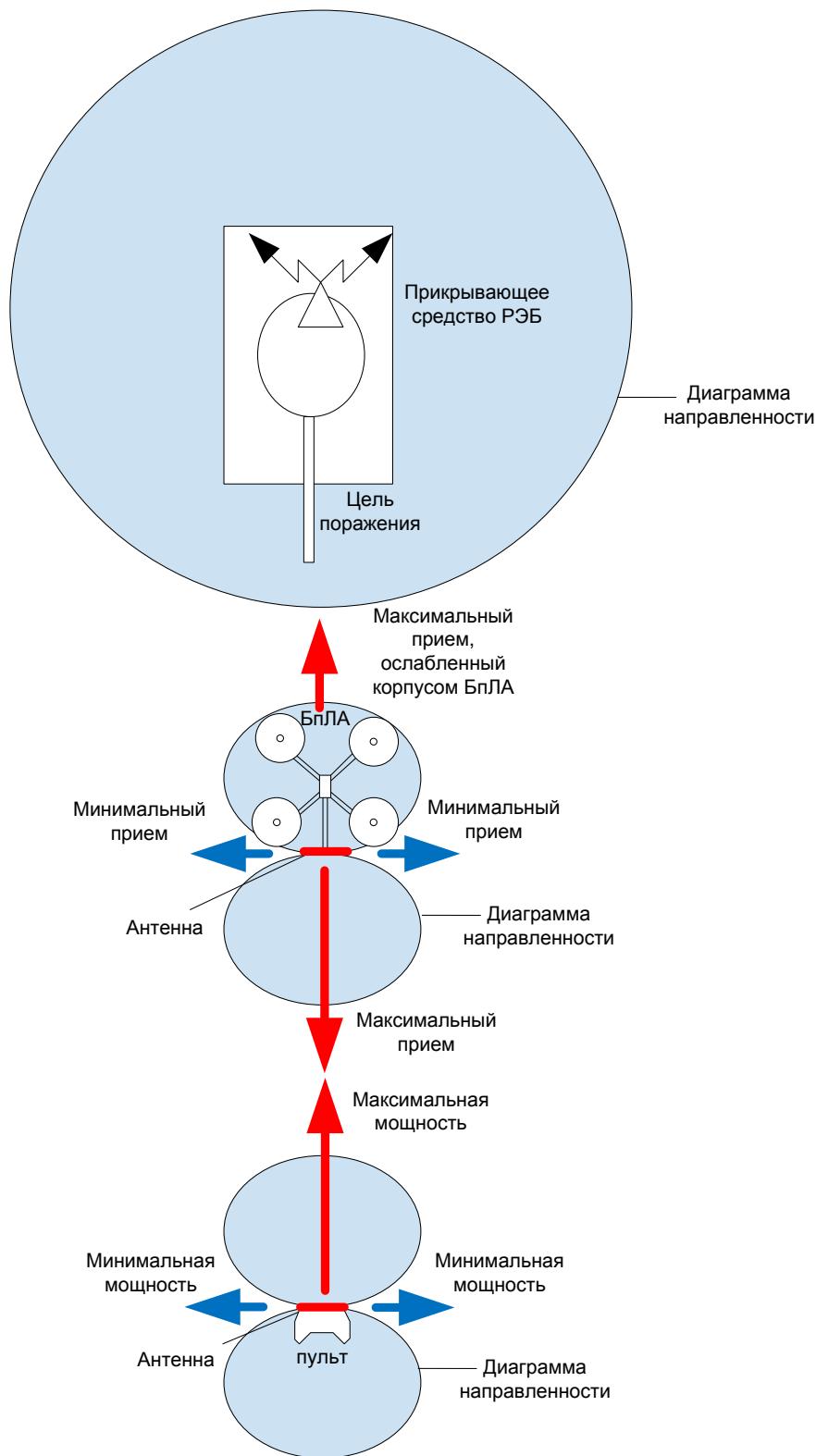


Рисунок 8.9 – Характеристика уровней сигнала от пульта управления на приемнике БпЛА при прямолинейном налете на цель

При применении БпЛА с вертикально размещеными антеннами пульта управления и БпЛА учет указанных особенностей не требуется.

2. При осуществлении полетов в одном районе постоянно изменять поляризацию (угол установки) антенн (вертикальную, горизонтальную, под 45 градусов) в зависимости от применяемых противником средств радиоподавления. Поляризация антенн у БпЛА и пульта управления должна быть одинаковой.

3. Изменять диапазоны частот каналов управления и каналов сброса видео в процессе предполетной подготовки, а также путем применения при сборке БпЛА различных приемников и передатчиков. Комбинировать БпЛА с приемниками управления и передачи видео различных диапазонов на одном направлении применения, чтобы не допустить возможности адаптации средств РЭБ противника.

4. Увеличивать мощность пульта управления (использовать направленные антенны и широкополосные усилители).

5. Использовать ретрансляторы сигналов управления и передачи видео, размещать их на наиболее доступной высоте, в качестве ретранслятора применять БпЛА-носитель.

6. Экранировать antennу канала управления БпЛА спереди (в направлении противника), размещать приемные антенны с задней части корпуса БпЛА. Следует отметить что данная рекомендация в случае поворота дрона может привести к его потере.

7. При настройке данных OSD, накладываемых поверх видео передаваемого с БпЛА, добавлять информацию, которая может ввести в заблуждение относительно принадлежности БпЛА (надписи на украинском языке, характерные для БпЛА противника расположение компонентов и обозначений).

Основу тактических приемов в условиях РЭБ составляют:

– *обход зон радиоэлектронного подавления* достигается выбором маршрута полета FPV-дрона над стыками между подразделениями сухопутных войск, над местностью с минимально возможной вероятностью расположения средств обнаружения противника (болота, лесные массивы, водоемы и т.п.). Маршрут полета должен обеспечить выход на объекты разведки (в зону выполнения специальных задач) с неожиданных для противника направлений и создание благоприятных условий для ведения воздушной разведки и ударных действий;

– *управление траекторией полета FPV-дрона* в случае, когда произошло пропадание видеосигнала и FPV-дрон находится на этапе поиска цели, то необходимо увеличить высоту и продолжить движение, в случае нахождения FPV-дрона на траектории пикирования необходимо удерживать ручки управления (стики) в исходном положении.

Основу тактических приемов противодействия огневому поражению противника составляют:

– *использование благоприятных факторов метеорологической обстановки* основано на том, что в сложных метеорологических условиях

(облачность, наличие дымки, тумана, атмосферных осадков) вероятность обнаружения средствами противника с оптическими, радиотехническими и инфракрасными системами разведки будет минимальна. Заход на объект (в зону выполнения специальных задач) разведки целесообразно осуществлять из облаков и со стороны Солнца;

– выбор рационального боевого порядка заключается в применении одновременно двух БпЛА. Основой тактического приема, уменьшающим вероятность поражения БпЛА огневыми средствами противника при полете парой, являются:

полет парой с использованием отвлекающего БпЛА, при этом при подходе к объекту разведки один БпЛА из пары набирает запрограммированную высоту и отвлекает действия противника. Другой БпЛА выполняет воздушную разведку или поражение объекта противника на оптимальной высоте. Это повышает вероятность выполнения специальных задач вторым БпЛА и уменьшает вероятность его поражения;

полет парой с одновременным выходом на объекты разведки (в зону выполнения специальных задач), при этом БпЛА выходят одновременно или с небольшим временным интервалом с разных направлений и на разных высотах. Этим создается сложная воздушная обстановка для противника и увеличивается вероятность выполнения специальных задач.

Во всех случаях для обнаружения обстрела БпЛА огневыми средствами противника целесообразно использовать телевизионную аппаратуру разведки с целью своевременного совершения маневра и, как следствие, уменьшения вероятности поражения БпЛА.

К основным тактическим приемам преодоления БпЛА средств РЭБ и ПВО противника относятся:

- полет на малых и предельно малых высотах с минимальным временем пребывания над объектом разведки;
- снижение высоты полета БпЛА с максимально допустимой скоростью;
- выполнение маневра «змейка», при нахождении БпЛА в зоне обнаружения, целеуказания, пуска и поражения средствами ПВО.

Для расчета БпЛА ведущего воздушную разведку и целеуказание и взаимодействующего с оператором FPV-дрона, сформированы следующие рекомендации:

1. Разведка малоразмерных объектов (небольших районов) выполняется обычно полетом одиночного БпЛА по маршруту, обеспечивающему обход наиболее опасных зон и выход на заданные объекты.
2. Разведка линейных объектов ведется одиночными БпЛА полетом вдоль объекта.
3. Разведку районов больших размеров необходимо выполнять полетами нескольких БпЛА по параллельным маршрутам.
4. В случае выполнения разведки района больших размеров одним БпЛА осуществляется несколько последовательных проходов по параллельным участкам маршрута.

В каждом конкретном случае выполняются расчеты, и определяется необходимое количество проходов одного БпЛА в зависимости от площади объекта, варианта полезной нагрузки, высоты полета.

Для успешной работы на небольшом расстоянии от линии соприкосновения с противником, следует знать некоторые правила, которые помогут избежать обнаружения. Для небольших коптеров, которые имеют небольшой радиус действия, стоит выполнять набор высоты на фоне каких-то высоких строений, линий ЛЭП, терриконов. Экипажу желательно поднять коптер на небольшую высоту, отогнать в сторону, а затем выходить на рабочую высоту.

В обратном порядке выполняется посадка БпЛА. Крайне нежелательно взлетать и садиться рядом с любыми военнослужащими, неважно, противник это или свои. Дружественные подразделения сбивают БпЛА эффективнее противника, поскольку над противником обстрел ожидаешь и маневрируешь. Если дружественный огонь начался, не пытайтесь сесть или лететь к себе, это просто опасно. Страйтесь подняться вверх и известить стреляющих.

Рекомендуется выполнять снижение по мере возвращения к месту приземления, убедившись, конечно, что это безопасно.

Страйтесь избегать резких поворотов. Плавные повороты сэкономят батарею и не так демаскируют БпЛА, как резкие изменения курса.

Общие требования к действиям расчета FPV-дрона при боевом применении:

не допускать демаскирования позиции;

подготавливать по мере необходимости оборудование к повторному вылету;

в случае возможности огневого поражения позиции, расчету перейти в укрытие либо сменить позицию;

постоянно совершенствовать уровень знаний по конструкции FPV-дронов и боеприпасов к ним, а также программному обеспечению.

8.5 Информационная безопасность

Обеспечение информационной безопасности на практике реализуется следующими способами:

1. Ограничение времени работы оптико-электронных средств БпЛА;

В целях недопущения распространения фотографий и видеоматериалов, следует производить включение оптико-электронных средств уже в районе выполнения специальных задач.

2. Очистка бортового накопителя информации;

Для исключения случаев попадания разведывательных данных в руки противника необходимо всегда удалять без возможности восстановления фотографии и видеоматериалы с бортового накопителя после их переноса на наземную станцию управления. Также требует очистки лог автопилота.

3. Правильная эксплуатация наземной станции управления;

Наземная станция управления является мобильным переносным устройством и предназначена для управления БпЛА и его полезной нагрузкой в

различных режимах работы посредством команд, формируемых в специальном программном обеспечении. Запрещается эксплуатация данного устройства не по своему предназначению, а также без установленной антивирусной программы.

4. Соблюдение безопасности в радиоэфире.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение тактического приема.
2. Дайте определение тактического приема применения БпЛА.
3. Раскройте структурно-логическую схему организации применения FPV-дронов.
4. Раскройте тактические приемы ведения воздушной разведки.
5. Раскройте тактические приемы применения ударных FPV-дронов.
6. Раскройте тактические приемы преодоления БпЛА средств РЭБ и ПВО противника.
7. Назовите порядок выбора стартовых площадок.
8. Назовите типы помеховых воздействий.
9. Назовите требования безопасности при работе с FPV-дронами.
10. Назовите порядок выбора позиции в условиях огневого поражения противником.
11. Назовите ограничения в использовании радиооборудования.
12. Назовите ограничения по использованию площадок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложение курса «Эксплуатация и применение беспилотных летательных аппаратов (FPV-дронов)» завершено. Подведем некоторые итоги изученного материала, с учетом приоритетной целевой аудитории – курсантов военных учебных заведений, прошедших вводные занятия высшей школы.

Курс позволяет приобрести начальные знания и навыки в сжатые сроки обучения операторов FPV-дронов и обладает оригинальным изложением материала. Оригинальность изложения, прежде всего, заключается в попытке объединить теорию и практику в условиях жестких временных ограничений.

Особенностью теоретической составляющей курса является максимально широкий охват начальных знаний и базовых понятий по БпЛА мини класса – FPV-дронам, начиная с основ построения конструкции, заканчивая специальным применением. Подобное содержание призвано дать наиболее целостное представление об объекте и областях знаний, необходимых для его разработки и эксплуатации. В связи с этим обучающийся внимательно изучивший курс, получает хороший старт для дальнейшего самообразования. Так, например, для расширения теоретических знаний достаточно обратиться к содержанию глав пособия и самостоятельно произвести поиск дополнительных материалов.

Применительно к практике, пособие также самодостаточно для обеспечения дальнейшего саморазвития обучающихся. Во-первых, относительно простая радиотехническая декомпозиция конструкции FPV-дrona, представленная в главе 4, позволяет самостоятельно приступить к его сборке под руководством специалистов. Далее, используя материалы главы 5, желающие развиваться в освоении пилотирования FPV-дронов, могут оттачивать навыки полета на тренажере.

Содержание пособия, помимо обучающихся, также может быть полезно и организаторам обучения для составления курса лекций и практических занятий.

В завершении, отметим, что венцом любого начинания являются способности по практическому применению изученной техники, поэтому, обратившись к высказыванию великого русского полководца Суворова Александра Васильевича: «Теория без практики мертвa, практика без теории слепa», пожелаем слушателям курса не терять веры в себя и постоянно совершенствовать свои навыки и умения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качалин А.М., Ларин Е.А., Шутько А.П., Качалина М.А. Управление БпЛА: Учебное пособие. – Москва: РЦ НИИТ МАИ, – 2023. – 156 с.
2. «Авиация». Энциклопедия // под общей редакцией Свищева Г.П. – М.: Научное издательство «Большая Российская Энциклопедия», 1994. – 736 с.
3. Корнилов В. А., Молодяков Д. С., Синявская Ю. А. Система управления мультикоптером // Труды МАИ 62 (2012).
4. Темонова Т.В., Медведев В.П. Основы аэродинамики и гидромеханики: учеб. пособие. Таганрог: ТАВИАК, 2011. – 283с.
5. Хоффман Г.; Хуан Х.; Васлендер С.Л.; Томлин К.Дж., «Динамика полета и управление квадрокоптерным вертолетом: теория и эксперимент».
6. https://t.me/voron_zov
7. <https://oscarliang.com>
8. <https://ProFPV.ru>
9. <https://DronNews.ru>
10. https://t.me/baza_voron
11. https://t.me/FPV_vyZOV
12. <https://RCDetails.info>
13. <https://propwashservice.ru>
14. <https://kcpn.info>
15. <https://topwar.ru>
16. Черный М.А., Кораблин В.И. Воздушная навигация. Издание 4-е, перераб. и доп. М.: АльянС, 2019. – 432 с., ISBN 978-5-91872-103-2.
17. Бакланов И.О. Авиационная метеорология. Учебник / И.О. Бакланов, В.В. Дорофеев, А.Н. Маслобойщиков – М.: Воениздат, 2007 г. – 354 с.
18. Временный курс внештатных операторов беспилотных летательных операторов мультироторного типа, Москва, 2022
19. Методические рекомендации по подготовке операторов скоростных и маневренных беспилотных летательных аппаратов мини-класса: методическое пособие // коллектив авторов Главного научно-исследовательского испытательного межвидового центра перспективного вооружения. Изд.-во: Москва, МО РФ. – 2022. – 62 с.
20. Учебно-методическое пособие по изучению скоростных и маневренных беспилотных летательных аппаратов мини-класса с разведывательно-ударной нагрузкой // коллектив авторов Главного научно-исследовательского испытательного межвидового центра перспективного вооружения. Изд.-во: Москва, МО РФ. – 2022. – 36 с.
21. Памятка командиру по борьбе с танками и боевыми машинами противника в общевойсковом бою. МО РФ, Москва, 2023 г.
22. Чернышев Ю.М., Карпович А.В. Выполнение огневых задач с БпЛА типа квадрокоптер. – СПб.: 2022. –104 с.

