РУКОВОДСТВО НАЧИНАЮЩЕГО ПИЛОТА

FPV-ДРОН СВОИМИ РУКАМИ

Betaflight · EdgeTX · ExpressLRS

От выбора компонентов до первого полета



ТОО Adrome Dynamics · Алматы, 2026

Оглавление

Глоссарий терминов 3
Введение 9
Быстрый старт 13
Выбор размера и формата 15
Протоколы связи: аппаратные и программные 20
Компоненты дрона 26
Видеосистема: аналог и цифра 36
Наземное оборудование пилота 44
Физическая сборка дрона 52
Настройка Betaflight 60
Настройка EdgeTX (черно-белый пульт) 78
Настройка ExpressLRS 83
Настройка ESC на прошивке AM32 88
Финальная проверка и первый полет 90
Типичные ошибки новичков и troubleshooting 96
Ссылки и материалы для дальнейшего изучения 103
Чек-лист пилота (для печати) 107

Глоссарий терминов

Этот раздел вынесен в начало документа намеренно: пока вы читаете остальные главы, вам будут постоянно встречаться сокращения и жаргонные слова из мира FPV. Возвращайтесь сюда всякий раз, когда встретите незнакомый термин, заново искать объяснение по всему документу не понадобится. Термины сгруппированы по темам, и внутри группы расположены по смыслу, а не строго по алфавиту, чтобы связанные понятия оказались рядом.

Дрон и его части

- **FPV (First Person View):** «Вид от первого лица», способ управления дроном, при котором пилот видит картинку с бортовой камеры в реальном времени через очки или шлем, а не смотрит на дрон со стороны.
- **Квадрокоптер:** Летательный аппарат с четырьмя моторами и пропеллерами. В этом гайде речь идет именно о нем, самом распространенном типе дрона.
- **Рама (frame):** Несущая конструкция дрона, обычно из карбона, к которой крепятся все остальные компоненты.
- **FC (Flight Controller, полетный контроллер):** «Мозг» дрона: плата с процессором и датчиками (гироскоп, акселерометр), которая тысячи раз в секунду рассчитывает, как изменить обороты моторов, чтобы дрон летел так, как просит пилот.
- **ESC (Electronic Speed Controller, регулятор оборотов):** Электронная плата, которая по команде FC управляет реальными оборотами каждого мотора. В современных сборках почти всегда используется 4-в-1 ESC, один модуль на все четыре мотора сразу.
- **Мотор (brushless motor):** Бесколлекторный электромотор, вращающий пропеллер. Обозначается цифрами (например, 2207) и параметром KV.
- **KV:** Число оборотов в минуту, которое выдает мотор без нагрузки при подаче 1 вольта. Чем выше KV, тем быстрее и «острее» отклик, но тем меньше крутящий момент.
- **Пропеллер (prop):** Воздушный винт. Размер обозначается в дюймах, например 5", это пять дюймов в диаметре.
- **Стек (stack):** Собранные вместе платы FC и ESC (а иногда и других модулей), скрепленные стойками одна над другой.
- **VTX (Video Transmitter):** Видеопередатчик на борту дрона. Отправляет картинку с бортовой камеры на приемник пилота по радиоканалу 5.8 ГГц (аналог) или по фирменному цифровому каналу.

- **VRX (Video Receiver):** Видеоприемник на стороне пилота: принимает сигнал от VTX дрона и выводит картинку. Может быть встроен в очки, а может быть отдельным наземным модулем с собственным блоком антенн.
- **Air Unit («воздушный блок»):** В цифровых видеосистемах (DJI, Walksnail, бюджетные системы на чипе Artosyn) единый бортовой модуль, объединяющий камеру и VTX.
- **OSD (On-Screen Display):** Экранное меню: телеметрия (напряжение батареи, таймер полета, уровень сигнала), наложенная поверх видеоизображения.
- **Приемник (receiver, RX):** Небольшой модуль на борту дрона, принимающий команды управления от пульта пилота через антенну и передающий их в FC.
- **Антенна:** Приемная или передающая часть радиотракта. У дрона обычно есть минимум две антенны: приемника управления (ELRS) и видеопередатчика.

Электропитание

- **LiPo (Lithium Polymer):** Литий-полимерный аккумулятор, основной тип батарей в FPV из-за высокой отдачи тока при небольшом весе.
- **LiHV (Lithium High Voltage):** Разновидность LiPo с повышенным напряжением полной зарядки на ячейку (4.35 В вместо 4.20 В), немного больше энергии при том же весе.
- **Li-ion 18650 / 21700:** Круглые литий-ионные элементы (цифры в названии обозначают размеры в миллиметрах: диаметр и высота). Отдельные высокотоковые модели используются энтузиастами для самостоятельной сборки батарей повышенной емкости.
- **S (например, 4S, 6S):** Количество ячеек, соединенных последовательно в батарее. Каждая ячейка дает номинально 3.7 В, при полной зарядке 4.2 В. Например, 6S при полном заряде дает 6 × 4.2 В = 25.2 В.
- **P (например, 1P, 2P):** Количество групп ячеек, соединенных параллельно, для увеличения общей емкости. Например, 4S2P, это четыре ячейки последовательно, продублированные дважды параллельно.
- **mAh (миллиампер-час):** Единица измерения емкости батареи: сколько энергии она способна отдать.
- **C-рейтинг:** Показатель максимальной скорости разряда батареи. Максимальный ток в амперах равен емкости в ампер-часах, умноженной на C.
- **XT60 / XT30:** Стандартные силовые разъемы для подключения LiPo-батарей к дрону. XT60 используется для батарей 3S-8S, XT30 компактнее, для менее мощных сборок.

- **SMA / коаксиальный кабель RG:** Стандартный резьбовой разъем для антенн радиочасти (приемник, видеопередатчик, пульт) и коаксиальный кабель, по которому радиочастотный сигнал идет от платы к антенне с минимальными потерями.
- **BEC (Battery Eliminator Circuit):** Встроенный в FC или ESC стабилизатор напряжения, понижающий напряжение батареи до 5 В, 9 В или 12 В для питания камер, приемников, видеосистемы.
- **Балансировочный разъем (JST-XH):** Небольшой разъем с отдельным проводом на каждую ячейку батареи, через него зарядное устройство следит за напряжением каждой ячейки отдельно.

Радиосвязь и протоколы

- **Пульт (radio transmitter, TX):** Устройство в руках пилота, преобразующее движения стиков и переключателей в радиосигнал управления.
- **EdgeTX:** Открытая операционная система (прошивка) для FPV-пультов, о которой подробно рассказано в этом гайде.
- **ExpressLRS (ELRS):** Открытая и самая популярная сегодня радиолиния (протокол радиосвязи) между пультом и приемником дрона, известная низкой задержкой и хорошей дальностью.
- **Crossfire (CRSF):** Радиолиния и одноименный протокол передачи данных от компании TBS, один из пионеров дальней надежной связи в FPV. Сам протокол CRSF унаследован и используется в ExpressLRS.
- **Bind (привязка):** Однократная процедура «знакомства» приемника с конкретным пультом, после которой они всегда соединяются автоматически.
- **Failsafe:** Заранее заданное поведение дрона на случай потери радиосвязи с пультом (например, плавное снижение или полная остановка моторов).
- **Арм / дизарм (Arm / Disarm):** Постановка моторов в готовность к вращению по команде с пульта (арм) и принудительная блокировка этой готовности (дизарм).
- **UART:** Аппаратный последовательный порт на плате FC, базовый способ подключения приемника, GPS, VTX и других модулей.
- **I2C / SPI:** Другие аппаратные интерфейсы связи между чипами на плате. SPI самый быстрый (гироскоп, некоторые приемники), I2C, шина с адресацией (барометр, компас).
- **CRSF (как протокол):** Формат данных, которым обмениваются приемник и FC по UART: команды каналов и телеметрия в одном проводе.
- **GHST (Ghost):** Аналог протокола CRSF от компании ImmersionRC.

- **SBUS / SBUS NI:** Более старый однонаправленный serial-протокол передачи каналов, стандарт компании FrSky. Классический SBUS использует инвертированный электрический сигнал и требует специального входа на плате; вариант SBUS NI (Not Inverted, то есть не инвертированный) можно подключать к любому обычному UART без аппаратного инвертора.
- **MSP (MultiWii Serial Protocol):** Протокол, которым конфигуратор Betaflight и цифровые видеосистемы обмениваются данными с FC. По MSP также нередко подключают GPS, компас и датчики оптического потока с дальномером.
- **DShot:** Цифровой протокол передачи команды газа от FC к каждому ESC (DShot150/300/600), пришел на смену аналоговому сигналу газа PWM.
- **RSSI:** Показатель силы принимаемого радиочастотного сигнала (Received Signal Strength Indicator).
- **LQ (Link Quality):** Процент успешно принятых пакетов радиосвязи, в ExpressLRS более информативный показатель качества связи, чем RSSI.
- **EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power):** Эффективная излучаемая мощность сигнала с учетом усиления антенны, а не только мощности самого передатчика. Именно EIRP, а не «голая» мощность передатчика, регулируется законодательством большинства стран.

Настройка полета

- **PID:** Три коэффициента (Proportional, Integral, Derivative), по которым FC рассчитывает управляющий сигнал на моторы для удержания заданного положения дрона.
- **Rates:** Настройка скорости вращения дрона в ответ на полное отклонение стика, то есть «острота» управления.
- **Expo (экспонента):** Настройка, смягчающая реакцию дрона на небольшие отклонения стика возле центра, оставляя полную скорость у краев хода.
- **Deadband (мертвая зона):** Небольшой диапазон значений стика возле центра, в котором сигнал считается нулевым, чтобы случайные дрожания пальцев не вызывали паразитное движение по соседней оси.
- **Angle mode (режим стабилизации):** Полетный режим для новичков: дрон сам держит горизонт и не может перевернуться, стики управляют углом наклона.
- **Horizon mode:** Промежуточный режим: у центра стика работает стабилизация, у края хода включается акробатическое вращение.
- **Acro mode (Rate mode):** Полностью ручной акробатический режим без автоматического выравнивания, используется опытными пилотами.

- **Air Mode:** Функция, которая не дает дрону терять стабилизацию на минимальном газе, обязательна для нормального полета в акро.
- **GPS Rescue:** Автоматический возврат дрона на точку взлета по GPS при потере радиосвязи или по команде пилота.
- **CHIRP:** Специальный режим Betaflight, в котором дрон сам «прогоняет» моторы по диапазону частот и записывает результат в лог Blackbox. Затем этот лог загружают во вкладку Autotune конфигуратора, и она предлагает готовые настройки вместо ручного подбора PID.
- **Blackbox:** Функция записи всех данных полета (показания гироскопа, команды газа, PID и прочее) на карту памяти или встроенную флеш-память для последующего анализа и тонкой настройки.
- **CLI (Command Line Interface):** Текстовый интерфейс командной строки Betaflight для продвинутой настройки и резервного копирования конфигурации.
- **DFU-режим (Device Firmware Update):** Специальный режим платы FC, в котором она готова принять новую прошивку через USB.

Видеосистема

- **Аналоговое видео:** Классическая видеосистема 5.8 ГГц, передающая обычный телевизионный сигнал (PAL/NTSC) без сжатия: минимальная задержка, но невысокое качество картинки.
- **Цифровое видео (HD-видео):** Современные системы, передающие сжатую картинку высокого разрешения с чуть большей задержкой, чем у аналога.
- **Диверсити (diversity):** Прием сигнала сразу с двух антенн для повышения устойчивости картинки к помехам.
- **Поляризация (RHCP/LHCP):** Ориентация электромагнитной волны антенны. Важно, чтобы VTX на дроне и приемник использовали одинаковую поляризацию, особенно в аналоговых системах, иначе усиливаются переотраженные сигналы (ghosting, замирания картинки).
- **FOV (Field of View):** Угол обзора картинки в очках или объектива камеры.
- **DVR (Digital Video Recorder):** Запись видеопотока на карту памяти. Запись, сделанная на борту дрона (в самом air unit), почти всегда качественнее записи, сделанной в очках пилота: те пишут уже сжатый и переданный по радиоканалу сигнал.

Прочее

- **Freestyle:** Стиль полета с акробатическими трюками, чаще всего на 5" дронах.
- **Long-range:** Полеты на большую дальность, обычно на 7" и крупнее дронах с экономичными моторами и увеличенной емкостью батареи.
- **Tiny Whoop:** Класс совсем маленьких дронов (обычно 2-3") в защитных кольцах вокруг пропеллеров, практически неубиваемых при столкновениях, для полетов в помещении.
- **Threadlock (фиксатор резьбы):** Клей-фиксатор для винтов моторов и силовых элементов рамы, предотвращающий их самопроизвольное откручивание от вибрации.
- **Smoke stopper («защита от дыма»):** Устройство, ограничивающее ток при первом включении питания дрона, чтобы в случае короткого замыкания сгорел не весь стек, а только предохранитель.
- **Conformal coating (защитный лак):** Тонкое изоляционное покрытие для печатных плат, защищающее пайку и электронику от влаги, пыли и вибрации.

Введение

Этот гайд написан для людей, которые никогда раньше не собирали FPV-дроны и, возможно, вообще не имели дела с электроникой или радиосвязью. Мы намеренно объясняем все «на пальцах», без предположения, что вы уже что-то знаете, и опираемся на официальную документацию трех ключевых прошивок: Betaflight (полетный контроллер), EdgeTX (пульт управления) и ExpressLRS (радиосвязь между пультом и дроном), а также на проверенные источники по выбору и физической сборке компонентов. Все описания интерфейса и настроек даны по Betaflight версии 2026.6; EdgeTX и ExpressLRS меняются медленнее, для них подойдут любые актуальные версии.

Мы разбираем типовой FPV-квадрокоптер и параллельно рассказываем, какие варианты размера и комплектации у него бывают: от компактных Tiny Whoop и универсальных 5 дюймов до дальнобойных 7 дюймов. К концу гайда вы будете понимать, из чего состоит дрон, как физически спаять и собрать его компоненты, как настроить все программное обеспечение с нуля и как безопасно выполнить первый полет.

Как читать этот документ

- Если вы совсем новичок, читайте главы по порядку: анатомия дрона, протоколы связи, компоненты, наземное оборудование, физическая сборка, настройка прошивок, первый полет.
- Если вы уже купили готовый набор компонентов (frame kit) и хотите сразу собирать, можно начать с главы «Физическая сборка», а к главам про выбор компонентов возвращаться по мере вопросов.
- Глоссарий в начале документа это ваш лучший быстрый справочник. Не пытайтесь запомнить все термины с первого раза.

Техника безопасности: прочитайте перед тем, как начать

FPV-дрон это не игрушка. Пропеллеры на среднем дроне вращаются быстрее 20 000 об/мин и способны серьезно порезать кожу. LiPo-батареи при неправильном обращении могут загореться. Радиоуправляемая техника подчиняется законам вашей страны об использовании частот и полетах беспилотников. Прежде чем приступать к сборке и тем более к полетам, соблюдайте базовые правила.

- **Пропеллеры снимаются:** пока вы впервые подаете питание на дрон и тестируете моторы, электронику и настройки. Устанавливайте пропеллеры только непосредственно перед вылетом, уже находясь на месте полета.

- **LiPo-батареи:** храните и заряжайте только в специальной защитной сумке (LiPo bag), никогда не заряжайте без присмотра, никогда не используйте вздутую или поврежденную батарею.
- **Первое включение:** нового или измененного стека всегда делайте через smoke stopper (ограничитель тока) и без пропеллеров, это отдельно объясняется в главе про сборку.
- **Первые полеты:** выполняйте только в открытой безлюдной местности, вдали от дорог, людей, животных и построек, в режиме стабилизации (Angle mode) и на небольшой высоте, подробная методика описана в главе «Финальная проверка и первый полет».
- **Законодательство:** полеты беспилотников регулируются законом. Требования для Казахстана разобраны отдельно в главе «Выбор размера и формата», уточняйте актуальные правила в местном авиационном ведомстве до начала полетов, этот гайд их не заменяет.

Анатомия типового FPV-дрона

Прежде чем разбирать компоненты по отдельности, полезно увидеть общую картину: как электрический сигнал и питание проходят через дрон от батареи и пульта до вращающихся пропеллеров и картинки в очках.

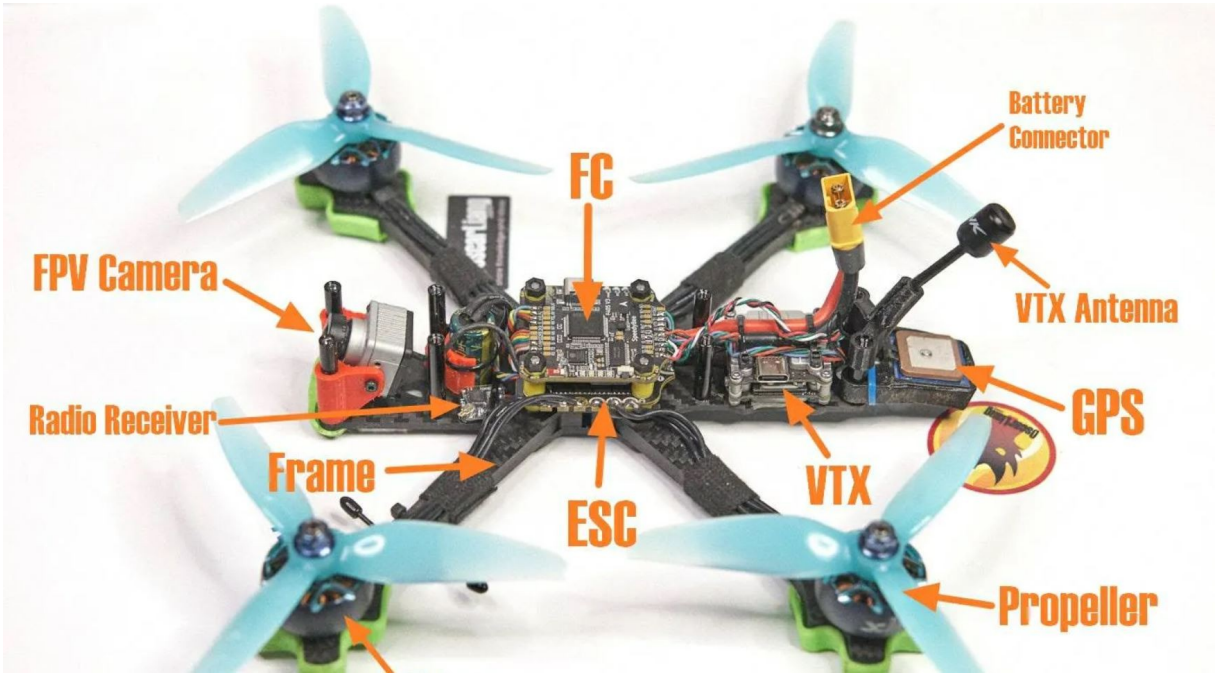


Рис. 1. Основные узлы типового FPV-дрона на собранной раме.

Силовая цепь (питание)

LiPo-батарея подключается к силовому разъему (XT60) на плате ESC. От ESC питание расходится в нескольких направлениях: напрямую к моторам (высокий ток,

толстые провода), а также через стабилизаторы BEC на плату FC, откуда уже стабилизированное напряжение 5 В идет к приемнику, а отдельная линия 9 В или 12 В, если она есть на конкретной плате, питает камеру и видеопередатчик.

Цепь управления полетом

1. Пилот двигает стики и переключатели на пульте (EdgeTX).
2. Пульт кодирует эти движения в радиосигнал по протоколу ExpressLRS и передает его на выбранной частоте (чаще всего 2.4 ГГц, для дальних версий также используется 900 МГц).
3. Приемник (RX) на борту дрона принимает сигнал и передает его в FC по проводному соединению UART в виде протокола CRSF.
4. Полетный контроллер (FC) тысячи раз в секунду считывает показания гироскопа, сравнивает их с командой пилота и через PID-алгоритм рассчитывает, какие обороты нужны каждому мотору.
5. FC передает команду газа на каждый мотор по протоколу DShot на ESC.
6. ESC преобразует эту цифровую команду в реальный трехфазный электрический сигнал, вращающий конкретный бесколлекторный мотор с нужной скоростью.

Цепь видеосигнала

Камера непрерывно передает видеопоток на видеопередатчик (VTX), тот излучает его в эфир на радиочастоте (аналог 5.8 ГГц, либо фирменный цифровой канал). Одновременно FC накладывает на этот видеопоток текстовую телеметрию (OSD): напряжение батареи, время полета, силу сигнала. Видеоприемник пилота (VRX), встроенный в очки или в отдельный наземный модуль, принимает сигнал через свою антенну и показывает итоговую картинку на мониторе. Для увеличения дальности между дроном и пилотом иногда используют отдельные ретрансляторы видеосигнала, такие устройства продают как опциональный аксессуар.

Сводная таблица: кто с кем «разговаривает» и по какому каналу

Связь	Канал / протокол	Что передается
Пульт → приемник дрона	Радиоканал ExpressLRS (2.4 ГГц / 900 МГц)	Положения стиков и переключателей
Приемник → FC	Провод UART, протокол CRSF	Каналы управления и телеметрия обратно
FC → ESC	Провода, протокол DShot	Команды оборотов каждого мотора
ESC → моторы	3 силовых провода на мотор	Реальный ток вращения

Связь	Канал / протокол	Что передается
Батарея → ESC/FC	Разъем XT60, силовые провода	Питание всей системы
Камера → VTX	Видеопровод (аналог) или встроено (цифра)	Видеопоток
FC → VTX (цифра)	Провод UART, протокол MSP	Текст OSD поверх видео
VTX дрона → VRX пилота	Радиоканал 5.8 ГГц или фирменный цифровой	Видеоизображение

Быстрый старт

Гайд получился большим, и читать его подряд с первой страницы не обязательно. Ниже три сценария входа в хобби для каждого и короткий маршрут по главам плюс конкретные варианты, что купить. Выберите тот, который ближе к вашей ситуации, и возвращайтесь к остальным главам по мере вопросов.

Сценарий 1. Хочу просто полететь, собирать ничего не хочу

Самый быстрый путь в хобби: берете готовый комплект «дрон плюс очки плюс пульт» в классе Tiny Whoop и летаете дома. Паять ничего не нужно, дрон уже настроен и летает на Betaflight, так что дальше можно будет разбираться с прошивкой на живом аппарате, ничем не рискуя.

- **Маршрут по главам:** техника безопасности во «Введении», затем «Наземное оборудование пилота» (обязательно раздел про симуляторы), затем «Финальная проверка и первый полет» целиком. Главы про компоненты, протоколы и физическую сборку можно пропустить и вернуться к ним, когда захочется собрать что-то свое. Главу «Настройка Betaflight» открывайте выборочно: Setup, Receiver, Modes и OSD.

Сценарий 2. Хочу собрать дрон сам

Классический путь: пятидюймовый дрон, собранный своими руками. Дольше и требует паяльника, зато вы понимаете, из чего он состоит, и умеете его чинить, а чинить рано или поздно придется.

- **Маршрут по главам:** «Выбор размера и формата», «Компоненты дрона», «Физическая сборка дрона», затем настройка по порядку: Betaflight, EdgeTX, ExpressLRS, AM32, и в конце «Финальная проверка и первый полет». Главу «Протоколы связи» читайте, когда что-то не заведется, там разобрана большая часть причин.

Сценарий 3. Хочу разобраться по-настоящему

Если дрон нужен не только для развлечения, а как понятная и управляемая платформа, читайте все подряд и не пропускайте главу про протоколы: именно она объясняет, почему что-то не работает, вместо того чтобы предлагать готовый рецепт. Симулятор в этом сценарии тоже обязателен.

Что конкретно купить

Ниже четыре проверенных варианта под разные бюджеты и цели. Цены ориентировочные и меняются, состав комплектов производители обновляют, поэтому перед покупкой сверяйтесь с сайтом.

- **Готовый комплект, цифровое видео.** BetaFPV Meteor75 Pro HD FPV Kit, около 320 долларов. В коробке дрон-вуп весом около 52 грамм с цифровой картинкой 1080p, очки VR04, пульт LiteRadio 4 SE, батареи, зарядка и сумка. Летает на Betaflight, готов к полету прямо из коробки. Самый комфортный вход и лучшее качество видео, если бюджет позволяет. Страница комплекта: https://betafpv.com/products/meteor75-pro-hd-fpv-kit.
- **То же самое, но на аналоге и дешевле.** BetaFPV Meteor75 Pro FPV Kit, около 210 долларов. Тот же дрон весом около 45 грамм, но с аналоговой видеосистемой, очками VR03 и пультом LiteRadio 2 SE. Картинка заметно хуже цифры, зато для обучения полету в квартире этого достаточно, а сэкономленное можно потратить на батареи и запчасти. Страница комплекта: https://betafpv.com/products/meteor75-pro-fpv-kit.
- **Самостоятельная сборка 5 дюймов.** Актуальный бюджетный список комплектующих удобно взять у эксперта Oscar Liang: там разобраны два варианта, примерно за 100 долларов на безымянных компонентах и примерно за 230 на брендовых. Мы намеренно не дублируем этот список в гайде: конкретные модели устаревают быстрее, чем сам документ, а автор страницы поддерживает его в актуальном состоянии. Наша задача, объяснить, что означает каждая позиция в этом списке и как все это собрать и настроить. Страница со сборкой: https://oscarliang.com/cheapest-fpv-drone-build/.
- **Для инженерного подхода.** NewBeeDrone LionBee 3" Long Range ELRS AIO Developer Kit, около 160 долларов. Трехдюймовый long-range на одной банке 18650, полетный контроллер AIO с ESC на прошивке AM32, встроенный приемник ExpressLRS. Ключевое отличие от обычного набора в том, что производитель открывает схемы, файлы прошивок, CAD и модели для печати, то есть платформу можно дорабатывать под свою задачу. Батарея в комплект не входит. Страница набора: https://newbeedrone.com/collections/developer-kits/products/newbeedrone-lionbee-3inch-long-range-elrs2-4-aio-developer-kit.

Чего нельзя пропускать ни в одном сценарии

- **Симулятор.** 6-8 часов на любом из симуляторов из главы про наземное оборудование сэкономят вам несколько разбитых дронов. Пульт подключается к компьютеру как обычный USB-джойстик, либо можно использовать стандартный игровой геймпад, так что начать тренироваться можно еще до того, как приедет сам дрон.

- **Технику безопасности и первый полет.** Разделы про пропеллеры, LiPo и методику первого вылета читают все, независимо от того, собирали вы дрон сами или купили готовым.
- **Чек-лист в конце гайда.** Его стоит распечатать и возить с собой хотя бы первые месяцы, внимательно проверяя пункты перед каждым взлетом.

Выбор размера и формата

Размер FPV-дрона принято обозначать диаметром пропеллера, который способна нести рама, в дюймах. В хобби есть четыре ходовых формата: 3 дюйма (компактный, для трюков и тесных пространств), 5 дюймов (универсальный фристайл/гоночный формат и самый популярный выбор), 7 дюймов и крупнее (дальнобойный, long-range) и отдельно стоящий класс Tiny Whoop (совсем маленькие дроны в защитных кольцах). Существуют и более крупные форматы, например 10 дюймов, но это уже тяжелые профессиональные сборки с крупными батареями, не для первого дрона, и в этом гайде подробно не рассматриваются. Хорошая новость: Tiny Whoop, тройки, пятерки и семерки при этом работают на одной и той же прошивке Betaflight, то есть весь материал этого гайда по настройке программной части актуален для любого из этих форматов.



Рис. 2. Форматы FPV-дронов в одном ряду: от Tiny Whoop слева до тяжелых гоночных сборок класса X справа.

Tiny Whoop и 3 дюйма: компактный формат

Tiny Whoop, это класс совсем маленьких дронов (обычно 65-75 мм между моторами, пропеллеры 31-40 мм) в защитных кольцах вокруг пропеллеров. Вес обычно 25-55 грамм, что делает их практически неубиваемыми: такой дрон можно смело бить об стены и мебель, летая в квартире. Это лучший выбор для первого опыта пилотирования именно в помещении.



Рис. 3. Tiny Whoop: пропеллеры полностью закрыты защитными кольцами.

Дроны на 3 дюйма занимают промежуточную нишу: они уже заметно мощнее и быстрее Tiny Whoop, подходят для трюков и полетов в относительно тесных пространствах (лес, помещения побольше), но, в отличие от Whoop, уже не прощают столкновений так же легко. Если основная задача, именно легкий неубиваемый дрон для дома, лучше сразу брать Tiny Whoop, а не облегченную тройку. Если же хочется чего-то среднего между Tiny Whoop и полноразмерным фристайл-дроном для трюков на открытом воздухе, то тройка вполне подходит.

5 дюймов: универсальный формат

Пятидюймовый дрон, самый популярный размер в сообществе, потому что он одинаково хорошо подходит и для акробатического фристайла, и для гонок, и для кинематографичной съемки, и просто для обучения полету. Типичный полностью собранный дрон 5" с батареей весит 600-800 грамм, а его максимальная скорость на хорошей сборке превышает 140 км/ч (у гоночных версий до 180 км/ч).



Рис. 4. Типовой 5-дюймовый фристайл-дрон с экшн-камерой на борту.

- **Плюсы:** лучшая доступность запчастей и готовых наборов, наибольшее количество обучающих материалов и опыта сообщества, отличная маневренность и отзывчивость.
- **Минусы:** время полета на одной батарее скромное, обычно 5-8 минут; дрон слишком мощный и опасный для полетов в помещении.
- **Для чего подходит пятерка:** фристайл (акробатика), дрон-рейсинг, кинематографичные пролеты, обучение. Именно этот формат рекомендуется как первый полноразмерный дрон новичку, и именно на его примере в основном построен этот гайд.

7 дюймов и long-range: дальнобойный формат

Семидюймовый дрон использует более крупные пропеллеры, что делает его заметно эффективнее по расходу энергии на единицу тяги, чем 5". За счет этого он способен нести батарею большей емкости и пролетать значительно дальше, отсюда и название направления: long-range, «большая дальность». Это уже более продвинутый уровень сборки, требующий продуманной работы с моторами, пропеллерами и батареей (подробности в главе про компоненты).

- **Плюсы:** существенно больше дальность и время полета при разумном весе; более плавный, «круизный» характер полета.

- **Минусы:** заметно менее маневренный и отзывчивый, чем 5", не годится для активного фристайла или гонок; крупнее и тяжелее, требует больше места для хранения и транспортировки.
- **Для чего подходит семерка:** дальние исследовательские полеты, съемка ландшафтов, спокойный «круизный» стиль полета; часто комплектуется GPS-модулем и радиосистемой повышенной дальности LRS.

Сравнительная таблица

Параметр	3" (компакт)	5" (универсал)	7" (long-range)
Типичный вес с батареей	150-300 грамм	600-800 грамм	900-1300 грамм и более
Батарея (типично)	3S-4S, 450-850 мАч	4S или 6S, 1300-1800 мАч	6S, 2200-3500 мАч и выше с 21700
Время полета	3-6 минут	5-8 минут	10-25+ минут
Маневренность	Высокая	Высокая	Заметно ниже
Типичное применение	Трюки, тесные пространства	Фристайл, гонки, обучение	Long-range, съемка ландшафтов

Что выбрать новичку

Если основная цель учиться летать на открытом воздухе, то начинайте с 5". Это не только самый документированный и поддерживаемый формат, но и оптимальный баланс между управляемостью, ценой запчастей на замену после неизбежных первых падений и широкой универсальностью применения. Если хочется полетать в квартире или очень стесненных условиях, возьмите отдельно Tiny Whoop, это не конкурент пятерке, а дополнение к ней. К 7" и long-range стоит переходить уже осознанно, имея опыт настройки и полетов на 5".

Законодательство о полетах беспилотников в Казахстане

Прежде чем покупать и уж тем более поднимать дрон в воздух, стоит хотя бы в общих чертах понимать правила. В Казахстане регулятором выступает Авиационная администрация Казахстана, а базовые требования сводятся к следующему (актуальность стоит дополнительно сверить перед полетами, правила время от времени обновляются).

- **Регистрация:** обязательна для беспилотников массой от 250 грамм, а также для аппаратов с камерой независимо от массы. Оформляется через портал

электронных обращений eOtinish, срок рассмотрения до 10 рабочих дней, дрону присваивается персональный бортовой номер.

- **Высота полета:** без отдельного разрешения обычно ограничена десятками метров в контролируемом воздушном пространстве и несколько выше в неконтролируемом. Точные цифры уточняйте по действующим правилам использования беспилотных авиационных систем, они могут меняться.
- **Запретные зоны и условия:** нельзя летать над городами и скоплениями людей, вблизи аэропортов, охраняемых государственных и режимных объектов; полет разрешен только в прямой видимости пилота (VLOS) и в светлое время суток без отдельного разрешения.
- **Ответственность:** за нарушение правил регистрации и использования воздушного пространства предусмотрены административные штрафы (статья 563 КоАП РК), а также возможна конфискация аппарата.

Отдельно учтите: полет в очках, когда пилот видит только картинку с бортовой камеры, прямой видимостью не считается. Обычная практика в таких случаях, брать с собой напарника-наблюдателя, который следит за дроном глазами. Отнеситесь к этому серьезно: летайте на легальном, разрешенном к использованию в вашей стране оборудовании и в разрешенных зонах, а перед конкретным полетом сверяйтесь с актуальной редакцией правил на официальных ресурсах авиационных властей.

Легальность мощных передатчиков и способ увеличить дальность

Отдельно стоит сказать про частоты и мощность радиооборудования, потому что на сетевых маркетплейсах свободно продается много деталей для FPV-дронов, которые абсолютно нелегально использовать в большинстве стран, включая Казахстан. Помимо стандартных частот на 2.4 ГГц (радиоуправление) и на 5.8 ГГц (видео) существуют версии на частоты 300/500/700/900 МГц (радиоуправление) и на частоты 1.2/2.0/3.3/4.5/7.2 ГГц (видео). Отдельная проблема состоит в том, что также свободно продаются усилители сигналов радиоуправления и видеопередатчики повышенной мощности вплоть до 10-20 Вт, которые также категорически запрещены к использованию по закону большинства стран мира.

Использовать такое оборудование с превышением разрешенной мощности или на нелицензированных частотах незаконно, даже если оно свободно продается. Летайте на стандартном разрешенном оборудовании (2.4 ГГц управление, 5.8 ГГц видео, легальная мощность передатчика) и не гонитесь за характеристиками.

Куда более практичный способ увеличить реальную дальность связи состоит в том, чтобы не гнаться за мощностью передатчика, а поработать с антеннами на земле. Наземные панельные патч-антенны на штативе дают хорошее усиление сигнала,

особенно на высоких частотах, и позволяют усилить его в разы, при этом сохраняя достаточно широкий сектор обзора, чтобы не понадобился отдельный антенный трекер. Это самый простой апгрейд: такую антенну можно подключить и к наземному видеоприемнику, и к пульту, тогда дрон будет летать существенно дальше на штатном оборудовании.

Протоколы связи: аппаратные и программные

Эта глава может показаться самой «инженерной» во всем гайде, но она того стоит: почти все проблемы новичка на этапе настройки (приемник не подключается, нет телеметрии, камера не показывает OSD) сводятся к путанице именно в этих понятиях. Мы разберем сначала физические интерфейсы, то есть буквально то, какие провода и по какой логике соединяют платы, а затем протоколы, которые «разговаривают» через эти провода.

Аппаратный уровень: как платы физически обмениваются данными

Любая пара электронных плат в дроне (например, FC и приемник) должна физически соединяться проводами по одному из нескольких стандартных интерфейсов. Важно не путать интерфейс (физический способ передачи битов) и протокол (то, как эти биты складываются в осмысленные команды): это разные уровни, и один и тот же интерфейс может нести разные протоколы.

UART: универсальный асинхронный приемопередатчик

UART, самый распространенный интерфейс в FPV. Это пара проводов: TX (transmit, передача) и RX (receive, прием). Данные идут побитно, без отдельного тактового провода, обе стороны заранее договариваются о скорости передачи в битах в секунду (baud rate). Если скорости не совпадают, вместо данных получится нечитаемый «шум», это одна из самых частых ошибок новичка.

- **Важное правило подключения:** TX одного устройства всегда соединяется с RX другого, и наоборот, «крест-накрест». Если соединить TX-TX и RX-RX, связи между двумя устройствами не будет.

На плате FC обычно есть несколько независимых UART-портов, пронумерованных (UART1, UART2, UART3 и так далее). Каждый порт в конфигураторе Betaflight на вкладке Ports назначается под конкретную задачу: прием от радиоприемника, GPS-модуль, настройка VTX, связь с цифровой видеосистемой и так далее. Обязательно сверяйтесь с распиновкой конкретной платы на сайте производителя: у каждой модели FC своя нумерация UART и свое расположение площадок TX/RX, а универсальной для всех плат схемы не существует. Подробно про настройку портов рассказано в главе про Betaflight.

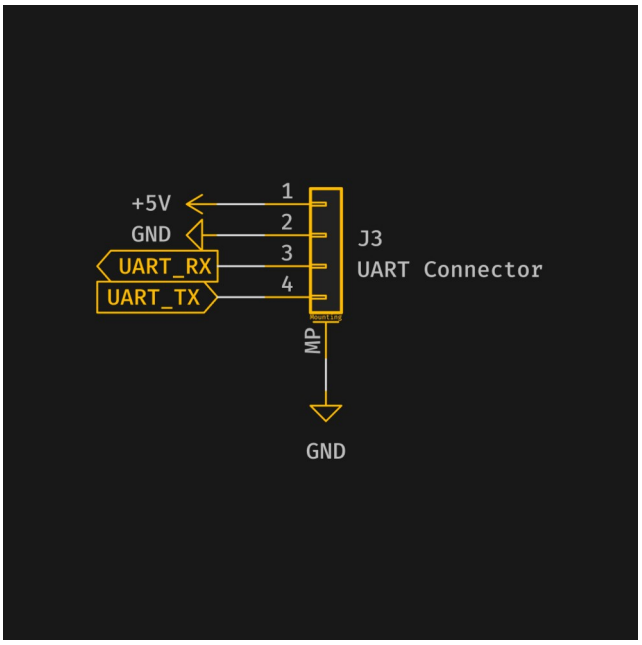


Рис. 5. Схема стандартного UART-разъема на плате полетного контроллера (Betaflight Connector Standard).

I2C: шина с адресацией

I2C использует всего два провода, SDA (данные) и SCL (тактовый сигнал), но, в отличие от UART, к одной паре проводов можно подключить сразу несколько устройств: каждое отличается своим уникальным адресом. В типовом фристайл-дроне без GPS и барометра I2C почти не используется, эта шина чаще встречается на дронах с компасом, барометром или внешним OSD-модулем. Для новичка достаточно знать: если производитель платы говорит «подключите барометр по I2C», то это именно эта пара проводов, SDA и SCL.

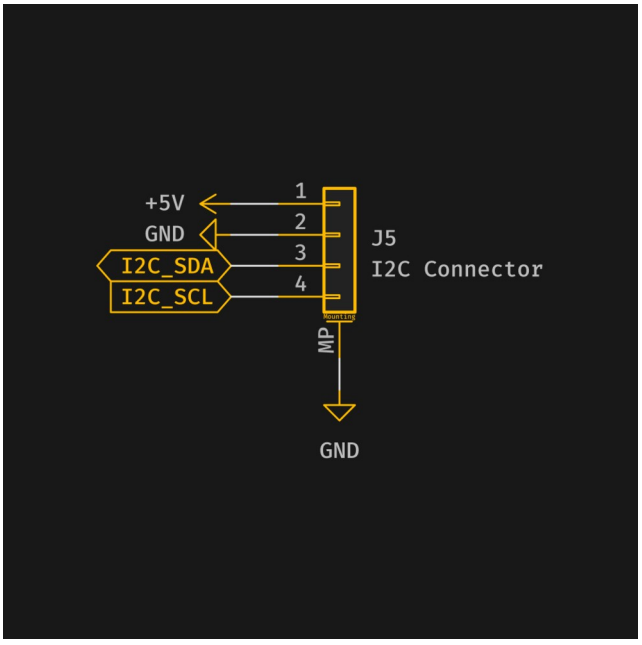


Рис. 6. Схема I2C-разъема (SDA/SCL) на плате полетного контроллера.

SPI: самый быстрый интерфейс

SPI, интерфейс с несколькими линиями (минимум четыре: MOSI, MISO, SCLK и выбор устройства CS), обеспечивает самую высокую скорость обмена данными среди рассмотренных здесь. Именно по SPI на плате FC всегда подключен гироскоп и акселерометр: скорость критична для стабилизации полета в реальном времени. Второе распространенное применение в современных сборках, SPI-приемники ExpressLRS, впаянные прямо на плату FC: вместо отдельного модуля-приемника на UART радиочип ELRS соединяется с процессором напрямую по SPI, что экономит вес, место на раме и один порт UART.

PWM и PPM: предшественники цифровых протоколов

До массового распространения цифровых serial-протоколов каналы управления передавались другими способами, которые сегодня почти не встречаются в новых сборках, но знать о них полезно для общего понимания.

- **PWM (Pulse Width Modulation):** длительность электрического импульса (обычно от 1000 до 2000 микросекунд) кодирует один канал управления. Проблема в том, что на каждый канал нужен отдельный провод, то есть 8-канальный приемник имел 8 отдельных выходов и толстый жгут проводов.
- **PPM (Pulse Position Modulation):** «упаковывает» несколько PWM-каналов последовательно в один провод, решая проблему количества проводов, но все еще уступая в точности и помехоустойчивости современным цифровым протоколам.

Сегодня оба способа вытеснены цифровыми serial-протоколами (SBUS, CRSF, GHST), которые точнее, устойчивее к помехам и позволяют передавать телеметрию обратно на пульт по тому же проводу.

Программный уровень: протоколы поверх UART

Когда две платы физически соединены по UART, они должны «договориться» о формате передаваемых данных, это и есть протокол. В FPV-хобби используется несколько протоколов, каждый со своим назначением.

CRSF (Crossfire Protocol)

CRSF, протокол, изначально разработанный компанией TBS для своей радиосистемы Crossfire, впоследствии принятый как стандарт для ExpressLRS. По одному соединению CRSF передаются сразу две вещи: команды каналов управления (от пульта к дрону) и телеметрия (напряжение батареи, GPS, RSSI и другие данные, обратно от дрона к пульту). Между приемником и FC используется стандартная скорость около 420000 бод. Именно поэтому для приемника

ExpressLRS в типичной сборке достаточно одного UART-порта, отдельный провод под телеметрию не нужен.

GHST (Ghost)

GHST, протокол компании ImmersionRC, решающий ту же задачу, что и CRSF: передачу каналов и телеметрии по одному проводу. Он используется с радиосистемой Ghost этого же производителя и по назначению полностью аналогичен CRSF, это, по сути, конкурирующий отраслевой стандарт. Для новичка, выбравшего связку EdgeTX и ExpressLRS (основной сценарий этого гайда), GHST не понадобится, он актуален только при использовании оборудования ImmersionRC.

SBUS и SBUS NI

SBUS, более старый протокол компании FrSky, тоже serial, но однонаправленный: он передает только команды каналов от приемника к FC, без встроенной телеметрии в этом же проводе. Классический SBUS использует инвертированный электрический сигнал (логические уровни «перевернуты» относительно обычного UART), и раньше для его подключения на некоторых платах требовался отдельный аппаратный инвертор или специально промаркированный вход. Современные прошивки полетных контроллеров умеют работать и с неинвертированной версией сигнала (SBUS NI в настройках порта означает именно то, что сигнал не инвертирован), которую можно подключать к любому обычному UART без каких-либо дополнительных ухищрений. Сегодня SBUS реже встречается в новых FPV-сборках, но остается стандартом во многих бюджетных приемниках и на классических RC-моделях (самолеты, вертолеты).

MSP (MultiWii Serial Protocol)

MSP, «родной» протокол Betaflight для двусторонней связи FC с внешними устройствами. У него несколько применений. Во-первых, именно по MSP конфигуратор Betaflight на компьютере общается с полетным контроллером через USB. Во-вторых, и это критично важно для современных цифровых видеосистем, по MSP передается так называемый MSP Displayport: текст OSD (телеметрия, показатели полета), который FC хочет наложить на видео, отправляется по UART на «воздушный блок» цифровой системы, а тот уже сам рисует эту графику поверх видеопотока. Это принципиальное отличие цифровых систем от аналоговых: в аналоге OSD рисуется отдельным чипом прямо на плате FC (OSD-чип), и никакого MSP для этого не требуется. В-третьих, по MSP к полетному контроллеру часто подключают недорогую дополнительную периферию: GPS-модули, компас (как альтернативу подключению по I2C), а также популярные у пилотов внутри помещений датчики оптического потока (Optical Flow) вместе со встроенным

дальномером, которые позволяют дрону удерживать позицию на небольшой высоте без GPS.

DShot

DShot, цифровой протокол передачи команды газа от FC к каждому ESC, пришедший на смену старому аналоговому PWM-сигналу газа. Направление всегда одно: от FC к ESC, по отдельному проводу на каждый мотор. Пакет данных состоит из 16 бит: 11 бит, значение газа (2048 возможных градаций), 1 бит запроса телеметрии и 4 бита контрольной суммы для проверки целостности пакета.

Вариант DShot	Скорость передачи	Когда используется
DShot150	150 000 бит/с	Частота PID-loop 2 кГц, медленные и старые процессоры
DShot300	300 000 бит/с	Частота PID-loop 4 кГц, бюджетные платы на F4
DShot600	600 000 бит/с	Частота PID-loop 8 кГц, современные платы F7 и H7, значение по умолчанию

По умолчанию Betaflight ставит DShot600, и для современных плат на F7 и H7 это правильный выбор. На более слабых платах, где частота PID-loop опущена до 4 кГц, соответствующий вариант это DShot300. Отдельный нюанс касается сборок, где ESC не собраны в единый модуль 4-в-1 на стеке, а расположены по отдельности на лучах рамы (так называемые распределенные ESC): чем длиннее провод от FC до конкретной ESC-платы, тем менее надежно передается высокоскоростной сигнал. Если на такой сборке DShot600 дает сбои или нестабильную работу мотора, разумно понизить протокол до DShot300, чтобы повысить надежность передачи ценой небольшой потери в скорости отклика.

Главные преимущества DShot перед старым аналоговым сигналом: он не требует ручной калибровки ESC, устойчив к электромагнитным помехам, а ESC умеет проверять контрольную сумму пакета и просто отбрасывать поврежденные данные вместо ошибочного выполнения команды. Отдельного упоминания заслуживает Bidirectional DShot (двунаправленный DShot), расширение протокола, которое добавляет обратный канал: ESC передает назад в FC данные о реальных оборотах мотора по тому же проводу. Это используется динамическим фильтром шума по оборотам (RPM filter), очень важной функцией для получения чистого сигнала с гироскопа на высоких оборотах моторов.

Сводная схема протоколов в типовой сборке

Участок цепи	Интерфейс	Протокол
Пульт → приемник дрона	Радиоканал	ExpressLRS (на CRSF)
Приемник → FC	UART	CRSF
FC → цифровой VTX	UART	MSP (Displayport)
FC → аналоговый VTX	UART, телеметрия	SmartAudio и IRC Tramp
FC → ESC	Отдельные провода на мотор	DShot300 или DShot600
FC → компьютер (конфигуратор)	USB	MSP
Гироскоп → процессор FC	SPI (на самой плате)	внутренний
GPS/компас/optical flow → FC	UART или I2C	MSP или I2C

Компоненты дрона

В этой главе мы подробно разбираем каждый компонент дрона по отдельности: за что он отвечает, на какие характеристики смотреть при выборе и какие значения типичны для разных форматов. Цифры в этой главе основаны на актуальных обзорах оборудования и опыте сообщества и предназначены как ориентир, а не как единственно верный выбор.

Рама (frame)

Рама, несущий скелет дрона, к которому крепятся все остальные компоненты. Размер рамы измеряется как расстояние по диагонали между центрами противоположных моторов в миллиметрах (wheelbase) и классифицируется по максимальному диаметру пропеллера в дюймах, который она способна вместить.

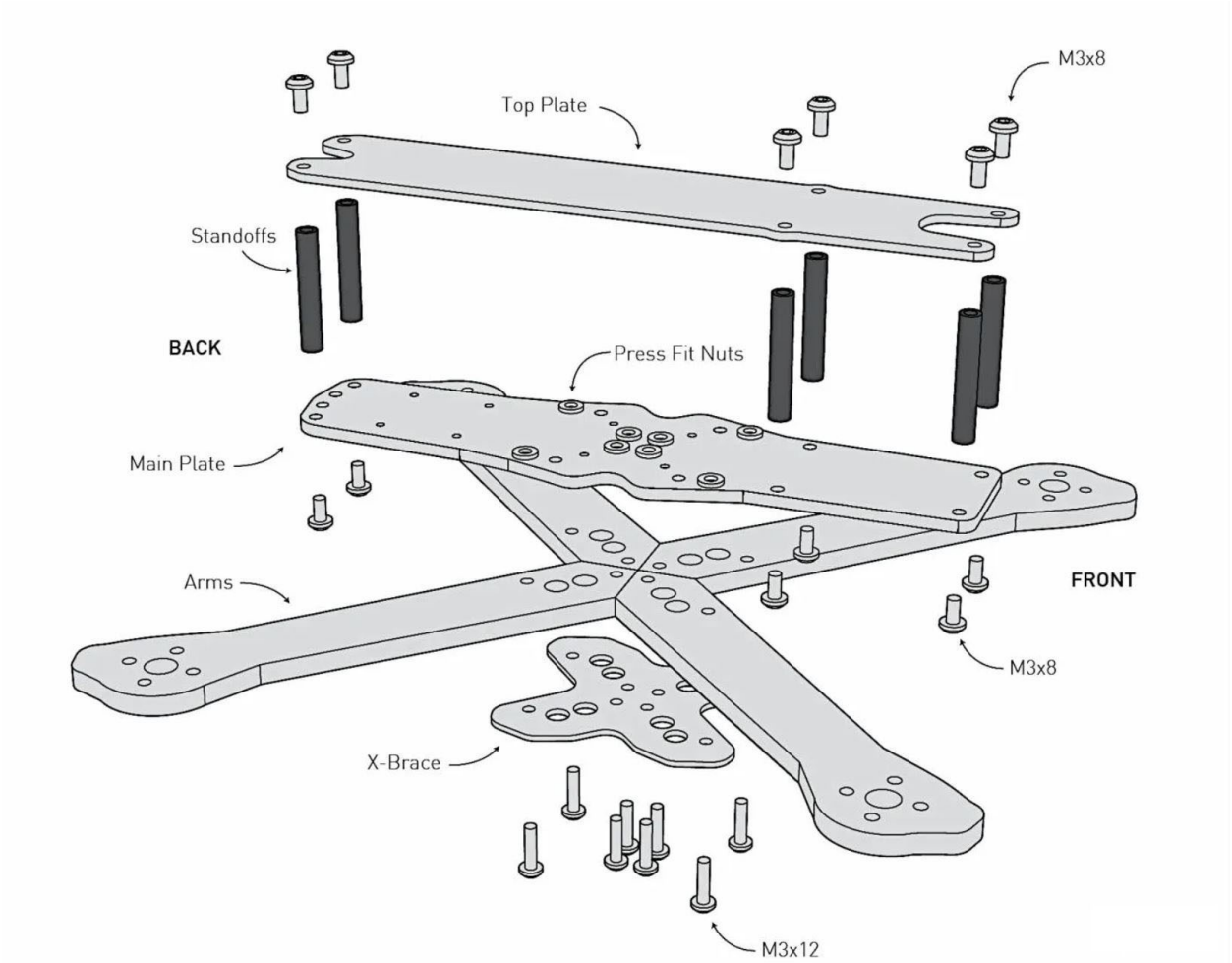


Рис. 7. Из чего состоит типовая рама: нижняя и верхняя пластины, лучи, стойки.

Класс	Wheelbase	Толщина лучей
3" (малый)	120-150 мм	2-3 мм
5" (популярный)	180-220 мм	3-5 мм
7" (дальний)	280 мм и более	5 мм и более
10" и крупнее	400 мм и более	5 мм и более с усилениями, тяжелые премиальные сборки

- **Материал:** почти всегда карбоновое волокно, легкое и очень жесткое при небольшом весе. Минусы карбона в том, что он проводит электричество (есть риск короткого замыкания при контакте с оголенными проводами) и он немного ослабляет радиосигнал, если антенны подходят слишком близко к пластинам.
- **Unibody vs Modular:** у unibody-рамы плечи и нижняя пластина вырезаны из одного листа карбона, легче, но при поломке одного плеча приходится менять всю нижнюю пластину. У modular-рамы плечи съемные и крепятся отдельно между двумя пластинами, чуть тяжелее, но чинить намного дешевле и проще, рекомендуется новичку, у которого падений будет много.
- **Геометрия:** True-X (все четыре плеча пересекаются точно в центре, равное расстояние до всех моторов, наиболее предсказуемое поведение по крену и тангажу), Stretch-X (передние и задние плечи немного дальше друг от друга, чем боковые, уменьшает попадание пропеллеров в кадр камеры) и H-frame (плечи расположены перпендикулярно, больше свободного места внутри, но менее маневренная геометрия).
- **Крепеж силовой части:** во многих карбоновых рамах, особенно крупных 7" и больше, лучи крепятся к центральной крестовине через закладные резьбовые крепежи. Эту силовую часть рамы стоит собирать на фиксаторе резьбы (threadlock) точно так же, как и крепления моторов, иначе от вибраций крепеж со временем ослабевает.

Полетный контроллер (Flight Controller, FC)

FC, центральный процессор дрона со встроенным гироскопом и акселерометром. Он определяет, какими вычислительными мощностями и функциями будет обладать вся система.

Процессор	Тактовая частота	Особенности
F405	168 МГц	Бюджетный вариант, ограниченная память под дополнительные функции
F722 / F745	216 МГц	Быстрее F405, но у F722 еще меньше памяти, ограничивает будущие функции
H743 (H7)	480 МГц	Рекомендуемый стандарт: запас памяти и мощности под все современные функции

Сегодня разумно сразу ориентироваться на процессор H743: современная прошивка Betaflight умеет включать в себе различные «умные» функции (удержание высоты и позиции, полноценный GPS-возврат, фильтрация по оборотам моторов, поддержка сервоприводов, запись логов Blackbox и другие), а все они требуют заметно больше памяти и вычислительной мощности, чем может дать бюджетный F405 или даже F7. Остальные варианты процессоров можно рассматривать как временное или бюджетное решение, но плата на H743 с запасом закрывает потребности на годы.

- **Гироскоп:** современный отраслевой стандарт, ICM-42688-P; на некоторых платах используется BMI270, если выбираете плату с этим гироскопом, убедитесь, что производитель реализовал качественную фильтрацию.
- **Размер стека:** 30.5×30.5 мм, стандарт для 5" и 7"; 25.5×25.5 мм для легких компактных сборок; 20×20 мм для ультракомпактных дронов.
- **BEC:** почти все платы дают стабилизированные 5 В для приемника RX, более продвинутые модели дают еще и отдельную чистую линию 9 В или 12 В специально под видеосистему (камера и VTX), за которой обычно стоит LC-фильтр, сглаживающий помехи.
- **На что смотреть при выборе:** число доступных UART-портов (для приемника, GPS, VTX, телеметрии - чем больше, тем гибче), совместимость по напряжению батареи (4S/6S/8S), встроенный OSD-чип (нужен для аналогового видео), тип разъема USB (предпочтительно USB-C).
- **Ориентация платы:** на плате FC нанесена стрелка, показывающая направление «вперед». Если расположить FC этой стрелкой строго по направлению полета, дополнительно указывать в прошивке разворот ориентации не понадобится. У многих стеков разъем между FC и ESC короткий и физически подходит только в одном положении, то есть если правильно сориентировать FC, то и ESC под него встанет тоже правильно сам по себе.

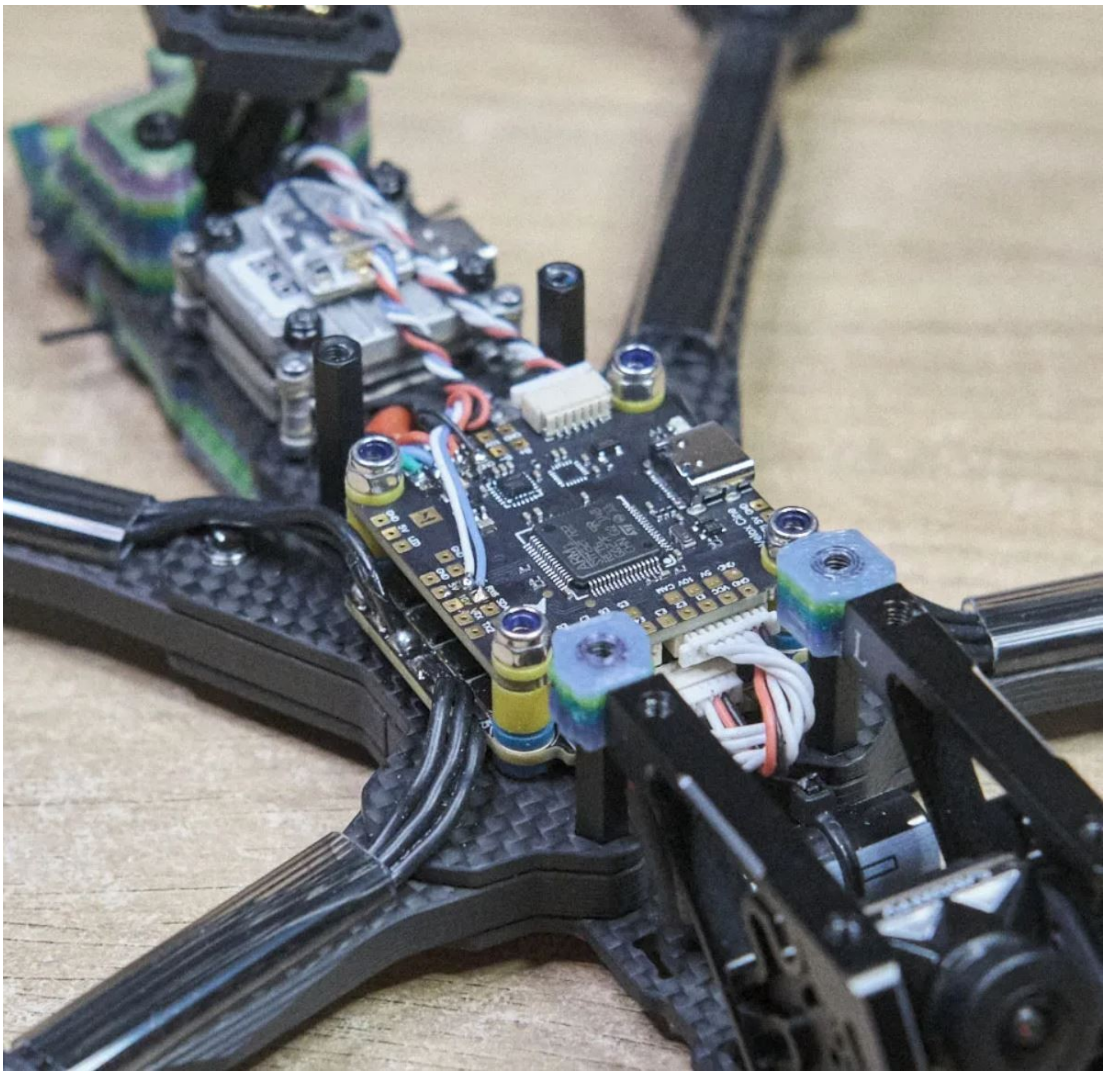


Рис. 8. Стек из плат FC и ESC, установленный в раму на резиновых демпферах.

ESC (регулятор оборотов)

ESC получает от FC цифровую команду по протоколу DShot и превращает ее в реальный трехфазный ток, вращающий конкретный мотор.

- **4-в-1 ESC:** современный стандарт, все четыре канала регулировки собраны на одной плате размером 30.5×30.5 мм (для 5") или 20×20 мм (для компактных сборок). Упрощает проводку и центрирует ее разводку внутри дрона.
- **Ток:** указывается длительный (continuous) и пиковый (burst) ток на канал. Правило простое: слишком высокий запас по току не бывает, бывает только недостаточный. Для 5" типичный выбор, 45-60 А на канал.

Прошивка ESC	Статус	Комментарий
BLHeli_S	Устарела, 8-битное железо	На этом же железе ее массово заменяют открытой Bluejay
BLHeli_32	Платная и закрытая, ставится только на заводе	Betaflight советует не обновлять ее выше версии 32.7: на более новых замечены перегрев и остановки моторов
AM32	Открытая, активно развивается	Современный стандартный выбор для 32-битных ESC

Здесь важно не перепутать железо. AM32 ставится на 32-битные ESC, и сегодня практически все новые сборки летают именно на ней. Если же вам достался старый 8-битный ESC на прошивке BLHeli_S, то AM32 на него не встанет, для такого железа аналогом служит Bluejay. И та, и другая настраиваются через один и тот же веб-конфигуратор https://esc-configurator.com/, который подключается к дрону через тот же порт, что Betaflight использует для передачи данных на ESC, то есть отдельно ничего распаивать не нужно. Подробный разбор ключевых настроек AM32 приведен в отдельной главе ниже.

Моторы

Бесколлекторные моторы обозначаются четырьмя цифрами, например 2207: первые две обозначают диаметр статора в миллиметрах (22 мм), последние две, высоту статора (7 мм). Чем крупнее статор, тем больше тяги и теплового запаса у рассматриваемого мотора.

KV, количество оборотов в минуту на 1 вольт напряжения без нагрузки. Высокий KV означает более быстрое вращение при том же напряжении и обычно применяется с более легкими пропеллерами; низкий KV дает больше крутящего момента и используется с более крупными и тяжелыми пропеллерами. Важно понимать, что нужный KV зависит не только от напряжения батареи, но и от количества лопастей пропеллера: например, дроны 3" иногда собирают даже на четырехлопастных пропеллерах, а вот на семидюймовых ultra long range сборках, наоборот, ставят двухлопастные пропеллеры на моторы с очень низким KV (вплоть до 900 на 6S), потому что две лопасти дают меньше сопротивления и общая эффективность получается намного выше за счет меньшей скорости их вращения.

Сценарий	Напряжение	Типичный KV
5", агрессивный фристайл/гонки	6S	2300-2800
5", кино/эффективный полет	6S	1600-2100
5" (сопоставимая мощность)	4S	2300-2800
7", long-range	6S	около 1300
7", ultra long-range, двухлопастные пропы	6S	около 900

Правило по тяге: суммарная тяга всех четырех моторов должна как минимум втрое или даже вчетверо превышать полетный вес дрона, а не вдвое, как иногда советуют в сетевых источниках. Этот запас нужен с хорошим избытком: у многих батарей просадка напряжения под нагрузкой к концу полета весьма значительна, а тяга моторов напрямую зависит от напряжения, поэтому под конец полета запаса тяги реально становится заметно меньше, чем на полном заряде. Это правило справедливо и для long-range сборок: гоночные дроны обычно закладывают соотношение тяга/вес 7:1-10:1, фристайл порядка 5:1-7:1, но опускаться ниже трехкратного запаса не стоит даже для самых спокойных вариантов полета.

Пропеллеры

Обозначаются тремя числами, например 5×4.5×3: диаметр лопастей в дюймах, продольный шаг (pitch) в дюймах на один оборот и количество лопастей. Стандартный материал, поликарбонат: легкий, гибкий и устойчивый к поломкам при аварийных ударах о землю (в отличие от карбоновых или деревянных пропеллеров, которые для FPV почти не применяются из-за хрупкости и высокой цены). Отдельно на рынке есть пропеллеры из композитных материалов, где поликарбонат армирован дополнительными волокнами, они жестче обычного поликарбоната и часто выбираются для long-range сборок.

- **Питч:** влияет на характер отклика газа: низкий питч, быстрее отклик, меньше тряски от завихрений воздуха (propwash), больше эффективность, но меньше максимальная тяга и скорость; высокий питч дает больше тяги и скорости, но при этом требует более мощного мотора.
- **Количество лопастей:** и для 5", и для 7" сегодня лучшим универсальным выбором считаются трехлопастные пропеллеры, они дают хороший баланс тяги, отклика и управляемости. Двухлопастные варианты используют для максимальной энергоэффективности на специализированных ultra long range сборках, а четыре лопасти и более выбирают на компактных сборках 3" ради максимума тяги ценой потери энергоэффективности.

Виброразвязка и балансировка

Вибрации от моторов и несовершенных пропеллеров являются одним из главных врагов чистого сигнала с гироскопа, а также качества видеоизображения, особенно на цифровых системах с их высоким разрешением, где дрожание изображения из-за вибраций видно намного отчетливее, чем на аналоге.

- **Резиновые демпферы стека:** полетный контроллер (а часто и весь стек целиком) крепится к раме не жестко, а через мягкие резиновые прокладки (grommets). Крепежные гайки затягиваются несильно, ровно настолько, чтобы плата просто касалась резинки, а не сжимала ее намертво: только тогда виброразвязка работает.
- **Балансировка пропеллеров:** заводские пропеллеры почти никогда не сбалансированы идеально. Ручная балансировка (на специальном балансировочном стенде или магнитном балансире, со снятием лишнего материала с более тяжелой лопасти мелкой наждачной бумагой) заметно снижает уровень вибраций, особенно это заметно на цифровом видео.
- **Виброразвязка камеры:** саму камеру тоже стоит устанавливать через мягкую прокладку, например через вспененный лист или силиконовые стойки, конкретный способ зависит от того, что предусмотрено конструкцией рамы.

Батареи LiPo, LiHV и самостоятельная сборка на Li-ion

Аккумулятор питает всю систему. Ключевые параметры: напряжение (число ячеек S), количество параллельных групп ячеек (P), емкость (мАч) и максимальный разрядный ток (C-рейтинг). Например, обозначение 4S2P означает четыре ячейки, соединенные последовательно, и такую же цепочку, продублированную еще раз параллельно, для увеличения общей емкости.

Параметр	Значение
Номинальное напряжение ячейки	3.7 В
Полный заряд LiPo / LiHV на ячейку	4.2 В / 4.35 В
Хранение (storage voltage)	3.80-3.85 В на ячейку
Безопасный минимум под нагрузкой	3.3 В на ячейку
Порог для посадки в полете	3.5-3.6 В на ячейку
Максимальный ток разряда	Емкость (Ач) × C-рейтинг

Для быстрых, максимально энергичных сборок (гонки, агрессивный фристайл) по-прежнему нужны специализированные LiPo или LiHV батареи с высокой токоотдачей и высоким C-рейтингом, они пока вне конкуренции по мгновенной мощности. Но для long-range сборок на 7" и крупнее набирает популярность другой

подход: самостоятельная сборка батареи из высокотоковых цилиндрических элементов Li-ion 21700 (реже 18650). Готовые сборки из таких элементов на рынке тоже есть, но собрать самому заметно дешевле, а получаемая емкость при этом впечатляющая: батарея 4S1P на элементах 21700 легко превращается в аккумулятор емкостью около 5000 мАч, чего трудно добиться от LiPo того же веса и класса.

- **Популярные высокотоковые элементы 21700:** Molicel P50B, Reliance RS50 и EVE 50PL, все примерно по 5000 мАч. Ожидается выход новых банок, таких как P60B и RS60 (6000 мАч), которые тоже стоит рассматривать при появлении в продаже.
- **Токоотдача таких элементов,** как правило, несколько ниже, чем у специализированных высокотоковых LiPo, поэтому для быстрых сборок 5" их использовать не стоит, а вот для более спокойного long-range полета на 7" запаса тока обычно более чем хватает.
- **Самостоятельная сборка:** для соединения элементов 21700 между собой с помощью никелевой ленты используют портативные аккумуляторные точечные сварочные аппараты (spot welder). Это требует аккуратности и понимания техники безопасности при работе с отдельными Li-ion ячейками, но позволяет заметно сэкономить по сравнению с покупкой готовой батареи.

Стандартный разъем для 3S-8S батарей, XT60, для менее мощных конфигураций, компактный XT30. Балансировочный разъем (JST-XH) имеет число проводов на единицу больше числа ячеек и подключается к зарядному устройству отдельно от силового разъема, чтобы зарядник видел напряжения каждой ячейки батареи индивидуально и мог выравнивать их во время зарядки.



Рис. 9. LiPo-батарея: на этикетке указаны емкость, C-рейтинг и число ячеек.

Безопасность аккумуляторов: храните и заряжайте их в специальной огнестойкой LiPo-сумке (гибкая, легкая и недорогая, стандартное решение в FPV-сообществе) при комнатной температуре, вдали от прямых солнечных лучей; для длительного хранения разряжайте или заряжайте до уровня хранения 3.80-3.85 В на ячейку; никогда не оставляйте батарею на зарядке без присмотра; вздутая («распухшая») батарея повреждена необратимо и подлежит немедленной безопасной утилизации, продолжение ее использования недопустимо.

Приемник (RX)

Приемник получает радиосигнал от пульта и передает его в FC. В связке с ExpressLRS приемник использует протокол CRSF и подключается к FC по одному UART-порту, как описано в предыдущей главе. Приемники бывают либо отдельным модулем (крепится на раму и соединяется проводами), либо интегрированы прямо на плату FC по SPI, второй вариант компактнее и легче, но требует, чтобы FC и приемник были совместимы изначально на одной плате. Подробности физического размещения приемника и его антенн разобраны в главе про сборку.

GPS-модуль

GPS-модуль стоит совсем недорого, порядка 10-15 долларов, и вопреки распространенному в сети мнению не стоит считать его необязательной опцией даже для новичка: именно GPS дает возможность включить GPS Rescue,

автоматический возврат дрона в случае потери сигнала или паники новичка в воздухе, что подробно разобрано в главе про Betaflight. Рекомендуемый сегодня бюджетный и хорошо работающий чипсет, u-blox M10, это простой и понятный выбор, дающий быстрый и точный захват спутников за разумные деньги.

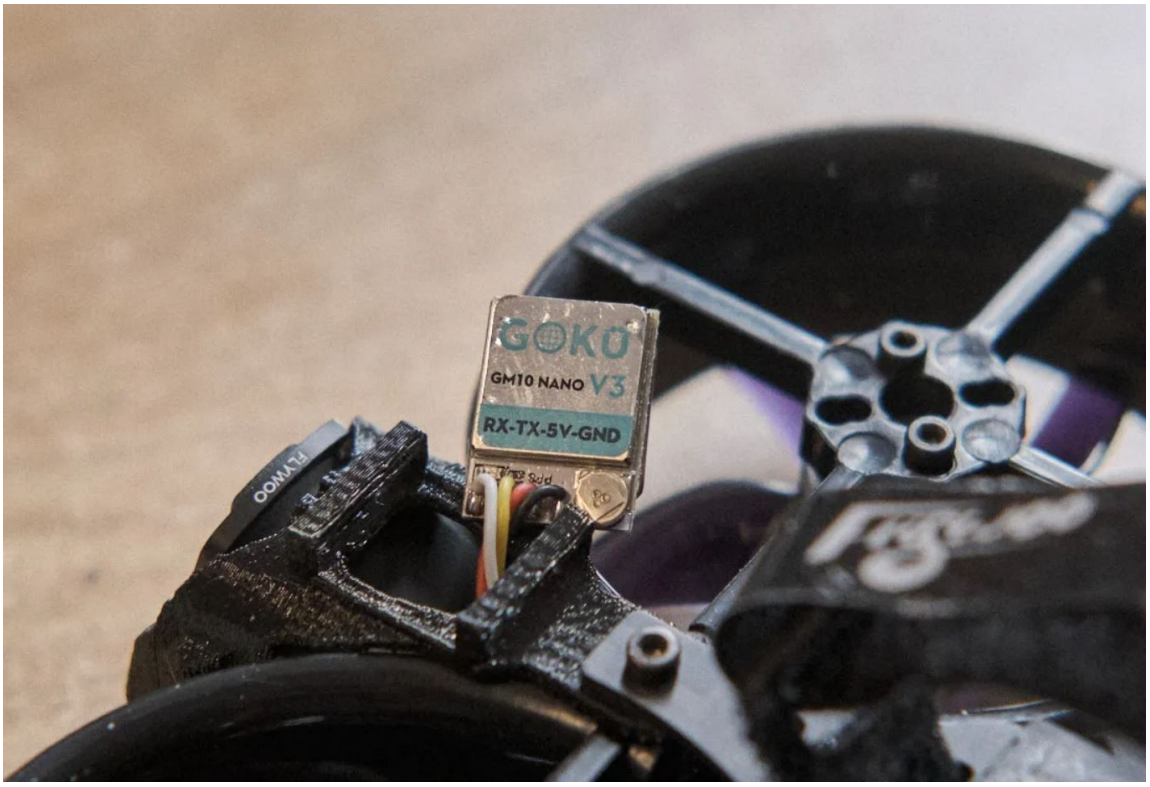


Рис. 10. Компактный GPS-модуль, установленный подальше от силовых проводов.

Компас (магнитометр), который нередко распаян на той же плате GPS-модуля, на дронах 5" и 7" на практике почти никогда не используют, хотя Betaflight его поддерживает. Причина в физике: магнитные наводки от силовых проводов и самой батареи довольно быстро спадают с расстоянием, однако разместить компас достаточно далеко от силовой электроники на небольшом гоночном дроне просто негде. В результате даже аккуратно откалиброванный компас на таком дроне ловит наводки и указывает направление неточно при изменении уровня газа. Поэтому стандартная практика в сообществе, летать с GPS, но без компаса: и GPS Rescue, и удержание позиции (Position Hold) работают без магнитометра, определяя курс по изменению GPS-координат в движении. Есть одна оговорка: пока дрон не полетел, курс ему взять неоткуда, поэтому после взлета нужно хотя бы несколько секунд пролететь по прямой носом вперед на нормальной скорости, и только после этого включать Position Hold. Именно такая сборка, с GPS и без компаса, взята за основу в этом гайде.

Видеосистема: аналог и цифра

Видеосистема, это то, через что пилот буквально «видит» полет, поэтому выбор здесь напрямую влияет на удовольствие от хобби. Рынок сильно изменился за последние годы: сегодня, помимо классического аналога, есть уже вполне доступные по цене цифровые (HD) системы, и осознанно собирать новый дрон на устаревшем аналоге в 2026 году является довольно спорным решением. Тем не менее аналог все еще жив, стоит дешевле всего и остается хорошим вариантом для совместимости и экономии, поэтому в этой главе разобраны оба варианта.

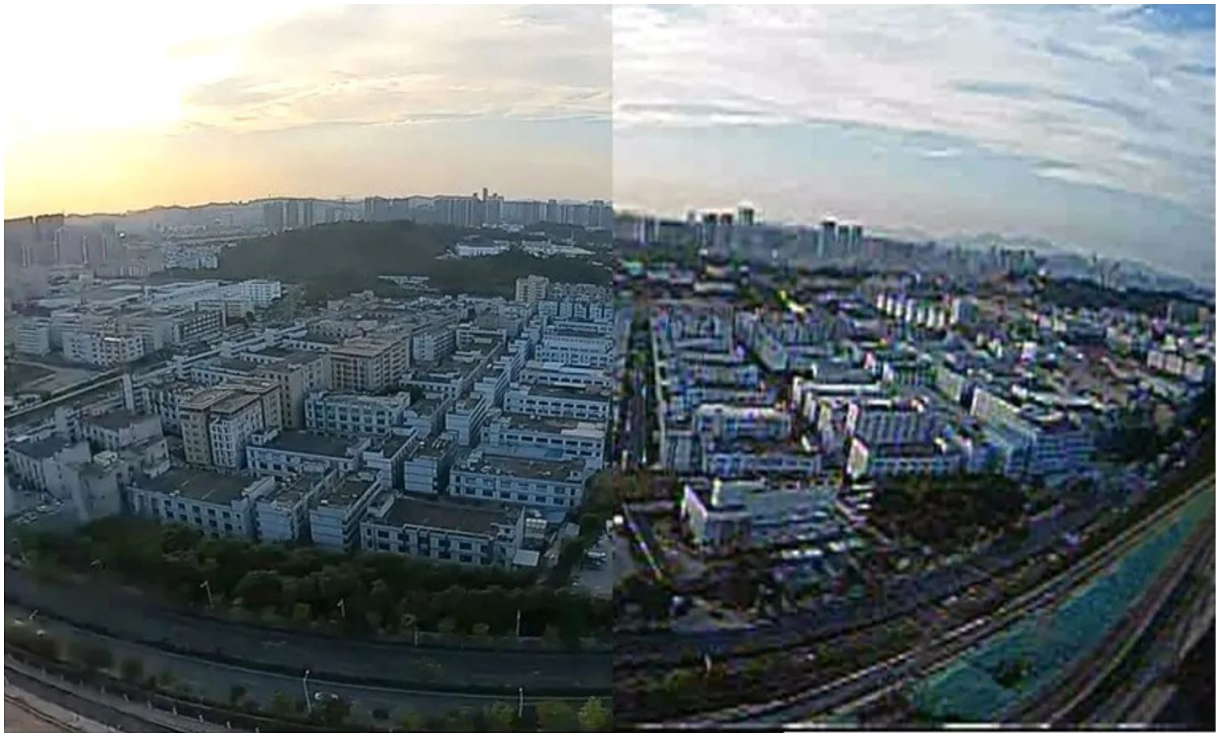


Рис. 11. Одна и та же сцена: слева цифровая система, справа аналоговая.

Камеры

Аналоговые камеры

Передают обычный телевизионный сигнал стандарта PAL (720×576, 25 кадров/сек) или NTSC (720×480, 30 кадров/сек) без какого-либо сжатия кодеками. Разрешение таких камер измеряется в TVL (TV lines), это условная единица детализации, а не количество пикселей, и производители нередко завышают заявленные цифры. Сенсор бывает CCD (старее, меньше «желейный» эффект при вибрациях, лучше контраст) или CMOS (современный стандарт, ниже задержка сигнала, более резкая картинка).



Рис. 12. Аналоговые FPV-камеры и сменные объективы к ним.

Цифровые камеры (Air Unit)

В цифровых системах камера объединена с видеопередатчиком в единый бортовой блок (air unit). Для новичка, который не готов сразу вкладываться в дорогие профессиональные системы, интереснее всего смотрятся недавно появившиеся доступные цифровые решения на новом чипе Artosyn: они уже дают качество картинки заметно выше классического аналога при цене, сопоставимой с бюджетным аналоговым комплектом. Среди таких систем, BetaFPV Artlynk (комплект VTX и камеры), а также решения на этом же чипе от других производителей бюджетной цифры.

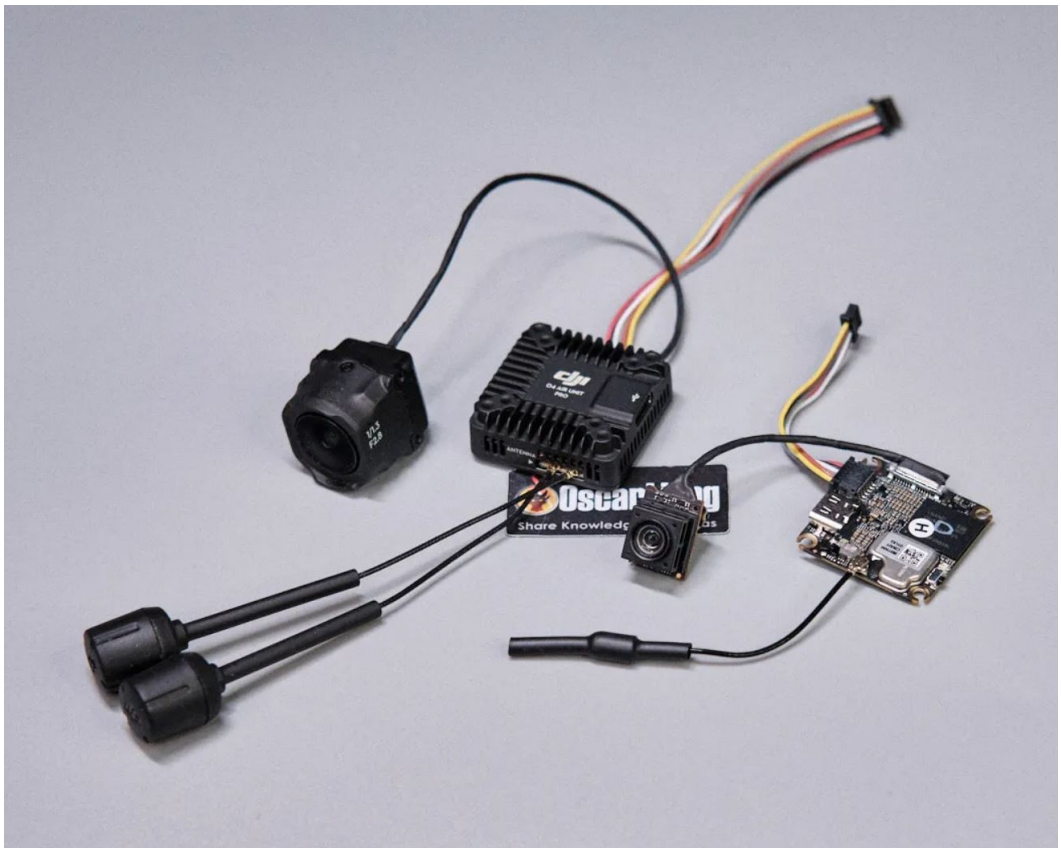


Рис. 13. Цифровые air unit: камера, передатчик и антенны одним комплектом.

Отдельно на рынке существуют более взрослые и заметно более дорогие профессиональные системы, такие как флагманская линейка DJI (например, O4 Pro) в связке с топовыми очками, или полноценный Walksnail Avatar. Качество картинки и надежность у них выше, но и стоимость сборки они увеличивают весьма ощутимо. Для новичка, которому важнее научиться летать и не бояться разбить дрон в первых сессиях, такие дорогие системы обычно избыточны, разумнее начать с бюджетной цифры или аналога, а к профессиональному оборудованию переходить осознанно, уже набравшись опыта.

Видеопередатчики (VTX)

Аналоговый VTX

Работает на частоте 5.8 ГГц, стандартно поделенной на 5 диапазонов (A, B, E, F/Fatshark, R/Raceband) по 8 каналов, итого 40 каналов на выбор. Кроме привычных 5.8 ГГц, у аналогового видео исторически существует еще диапазон на 1.2 ГГц, который имеет большую дальность и лучше огибает препятствия за счет низкой частоты, но требует специализированного оборудования и сегодня используется намного реже из-за проблем частотной совместимости с приемниками пульта. Также имеются дополнительные диапазоны (L, U, X, O, H), расширяющие аналоговую систему до 80 каналов и частот 4.9-6.1 ГГц, однако их применение не

рекомендуется, поскольку использование этих частот является незаконным в большинстве стран и для них требуются особые оптимизированные антенны.

Мощность передачи варьируется от 25 мВт (разрешено для полетов в помещении во многих юрисдикциях) до 2000 мВт на улице. Важный практический момент, из-за которого новичок нередко думает, что все подключено неправильно, хотя это не так: у многих современных видеопередатчиков по умолчанию после включения стоит минимальная мощность 25 мВт, и ее нужно вручную переключить на более высокую. Отдельно бывает режим Pitmode, это почти нулевая мощность для тестов и безопасного включения дрона рядом с другими пилотами, из него тоже нужно выйти перед вылетом. На большинстве VTX все это делается прямо на плате: одна кнопка отвечает за переключение каналов, а другая, обычно с красной светодиодной индикацией, за уровень мощности, нужно нажимать ее до тех пор, пока не встанет желаемая мощность, сверяясь с инструкцией конкретной модели. VTX также можно настраивать прямо с пульта через OSD-меню Betaflight по протоколам телеметрии SmartAudio (стандарт TBS) или Tramp (стандарт ImmersionRC); для этого во вкладке VTX конфигуратора должна быть заполнена таблица каналов и мощностей (VTX Table) под вашу модель, иначе список будет пустым или неверным. Для новичка это не обязательно: те же кнопки на самой плате всегда работают как резервный способ.

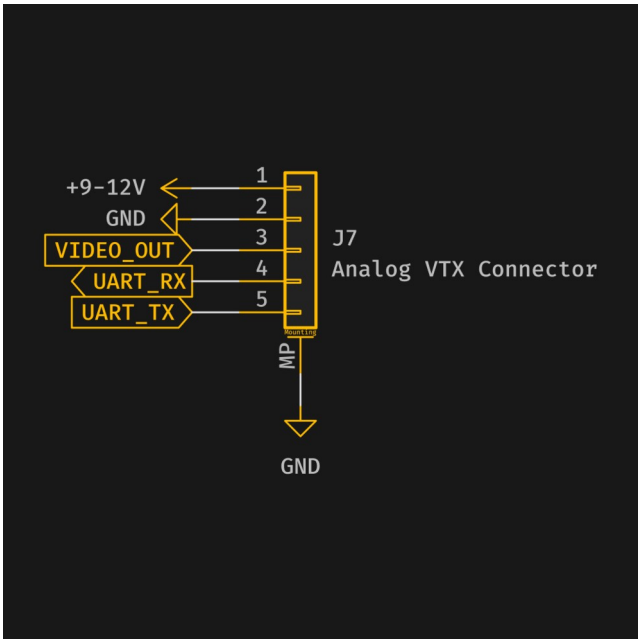


Рис. 14. Схема разъема для подключения VTX к полетному контроллеру.

Цифровой VTX

У цифровых FPV-систем VTX и камера это единый блок, поэтому отдельно VTX не выбирается. У цифровых систем есть всего порядка 8 частотных каналов вместо 40 у аналога, и управлять ими значительно проще.

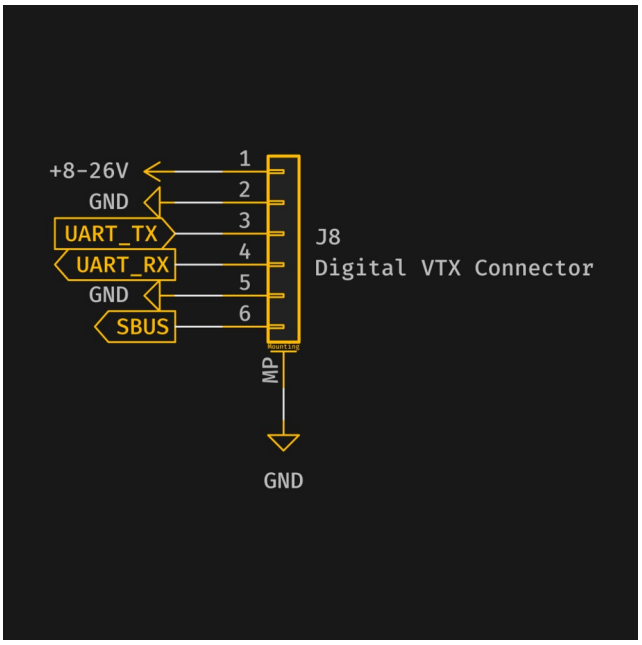


Рис. 15. Схема разъема для подключения цифрового видеопередатчика (air unit) к полетному контроллеру.

Антенна VTX у современных плат чаще всего подключается через тонкий коаксиальный кабель, который выводится назад и аккуратно изгибается в нужное положение (обычно это дипольная или грибковая антенна). Это не единственный возможный вариант крепления, конкретный способ зависит от типа антенны, ее длины и того, как это в принципе укладывается на конкретной раме, поэтому нужно всегда смотреть индивидуально по месту.

Легальные частотные варианты и почему не стоит их путать

Далеко не везде разрешено использовать оборудование на нестандартные радиочастоты, и особенно с превышением максимально допустимой мощности, подробнее об этом в главе про выбор размера и формата дрона. Есть и чисто техническая причина быть аккуратным с выбором комбинации частот: например, если поставить управление ELRS на 900 МГц, а видео на 1.2 ГГц, то дальность связи в реальности окажется хуже ожидаемой, а комбинация видео на 1.2 ГГц с управлением на 2.4 ГГц нередко приводит к тому, что мощный видеопередатчик глушит шумами радиоприемник управления. Для новичка правильный выбор это стандартная и хорошо совместимая связка: управление 2.4 ГГц, видео 5.8 ГГц (или соответствующий цифровой канал из диапазона 5 ГГц).

Антенны

Антенны бывают ненаправленными (omni), равномерное покрытие вокруг пилота, и направленными, больше дальность в узком секторе. По поляризации выделяют линейную (LP) и круговую (CP: RHCP/LHCP, «правого» и «левого» вращения).

- **Поляризация особенно важна для аналога:** если антенна VTX дрона и антенна приемника подобраны с правильно совпадающей поляризацией, приемник намного меньше «видит» переотраженные от земли и препятствий сигналы, а значит заметно снижается уровень характерных для аналога помех и замираний картинки (ghosting, fading). Для цифровых систем поляризация уже не так критична: цифровой сигнал использует встроенные алгоритмы коррекции ошибок, поэтому небольшое рассогласование поляризации почти не сказывается на итоговом качестве картинки, но значимо влияет на дальность.
- **Спиральные (helix) антенны и антенный трекер:** у helix-антенн, как правило, очень узкая диаграмма направленности, поэтому использовать их без автоматического антенного трекера, который постоянно доворачивает антенну на дрон, практически бессмысленно, для типичного новичка это лишнее усложнение.
- **Патч (панельные) антенны:** заметно более практичный выбор для дальних полетов без трекера: у направленной панельной антенны на фиксированном штативе достаточно широкий сектор обзора, чтобы нормально ловить сигнал на дальних дистанциях, не требуя постоянной точной наводки.
- **Ориентация дипольных антенн на дроне:** простая проводная или «грибковая» антенна имеет диаграмму направленности, сильно зависящую от того, в какой плоскости она расположена. Если у приемника две антенны, хорошая практика ставить их в разных плоскостях (например, одну вертикально, другую под углом или горизонтально), чтобы при разных разворотах дрона в полете сигнал не пропадал полностью ни в одном из положений.

Очки и наземные видеоприемники (VRX)

Для аналоговых очков стоит различать однолинзовые (один экран на оба глаза, «бинокулярная оптика», но фактически один источник изображения) и двухлинзовые модели (отдельный маленький экран под каждый глаз). Как ни удивительно, для новичка более простые и обычно более доступные однолинзовые модели с одним экраном часто оказываются удобнее: они дают более широкое реальное поле зрения и меньше капризничают с настройкой резкости под конкретное зрение пилота, чем компактные легкие двухлинзовые очки.



Рис. 16. Однолинзовые аналоговые очки с приемом на две антенны (диверсити).

- **Хороший ориентир по бренду:** линейка Skyzone, из качественных, но не самых дорогих вариантов. Например, однолинзовая модель уровня Skyzone Cobra Lite обойдется примерно в сотню долларов (цены здесь и далее ориентировочные). Это ориентиры именно для аналоговых систем; для цифровых очков тот видеомодуль, что установлен в очках производителем, обычно и есть единственный работающий вариант, сменных видеомодулей у современных цифровых систем, как правило, уже нет.
- **Самый бюджетный вариант входа в FPV:** если пока не готовы покупать очки, то можно взять отдельный наземный видеоприемник (нередко продается со скидкой в комплекте с видеопередатчиком) и подключить его к недорогому аналоговому монитору 7-10 дюймов. Существуют специализированные FPV-мониторы повышенной яркости, но они дороже, а есть недорогие мониторы, изначально сделанные для камер заднего вида в автомобилях. К такому монитору дополнительно берут солнцезащитный козырек (sunshade), закрывающий экран с трех сторон от бликов, и ставят все на небольшой

штатив, подключают видеоприемник с антенной, и получается самый доступный по деньгам работающий вариант аналогового FPV.

Отдельно стоит учитывать источник записи полета (DVR): DVR, встроенный в очки, как правило, записывает картинку уже после того, как она прошла через радиоканал и была сжата (особенно заметно на некоторых цифровых системах, например Walksnail), поэтому качество получается ниже, чем у записи, сделанной прямо на борту дрона. Это верно и для аналога, и для цифры одинаково: запись на борту всегда потенциально лучше по качеству, чем запись, принятая по радиоканалу.

Экшн-камера на борту

Отдельная (не FPV) камера для качественной записи полета используется дополнительно к системе видеопередачи, потому что даже лучшая цифровая FPV-картинка уступает по качеству записи специализированной экшн-камере. Особенно интересны здесь совсем маленькие и легкие модули у крупных производителей, например линейка DJI Osmo Nano или Insta360 GO: их ключевая особенность в том, что в компактный и легкий блок встроена мощная программная стабилизация видео по данным собственного гироскопа камеры. Благодаря этому такую камеру можно просто прикрутить или приклеить через виброразвязку прямо к раме дрона, она почти не влияет на вес и летные характеристики, а на выходе получается плавное стабилизированное видео без необходимости в тяжелом трехосном механическом гиростабилизированном подвесе. Если стабилизации хочется еще больше, то можно выгрузить полетные логи из FC дрона и обработать видео в ПО Gyroflow.



Рис. 17. Компактная экшн-камера, закрепленная на раме дрона.

Наземное оборудование пилота

Помимо самого дрона, пилоту нужен набор наземного оборудования, что всегда остается у вас в руках и в рюкзаке.

Пульт управления (radio transmitter)

Пульт преобразует движения ваших пальцев в радиокоманды. Для новичка в связке с этим гайдом важны две вещи: пульт должен работать на прошивке EdgeTX и иметь встроенный или подключаемый радиомодуль ExpressLRS. По цене, характеристикам и качеству одним из лучших ориентиров для новичка на сегодня остается линейка пультов RadioMaster.

Модель	Уровень	Особенности
RadioMaster T8L	Самый бюджетный вход	Без экрана, настройка через веб-конфигуратор по USB, ELRS встроен
RadioMaster Pocket	Начальный, компактный	Есть экран, больше кнопок и возможностей, Hall-гимбалы, удобен новичку
RadioMaster Boxer	Средний уровень	Полноразмерные Hall-гимбалы, черно-белый экран, 6 свитчей
RadioMaster TX15	Продвинутый	Естественное развитие Boxer: мощный процессор, цветной экран

- **Встроенный радиомодуль важнее внешнего:** для FPV-квадрокоптеров нет смысла рассматривать внешние модули формата JR: такие дроны летают недолго, а встроенного в перечисленные модели ELRS более чем достаточно.
- **Стики (Gimbals):** бывают на потенциометрах (у самых бюджетных моделей, служат достаточно долго, но со временем изнашиваются) или на эффекте Холла (Hall-сенсоры, бесконтактные, точнее и долговечнее, сегодня стоят даже во многих недорогих моделях RadioMaster). Для новичка Hall-гимбалы, это разумная долгосрочная инвестиция.
- **Режим стика (Mode):** Mode 2 (газ и рыскание на левом стике без самоцентровки газа, крен и тангаж на правом с самоцентровкой обеих осей), безоговорочный мировой стандарт для новичка. Учиться сразу нужно на Mode 2: переучивание с Mode 1 на Mode 2 (или наоборот) для человека с уже наработанными рефлексами очень болезненное, потому что каналы газа и тангажа физически меняются местами.
- **Автономность:** типичный пульт работает от 6 до 12 часов на одном заряде встроенных аккумуляторов (Li-ion 18650/21700), заряжается через USB-C.



Рис. 18. Бюджетный пульт без экрана: RadioMaster T8L со встроенным ELRS.



Рис. 19. Продвинутый пульт RadioMaster TX15 с цветным экраном.

Очки/шлем и наземный видеоприемник

Подробно рассмотрены в главе про видеосистему, включая рекомендации по бренду и бюджетный вариант с обычным монитором вместо очков.

Зарядные устройства

Смарт-зарядник, настраиваемое устройство с балансировочной зарядкой: он считывает напряжение каждой ячейки батареи через отдельный balance-разъем JST-XH и следит, чтобы все ячейки заряжались равномерно.



Рис. 20. Смарт-зарядник с балансировочной зарядкой и экраном настроек.

- **Правило по току зарядки:** для обычных LiPo безопасный ориентир, это ток зарядки около 1C (равен емкости батареи в ампер-часах). Специализированные высокотоковые LiPo, рассчитанные на быстрый разряд, обычно спокойно переносят зарядку 2C или даже 3C, самостоятельно собранные батареи на элементах 21700 тоже нередко заряжаются быстрее, чем эквивалентная по емкости обычная LiPo, точную цифру всегда уточняйте по документации конкретных аккумуляторов.
- **Популярные бренды зарядных устройств:** ISDT, ToolkitRC, HOTA и SkyRC, из них стоит выбирать, ориентируясь на бюджет и нужную мощность.

- **AC или DC:** у зарядников бывает встроенный блок питания переменного тока (AC), позволяющий включить зарядник напрямую в розетку, либо только вход постоянного тока (DC), для которого нужен отдельный внешний источник питания. Новичку удобнее взять модель со встроенным AC: такой зарядник можно и дома включить в розетку, и в поле подключить к автомобильному аккумулятору или к инвертору без проблем с совместимостью.
- **Расчет мощности зарядника:** мощность (Вт) = ток зарядки (А) × 4.2 В × число ячеек. Например, зарядка батареи 6S 1300 мАч при 2C требует около 66 Вт.
- **Параллельная зарядка:** специальная плата позволяет одновременно заряжать несколько батарей от одного канала зарядника, ускоряя цикл на полевых выездах, но для применения параллельной зарядки батареи должны быть одинаковой емкости, числа ячеек и близкого по уровню заряда.



Рис. 21. Плата параллельной зарядки: несколько одинаковых батарей от одного ЗУ.

Безопасное хранение и перевозка LiPo

- **LiPo bag** (мягкая огнестойкая сумка), стандартное в сообществе решение: легкая, недорогая, удобная для хранения и для зарядки под присмотром.



Рис. 22. Огнестойкая сумка для хранения и зарядки LiPo-батарей.

- **Общие правила:** хранить при комнатной температуре вдали от прямого солнца; для долгого хранения, только на уровне storage voltage (3.80-3.85 В на ячейку); для авиаперевозки, только в ручной клади, с изолированными контактами разъемов, в защитной сумке.

Инструменты и расходники для сборки и обслуживания

- **Паяльный набор:** не обязательно покупать все по отдельности, есть недорогие наборы, где в комплекте сразу идет паяльник, подставка, пинцеты, сменные жала, отсос припоя, простой стриппер, бокорезы, флюс, припой и оплетка для удаления припоя. Такой комплект вполне пригоден для старта, но в дальнейшем будет лучше обзавестись более профессиональным оборудованием на базе клонов паяльной системы C245.



Рис. 23. Стартовый паяльный набор с мультиметром и принадлежностями.

- **Бокорезы:** самые острые компактные кусачки, обязательны при работе с проводами. Ими же удобно зачищать тонкие сигнальные провода, а вот силовые провода моторов и батарей лучше зачищать стриппером: бокорезами легко подрезать часть жил, а на токе в десятки ампер это уже проблема.
- **Держатель «третья рука»:** зажим на гибких кронштейнах, сильно облегчает пайку проблемных вещей вроде разъемов XT60: деталь фиксируется в зажиме типа «крокодил», а руки остаются свободны для паяльника и припоя.
- **Силиконовый коврик:** рабочая поверхность, устойчивая к высокой температуре, стандартная проблема новичка, либо обжечь руки, либо прожечь стол горячим паяльником или каплей припоя, коврик снимает эту проблему.
- **Набор шестигранных отверток** размеров 1.5, 2.0 и 2.5 мм для сборки рамы.



Рис. 24. Готовый набор инструмента для сборки и обслуживания дронов.

- **Ключ для гаек пропеллеров** (обычно 6-8 мм с однонаправленным механизмом, чтобы не откручивать гайку случайно при затяжке).
- **Цифровой мультиметр** обязателен для прозвона цепей перед первым включением и для калибровки показаний напряжения батарей.
- **Индикатор напряжения LiPo (LiPo checker)** для быстрой проверки в поле состояния батарей и их банок по отдельности.
- **Smoke stopper** обязательное устройство для первого включения нового или измененного стека, ограничивающее ток в случае короткого замыкания.
- **Термоусадка (heat shrink):** надевается и усаживается нагревом на пайку или на изоляцию в местах трения о карбоновые пластины, защищает как от короткого замыкания, так и от обрывов в местах пайки от вибраций.
- **Термоклей и герметики B-7000 / T-7000:** термоклей неплохо фиксирует провода и разъемы, но получается довольно жестким и неустойчивым к

температуре и спирту. Специальные клеи-герметики B-7000 и T-7000 застывают по консистенции ближе к резине и особенно хорошо подходят для фиксации проводов и разъемов, в первую очередь мелких разъемов приемников и подобной периферии с шагом контактов 1.25-2.5 мм. Типичная ошибка новичка, все распаять и просто воткнуть разъем, не зафиксировав его клеем: после нескольких полетов от вибраций такой разъем выскакивает.

- **Фиксатор резьбы (threadlock):** например Loctite подходящей вязкости под мелкую резьбу M3, стандартную и для крепления моторов, и для частей рамы.
- **Защитный лак для плат (conformal coating):** например, изоляционный акриловый лак вроде Plastik 71, нанесенный аккуратно кисточкой (а не аэрозольным спреем, чтобы не залить лишнее), заметно продлевает жизнь стека, ESC и видеопередатчика, защищая пайку и электронику от влаги и вибраций. Подробнее в главе про физическую сборку.
- **Кабель для зарядки в поле:** если планируете заряжать батареи вдали от сетевой розетки, от машины или от отдельного емкого аккумулятора на 12 В, то нужен соответствующий силовой провод-переходник для подключения зарядного устройства.

Симуляторы: обязательный шаг перед реальным полетом

Прежде чем лететь по-настоящему, крайне рекомендуется потренироваться в симуляторе, используя тот же самый пульт, который затем полетит с реальным дроном: он подключается к компьютеру как обычный игровой джойстик по USB.

- **Liftoff:** самый универсальный вариант, большая коллекция дронов и пользовательских трасс, подходит и для фристайла, и для гонок.
- **Velocidrone:** особенно ценится сообществом за очень реалистичную физику полета, менее требователен к железу компьютера, популярен у соревнующихся гонщиков.
- **FPV Freerider Recharged:** самый нетребовательный к железу вариант, отлично подходит новичкам без мощного игрового компьютера, простая и понятная физика, чтобы отработать базовую координацию рук.

Не стоит пропускать этот этап: нельзя начинать сразу летать «просто так» на реальном дроне, необходимо сначала отработать базовую координацию в симуляторах, нужно отлетать хотя бы 6-8 часов на виртуальном полигоне, это заметно снижает число разбитых дронов и финансовые затраты в первые недели.

Физическая сборка дрона

В этой главе мы пошагово проходим через сборку типового 5"-7" дрона, от подготовки рамы до установки пропеллеров. Порядок шагов и практики взяты из проверенных сборочных гайдов сообщества и адаптированы под общий случай, применимый к большинству современных наборов компонентов.

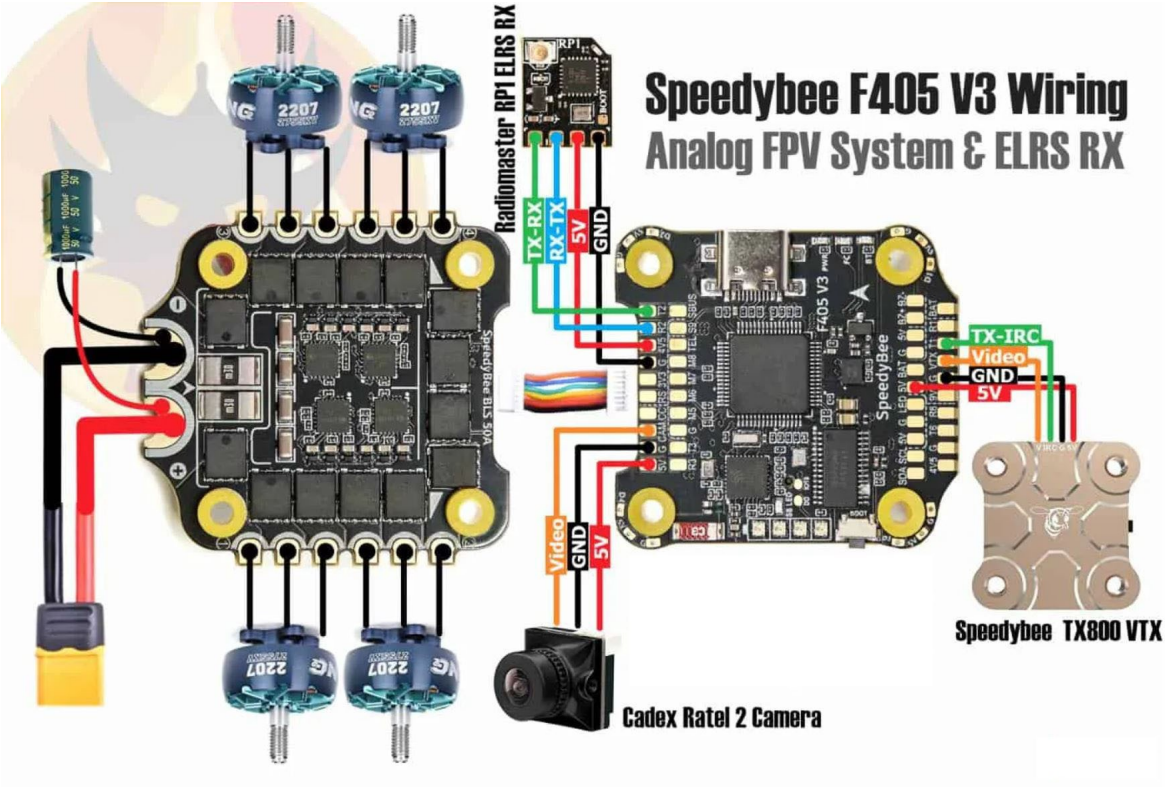


Рис. 25. Схема соединений типовой сборки с аналоговой видеосистемой.

- **Пропеллеры на этом этапе не устанавливаются вообще,** их ставят только непосредственно перед вылетом на месте полета, уже после всех проверок электроники и программного обеспечения.

Инструменты и расходники, которые понадобятся

- Паяльник, качественный тонкий припой (например Kaina CF-10, состав 60/40), индикаторный флюс-гель TT
- Изопропиловый или этиловый спирт и кисточка для смывки остатков флюса после паяльных работ
- Шестигранные отвертки 1.5 / 2.0 / 2.5 мм
- Цифровой мультиметр
- Бокорезы и стриппер для зачистки и обрезки проводов

- Нейлоновые хомуты-стяжки шириной 2 мм, малярный скотч, двусторонний вспененный скотч, термоусадка
- Фиксатор резьбы (threadlock) для винтов моторов и силового крепежа рамы
- Защитный лак для плат (conformal coating) и кисточка для его нанесения
- Smoke stopper (ограничитель тока для первого включения)

Шаг 1. Подготовка рамы

1. Зачистите края карбоновых пластин мелкой наждачной бумагой, это убирает острые заусенцы и микроскопические волокна карбона, которые могут поранить руки или повредить изоляцию. После этого детали лучше не просто протереть, а промыть теплой водой с мылом и высушить: карбоновая пыль проводит электричество, и осевшая на платах стека она даже сама по себе способна вызвать замыкание.
2. Соберите лучи на нижней пластине рамы, закрепите нижнюю пластину винтами, установите алюминиевые стойки (обычно 8 штук, передние стойки часто длиннее задних, сверяйтесь с инструкцией конкретной рамы).
3. Нанесите каплю фиксатора резьбы на силовой крепеж самой рамы (винты стоек и винты пластин), так же, как и на винты моторов на следующем шаге: это дешевая и быстрая страховка от постепенного откручивания от вибраций любого силового крепежа рамы.

Шаг 2. Установка моторов

1. Прикрутите каждый из четырех моторов к соответствующему лучу рамы.
2. Нанесите каплю фиксатора резьбы (threadlock) на каждый винт мотора, вибрации в полете со временем откручивают незафиксированные винты, что может привести к неконтролируемому падению.
3. Подберите винты по длине: рабочее правило, толщина луча плюс 3-4 мм. Слишком длинный винт достает до обмоток статора и повреждает мотор изнутри, поэтому перед затяжкой стоит заглянуть внутрь мотора и убедиться, что кончик винта не упирается в обмотки статора.

Шаг 3. Установка стека FC + ESC

1. Используйте длинные винты из комплекта рамы (обычно M3×30 мм), чтобы через них можно было закрепить весь стек. Винты должны быть металлические: нейлоновые на такой длине гнутся и срезаются, а стек на них со временем начинает гулять.

2. Установите 4-в-1 ESC так, чтобы силовые контактные площадки (под провод от батареи) были направлены назад, а площадки под провода моторов вверх, к местам запайки.

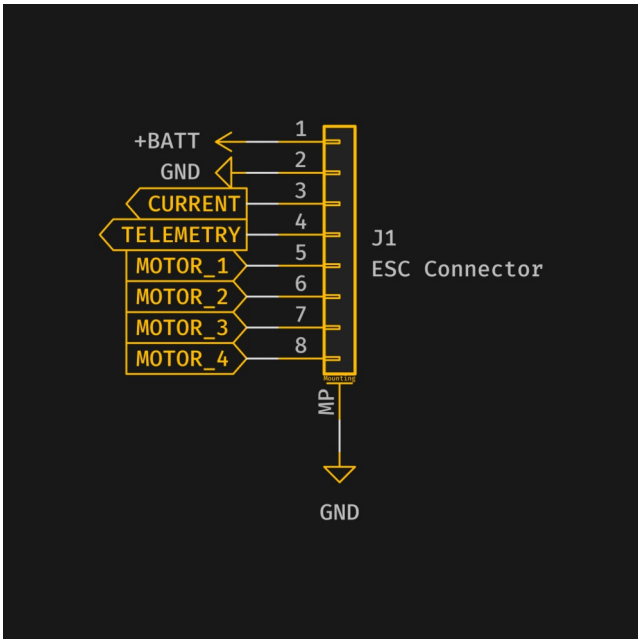


Рис. 26. Схема разъема платы ESC для подключения к FC.

Шаг 4. Пайка проводов моторов

1. Обрежьте провода каждого мотора по нужной длине, зафиксируйте их малярным скотчем вдоль луча рамы, чтобы они не болтались и их было удобно распаивать, а для дальнейшей постоянной фиксации лучше заранее заложить термоусадку на луч или применить тканевый скотч после сборки.
2. **Порядок трех проводов мотора значения не имеет.** Паяйте так, как удобнее ложатся провода: если мотор в итоге закрутится не в ту сторону, направление меняется программно во вкладке Motors конфигуратора Betaflight, перепаивать ничего не придется. А вот какой мотор к какому каналу ESC подключен уже важно, это проверяется на той же вкладке.
3. Зачистите около 2-3 мм изоляции на конце каждого провода, нанесите каплю индикаторного флюс-геля (не используйте кислотные флюсы вроде паяльной кислоты: они хорошо лудят, но их остатки со временем разъедают пайку и плату). Залудите отдельно и сам провод, и контактную площадку, то есть покройте обе поверхности тонким слоем припоя, и только потом соединяйте их: так пайка получается быстрее и надежнее. Рекомендуемая температура паяльника около 350 °C для тонких сигнальных проводов и 400-450 °C для толстых силовых проводов и разъемов XT60. Дело при этом не только в градусах: массивную площадку прогревает в первую очередь жало с широким наконечником и большим запасом по теплу, поэтому для силовой пайки жало

стоит поменять, а не просто увеличивать температуру. Держать жало на площадке долго не стоит в любом случае, от перегрева отслаивается медь.

4. После завершения пайки смойте остатки флюса кисточкой, смоченной в изопропиловом или этиловом спирте: это не только эстетика, неотмытый флюс со временем провоцирует коррозию и разрушает платы с электроникой.
5. Наденьте термоусадку на оголенные соединения рядом друг с другом и в местах выхода проводов над карбоновыми пластинами рамы, и аккуратно усадите ее паяльным феном с температурой воздуха порядка 200-250 °C, это исключает случайное короткое замыкание и одновременно защищает провод от переламывания на изгибе от вибраций.

Шаг 5. Силовой разъем и конденсатор

1. Припаяйте разъем XT60 на силовом силиконовом кабеле к входным площадкам ESC, строго соблюдая полярность (плюс к плюсу, минус к минусу, помечено как на разъеме, так и на плате, стандартно минус на стороне со скошенными углами), перепутанная полярность мгновенно выводит из строя электронику при подаче питания.
2. Используйте достаточно припоя и флюса на больших силовых площадках, чтобы пайка была ровной, блестящей и полностью проводящей, плохо пропаянный контакт греется и может стать причиной отпайки под нагрузкой.
3. Многие современные ESC уже имеют в комплекте фильтрующий конденсатор, для большинства базовых сборок его вполне достаточно. Если комплектного нет вовсе, то используйте низкоимпедансный (Low-ESR) электролитический конденсатор емкостью порядка 1500 мкФ (например, Rubycon ZLH), для 6S берите ближе к верхней границе. По напряжению нужен запас: 35 В хватает для сборок до 6S, для 8S берите на 50 В. Припаяйте его к входным силовым проводам ESC, минусовой контакт рядом с полосой на корпусе конденсатора. Он сглаживает электрические скачки от резких изменений тока и защищает электронику от помех.

Шаг 6. Подключение приемника

1. Не крепите приемник прямо на плату FC или поверх стека, это плохая практика: антенны приемника оказываются зажаты между слоями электроники, а плотное соседство с шумящими силовыми проводами и ESC ухудшает прием сигнала. Закрепите приемник двусторонним скотчем спереди или сзади рамы, где для него есть свободное место, подальше от силовых проводов.
2. Припаяйте четыре провода, питание 5 В, землю GND и два сигнальных, на соответствующие площадки FC (питание и земля, сигнал по UART к портам TX

и RX приемника, как описано в главе про протоколы). Провода берите тонкие, 28-30 AWG: толстые провода помешают уложить и закрепить приемник.

3. Разведите антенны приемника в разные стороны и по возможности в разных плоскостях (например, одну ближе к горизонтали, другую ближе к вертикали), это дает разнесение по поляризации и снижает риск потери сигнала при разворотах дрона в полете. Закрепите антенны из-под лучей рамы подальше от силовых проводов и карбона, обожмите приемник сигнала термоусадкой для его защиты и закрепите на нейлоновые хомуты.

Шаг 7. Камера и видеопередатчик

Для аналоговой системы

1. Установите камеру между боковыми пластинами рамы под нужным углом наклона, типично от 20 до 30 градусов для первых полетов.
2. Припаяйте три провода камеры к FC: землю (черный) на GND, видеосигнал (желтый) на площадку CAM, а питание (красный) на площадку питания камеры. Почти все современные аналоговые камеры всеядны по питанию и спокойно работают и от 5 В, и от 12 В, так что подойдет любая линия питания, но напряжение стоит уточнить в характеристиках конкретной камеры. Если на вашей плате есть отдельная линия 9-12 В с LC-фильтром, выделенная под камеру и видеопередатчик, то лучше использовать именно ее: она заметно чище по помехам, а на общей линии 5 В сидит еще и другая чувствительная электроника, и наводки от нее будет видно на картинке полосами.
3. Закрепите VTX двусторонним скотчем и стяжками через монтажные отверстия на раме. Антенну VTX, если она на тонком полужестком коаксиальном кабеле, аккуратно выведите назад и изогните в рабочее положение по большому радиусу, не перегибая кабель резко и не заламывая его у самого основания, резкий залом легко повреждает жилу внутри и делает антенну нерабочей.

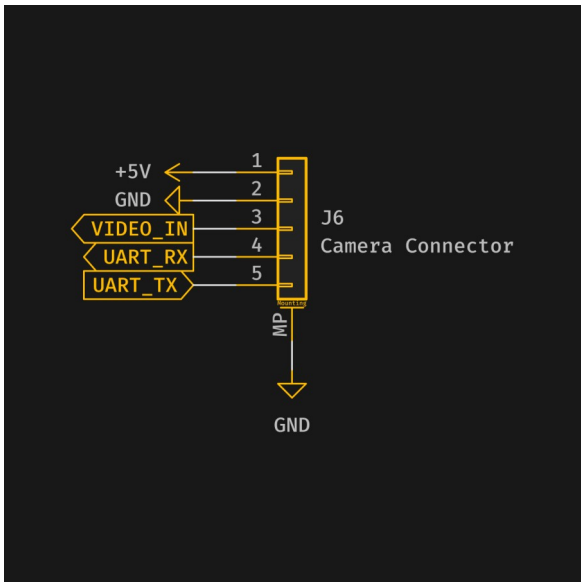


Рис. 27. Схема разъема для подключения аналоговой камеры к FC.

Для цифровой системы

Air unit объединяет камеру и VTX в одном модуле, поэтому пайка сильно упрощается: обычно нужно подключить только питание (тоже лучше через отдельную чистую линию 9-12 В, если плата это предусматривает), землю и один UART-порт (для MSP Displayport и управления), согласно инструкции конкретной модели air unit. Общая логика крепления (двусторонний скотч + стяжки, антенна к стойке или коаксиальный кабель, выведенный назад по плавному радиусу) остается той же.

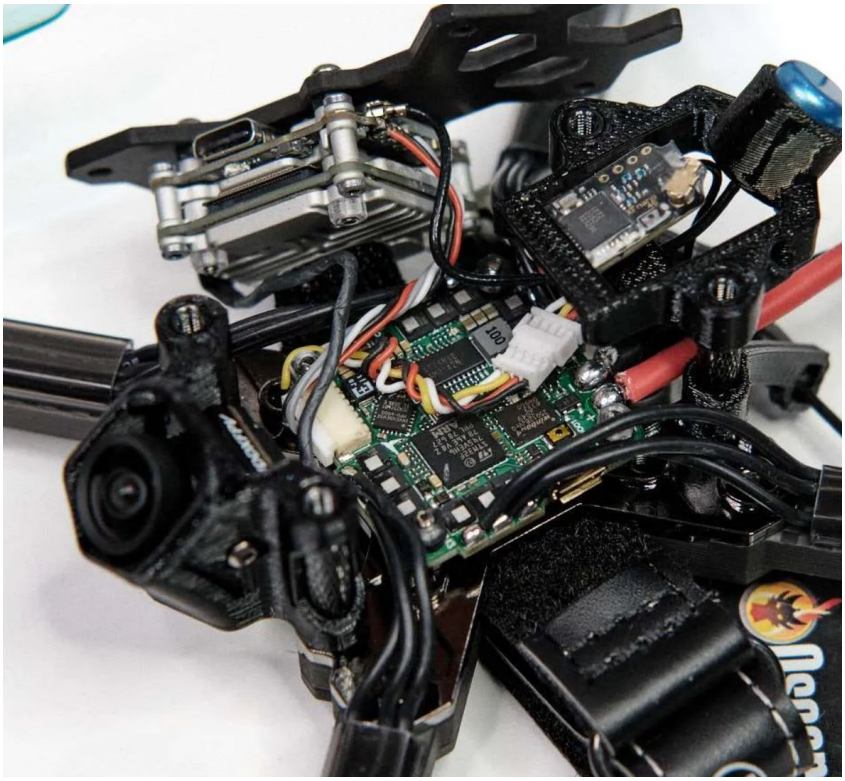


Рис. 28. Компактная сборка с цифровым air unit.

Шаг 8. Сборка верхней части рамы

1. Закрепите верхние гайки крепления стека вручную, не перетягивая их, они должны просто касаться резинового демпфера стека, а не сжимать его до предела: чрезмерное сжатие сводит на нет виброразвязку и сильно ухудшает точность данных с гироскопа.
2. Установите верхнюю пластину рамы, проденьте ремень крепления батареи.
3. Еще раз аккуратно осмотрите все места пайки на предмет непропаянных контактов, коротких замыканий и поврежденной изоляции. Если планируете летать в сырую погоду или у воды, самое время нанести на пропаянные места и электронику стека тонкий слой защитного лака (conformal coating) кисточкой, заранее заклеив малярным скотчем разъемы, контактные площадки, карту памяти и барометр, где лак не должен попасть внутрь.

Шаг 9. Проверка перед первым включением питания

1. **Прозвоните мультиметром все силовые цепи,** не только входной разъем питания XT60, но и отдельно каждую линию питания на стеке (5 В, 9-12 В для камеры/VTX) в режиме измерения сопротивления со звуковым индикатором. Если мультиметр показывает почти нулевое сопротивление и пищит (короткое замыкание) между плюсом и минусом любой из этих линий, ни в коем случае не подключайте батарею, пока не найдете и не устраните проблему.
2. **Если на дроне установлен GPS-модуль,** заранее сверьтесь с документацией платы FC, не перепутаны ли местами провода TX и RX на порту UART (это, напомним, самая частая ошибка подключения UART-устройств), детали смотрите в документации производителя вашей платы.
3. **Подключите батарею впервые через smoke stopper,** если в проводке все же осталась ошибка, то ограничитель тока даст ей проявиться безопасно, слабым нагревом резистора, а не дымом и искрами непосредственно на плате.
4. **Пропеллеры на этом этапе не устанавливаются,** вся дальнейшая настройка прошивок (следующие главы) выполняется без них.

Шаг 10. Установка пропеллеров (только перед вылетом)

1. Убедитесь в направлении вращения каждого мотора и соответствующем ему направлении пропеллера (CW/CCW), это проверяется и при необходимости меняется программно во вкладке Motors конфигуратора Betaflight, смотреть соответствующую главу.
2. Наденьте пропеллеры на вал мотора выступом лопасти в нужную сторону согласно маркировкам на общей схеме ниже («Props In»). Необходимо, чтобы пропеллер качал воздух вниз, когда вращается к центру рамы по оси направления вперед, независимо от направления вращения CW или CCW.

3. Затяните самоконтрящуюся нейлоновую гайку плотно, но без излишнего фанатизма. Простой критерий: удерживая колокол мотора одной рукой, попробуйте провернуть пропеллер другой. Если пропеллер не проворачивается, то затянуто достаточно. Недотянутая гайка, это реальная и частая причина слетевшего в полете пропеллера, а перетянутая повреждает резьбу на валу мотора. Всегда держите мотор второй рукой или удерживающим инструментом, чтобы вал не проворачивался при затяжке.

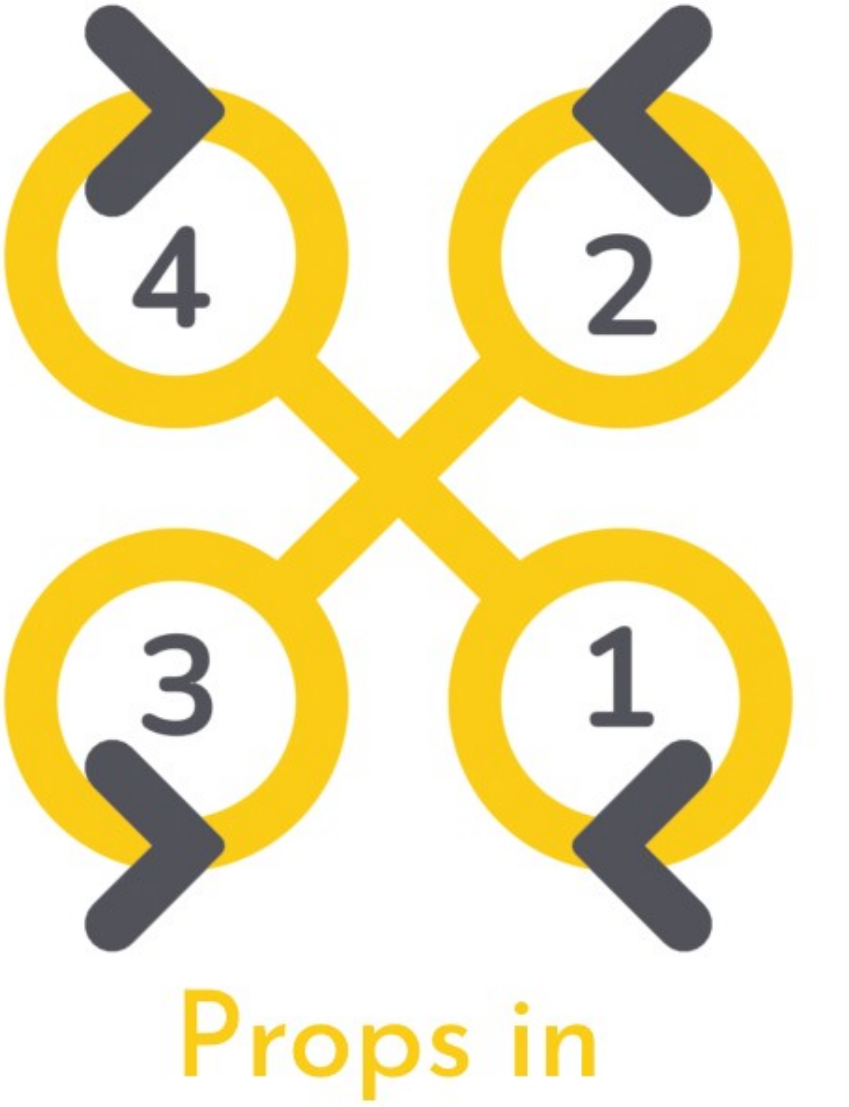


Рис. 29. Схема направления вращения моторов и соответствующая ориентация пропеллеров. Стрелки показывают направление вращения.

Настройка Betaflight

Betaflight Configurator, это программа, через которую выполняется вся настройка полетного контроллера. Сегодня это в первую очередь веб-приложение: оно открывается прямо в браузере Google Chrome на странице https://app.betaflight.com/, и ничего скачивать на компьютер не нужно. Либо, если вам удобнее отдельная программа, есть версия для Windows/macOS/Linux/Android с сайта https://downloads.betaflight.com/. Подключается к дрону через USB-кабель.

- **Общее правило, которое стоит запомнить сразу:** после изменений на большинстве вкладок нужно нажимать кнопку «Save and Reboot» («Сохранить и перезагрузить»), прежде чем переходить к следующей вкладке, иначе часть настроек не применится или потеряется.
- **Включите экспертный режим (Expert Mode):** переключатель находится во вкладке Options и открывает вкладки и опции, которые по умолчанию скрыты от новичка, но нужны для полноценной настройки. В этом же режиме доступна функция Virtual Connect: она позволяет «подключиться» к конфигуратору вообще без физического дрона и полетного контроллера и потренироваться в интерфейсе, посмотреть, где что находится, прежде чем пробовать на реальном железе.

Firmware Flasher: прошивка

1. Подключите FC к компьютеру по USB. Если это самое первое подключение новой платы, может понадобиться установка драйвера, конфигуратор обычно предлагает это сделать сам.
2. Выберите точную модель вашей платы (target) и нужную версию Betaflight (для новой сборки, это актуальная стабильная версия).
3. **Обязательно раскройте блок «Other Options» перед прошивкой:** именно здесь включаются дополнительные функции, которых иначе просто не будет в прошивке. Для новичка полезно заранее отметить как минимум то, что реально пригодится: GPS (без этой галочки не будет ни спутников, ни GPS Rescue), Altitude Hold и Position Hold, а также Servos, если FPV-камера стоит на подвижном креплении с сервоприводом. Здесь же нужно правильно выбрать протокол радиоприема (CRSF для ExpressLRS и Crossfire, либо SBUS для другого оборудования) и протокол OSD: OSD (SD) для аналоговой видеосистемы или OSD (HD) для цифровой, строго под то железо, что реально стоит на дроне. Это самый частый момент, из-за которого новичок потом не понимает, почему «ничего не работает»: нужной функции или протокола просто нет в собранной прошивке, потому что галочку не поставили при прошивке.

4. Для прошивки плата переводится в режим DFU (Device Firmware Update), обычно это делается зажатием специальной кнопки BOOT на плате при подаче питания через USB, либо программно из конфигуратора.
5. На Windows иногда для доступа USB к плате в режиме DFU требуется запустить конфигуратор (или браузер) от имени администратора, это частая причина, по которой прошивка «не находит» устройство.

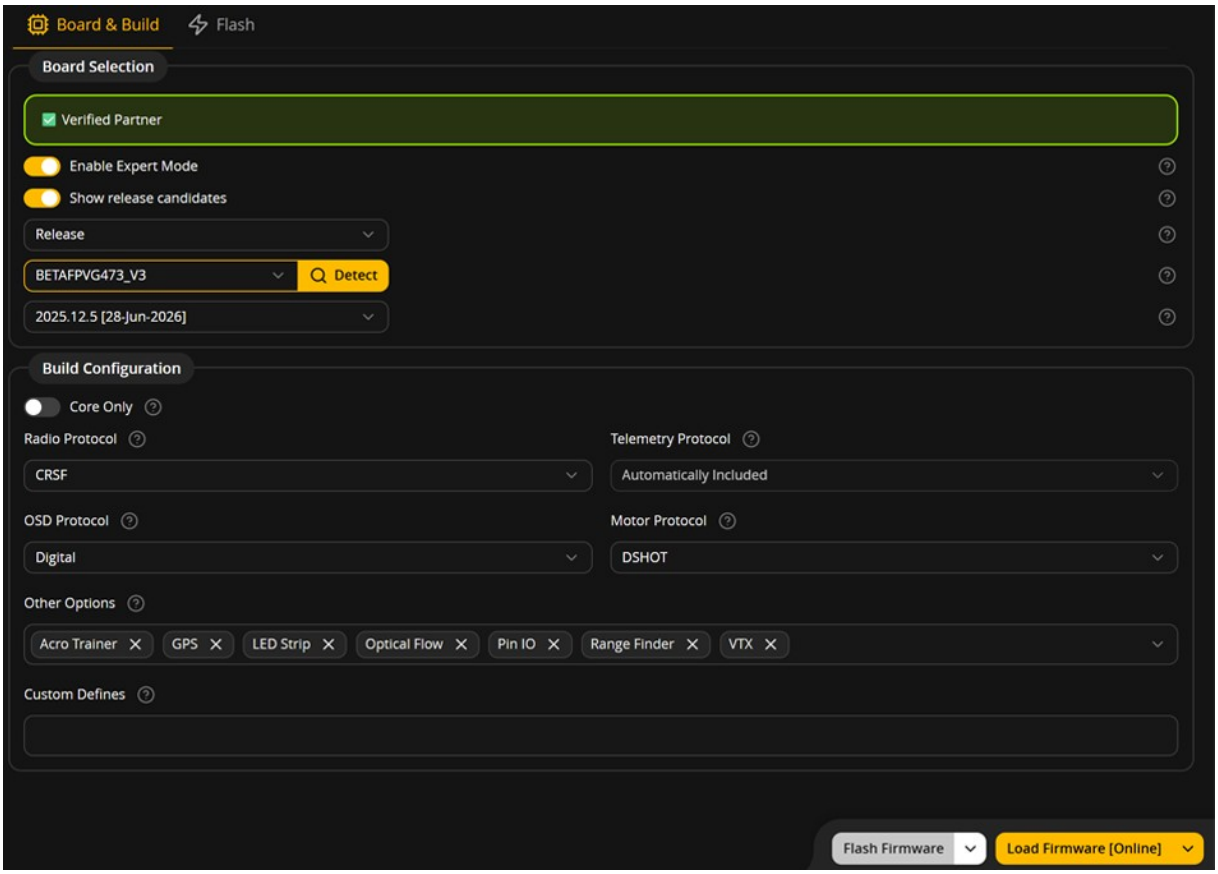


Рис. 30. Вкладка Firmware Flasher: выбор платы, версии Betaflight и блок Other Options с дополнительными функциями.

Setup: первый экран

После первого подключения к прошитой плате конфигуратор открывает вкладку Setup с 3D-моделью дрона, повторяющей его положение в реальном времени, это удобный способ проверить, что гироскоп подключен и работает верно. Здесь же отображается статус системы: напряжение батареи, загрузка процессора, состояние модуля GPS с количеством спутников и координатами, а также прочих дополнительных датчиков. Также на этом экране можно перевести плату в режим прошивки без зажатия кнопки Boot (Activate Boot Loader / DFU).

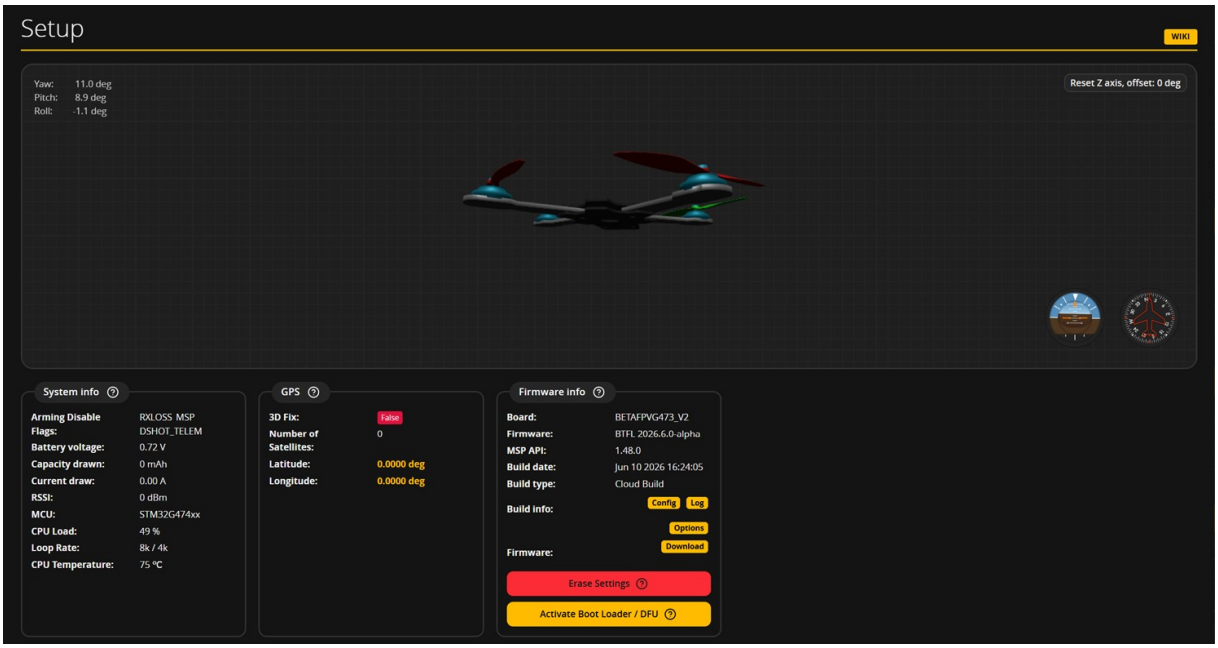


Рис. 31. Вкладка Setup: 3D-модель дрона и состояние датчиков.

Sensors: проверка и калибровка датчиков

Полезный диагностический экран: здесь видно в реальном времени показания гироскопа и акселерометра в виде графиков. Также здесь выполняется калибровка акселерометра: положите дрон строго горизонтально на ровную поверхность по пузырьковому уровню, нажмите Calibrate Accelerometer и не трогайте дрон несколько секунд. Важно калибровать акселерометр уже после того, как дрон полностью собран и стек закреплен на раме: калибровка до финальной сборки не будет соответствовать реальному наклону дрона в полете. Также в случае нестандартной установки FC, когда стрелка на плате смотрит не вперед, на этом экране выполняется коррекция ориентации: проще всего пройти пошаговый мастер Board Alignment Wizard, он сам подберет нужные углы.

- **Калибруйте акселерометр заново после любой разборки стека:** если вы откручивали винты крепления стека, снимали видеопередатчик (в стеках, где он встроен третьим этажом), то положение сенсора относительно рамы могло немного измениться. Забытая повторная калибровка после такой разборки, это частая причина, по которой дрон в полете «не стоит на месте» ровно, даже когда стики отпущены в центр.

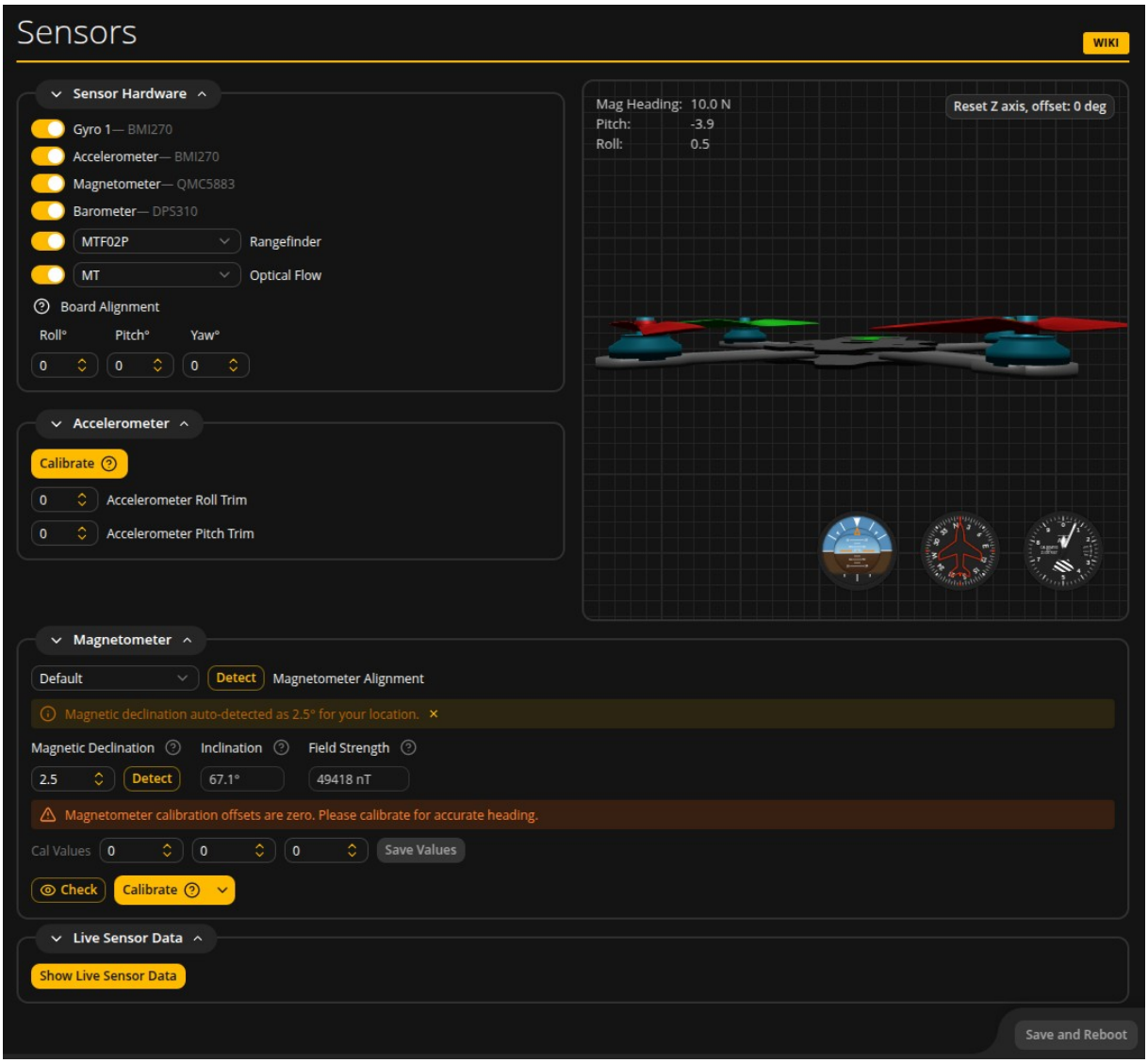


Рис. 32. Вкладка Sensors: графики, настройка и калибровка датчиков.

Ports: назначение UART-портов

Здесь каждому физическому UART-порту платы назначается роль, подробно логика UART и протоколов разобрана в отдельной главе. Несколько важных моментов.

- **Serial RX может быть только один:** приемник радиоуправления занимает ровно один UART-порт (для CRSF или GHST этого достаточно и для команд, и для телеметрии одновременно), назначать эту роль на нескольких портах одновременно нельзя.
- **USB VCP отключать нельзя:** это виртуальный COM-порт для связи с конфигуратором по USB, если его отключить, то конфигуратор потеряет связь с платой FC.
- **Скорость (baud rate) можно оставлять на Auto:** особенно это касается GPS-модуля, современные модули сами договариваются о скорости соединения в

автоматическом режиме, вручную скорость обычно нужна только для нестандартной периферии.

- **Точную распиновку смотрите на сайте производителя платы:** у каждой модели FC своя нумерация UART-портов и свое расположение площадок TX/RX на плате, единой для всех схемы не существует, производитель почти всегда публикует подробную схему платы с подписанными портами, ей и нужно пользоваться при подключении периферии.

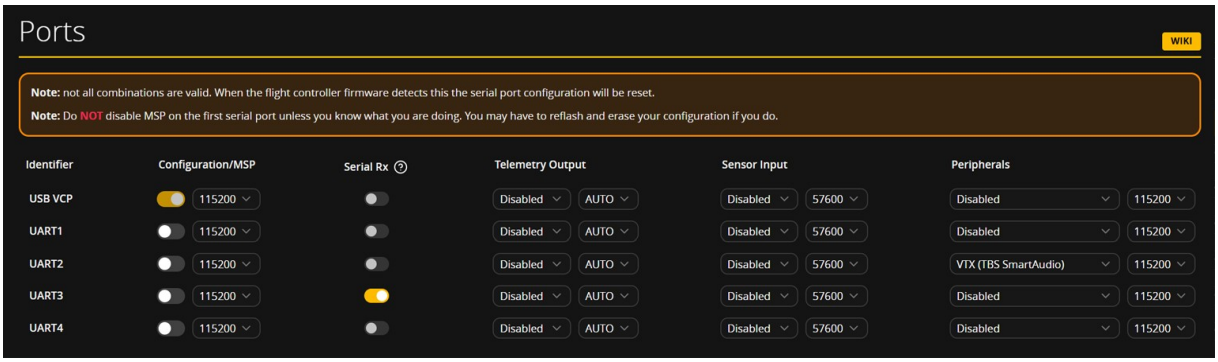


Рис. 33. Вкладка Ports: назначение ролей UART-портам.

Configuration: общие настройки

На этой вкладке задаются протокол ESC/моторов (по умолчанию DShot600, смотреть таблицу в главе про протоколы), а также ключевая для новичка функция Air Mode. Air Mode сохраняет управление дроном даже на нулевом газе: без него на сброшенном газе моторы почти останавливаются, дрон перестает слушаться стиков, и в акробатическом режиме это быстро заканчивается потерей положения. Для нормального полета его держат включенным постоянно. Также полезно настроить функцию DShot Beacon, чтобы дрон умел пищать моторами для поиска при посадке в высокой траве.

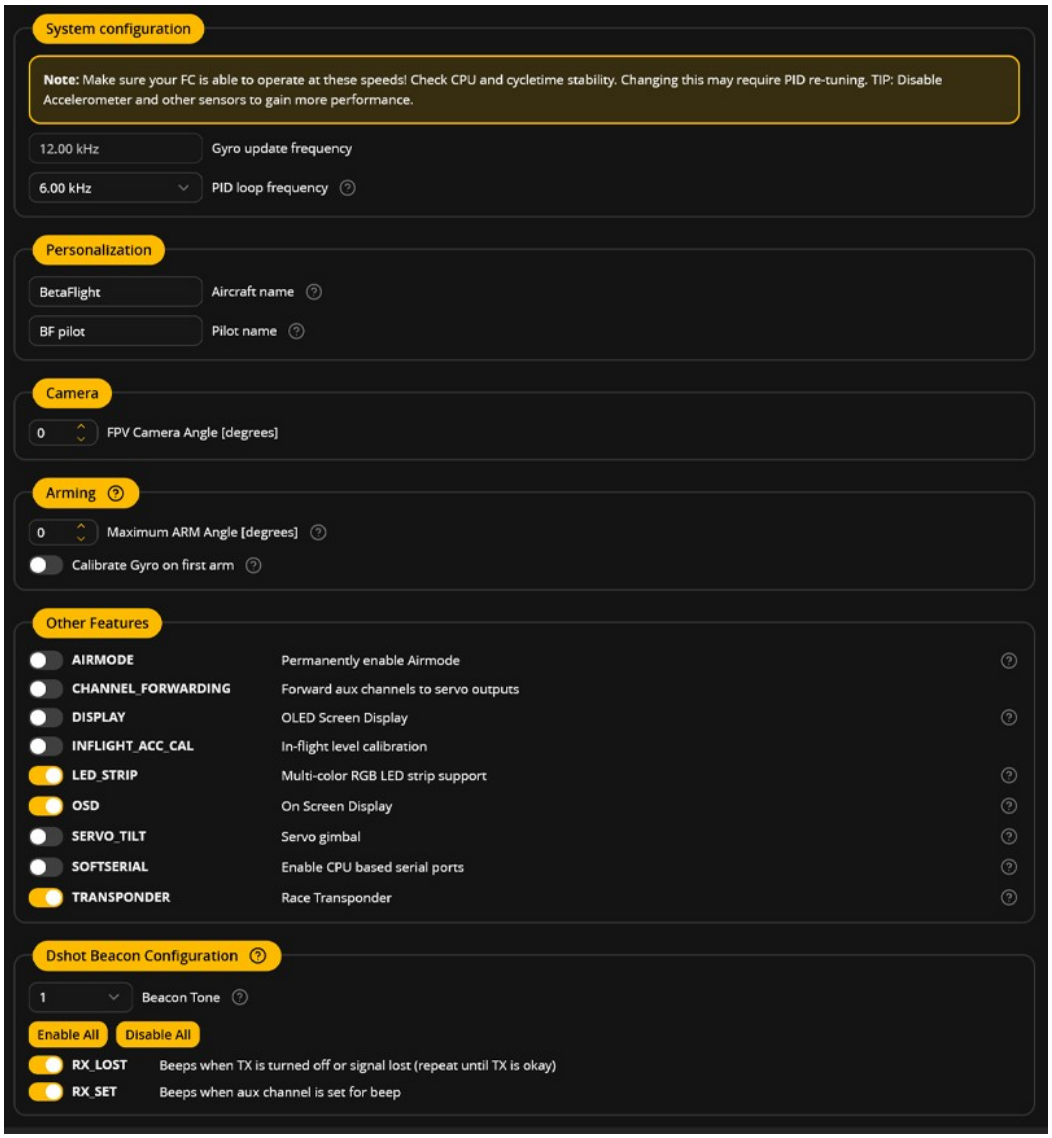


Рис. 34. Вкладка Configuration: протокол моторов, Air Mode и другие общие настройки.

Power & Battery: питание и напряжение

Правильная калибровка напряжения батареи критична: именно на ее основе работает предупреждение о разряде батареи сигналом на OSD и логика failsafe, реагирующая на низкое напряжение. Сверьте показания вкладки с реальным напряжением, измеренным мультиметром на балансировочном разъеме батареи, и при необходимости скорректируйте коэффициент калибровки, заводские значения нередко расходятся с реальностью на 0.1-0.5 В.

Диапазоны предупреждений о напряжении задаются на ячейку и зависят от химии батареи: у обычной LiPo рабочий диапазон примерно 3.3-4.2 В на ячейку (садиться ниже 3.3 В нежелательно), у LiHV чуть выше, до 4.35 В на ячейку в заряженном состоянии, у самодельных сборок на Li-ion 21700, заметно ниже: обычно около 3.0-4.2 В на ячейку. Умножьте нужный диапазон на число ячеек (S) конкретной батареи, чтобы получить пороги предупреждения в вольтах именно для вашей сборки.

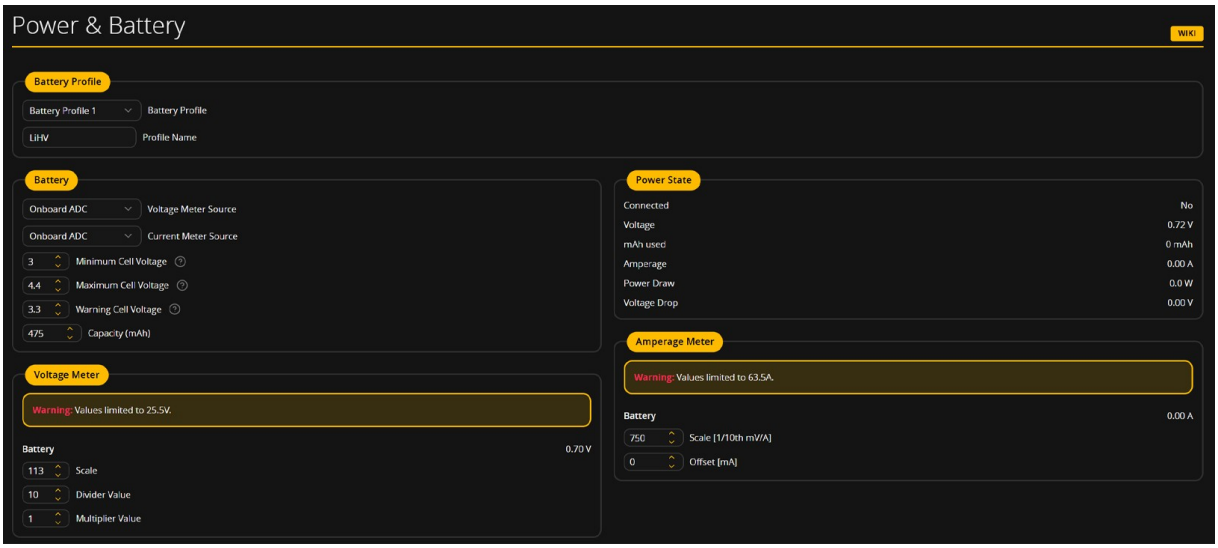


Рис. 35. Вкладка Power & Battery: калибровка вольтметра и настройки батареи.

Failsafe: поведение при потере связи

Это одна из важнейших вкладок в гайде, ей стоит уделить особое внимание. Failsafe определяет, что делает дрон, если связь с пультом внезапно пропала.

- **Stage 1:** поведение в первые секунды после потери сигнала, обычно это удержание последних значений каналов пульта на короткое время на случай кратковременной помехи.
- **Stage 2:** что происходит, если связь так и не восстановилась: снижение оборотов до нуля и падение (Drop), плавная посадка (Land), либо возврат по GPS (GPS Rescue, если он настроен и есть GPS-модуль).
- **Диапазон стиков (Valid Pulse Range):** границы, за которыми сигнал канала считается некорректным и включается failsafe. Заводские значения 885 и 2115 микросекунд подходят почти всем, в том числе связке EdgeTX с ExpressLRS (у нее реальный диапазон каналов примерно 988-2012), и без причины их менять не нужно.

GPS Rescue подробно

GPS Rescue, автоматический аварийный возврат дрона на точку взлета, это, пожалуй, самая полезная функция безопасности именно для новичка. Логика такая: если во время Stage 2 failsafe у дрона есть уверенный сигнал GPS (нужно не менее 8 спутников и зафиксированная перед вылетом точка старта), то вместо падения или простого снижения на низком газе, дрон автоматически поднимается на заданную безопасную высоту, разворачивается в сторону точки взлета, летит к ней по прямой и снижается для перехвата управления пилотом. Это не полноценный возврат домой с автопосадкой как у дронов DJI. Но без GPS Rescue при потере связи дрон, скорее всего, просто упадет вниз на том уровне газа, что задан в Stage 2 при установке Land, и в высокой траве или в кустах его будет очень непросто

найти. По неопытности новичок нередко теряет связь именно из-за того, что улетел немного дальше или ниже по высоте, чем обычно.

- **Перед каждым включением ARM важно дождаться фиксации GPS,** конфигуратор и OSD показывают число видимых спутников и статус 3D Fix, взлетать стоит только после уверенной фиксации точки взлета.
- **Новичкам рекомендуется всегда ставить GPS-модуль,** он стоит совсем недорого и страхует от одной из самых частых причин полностью потерянного дрона у начинающих пилотов.

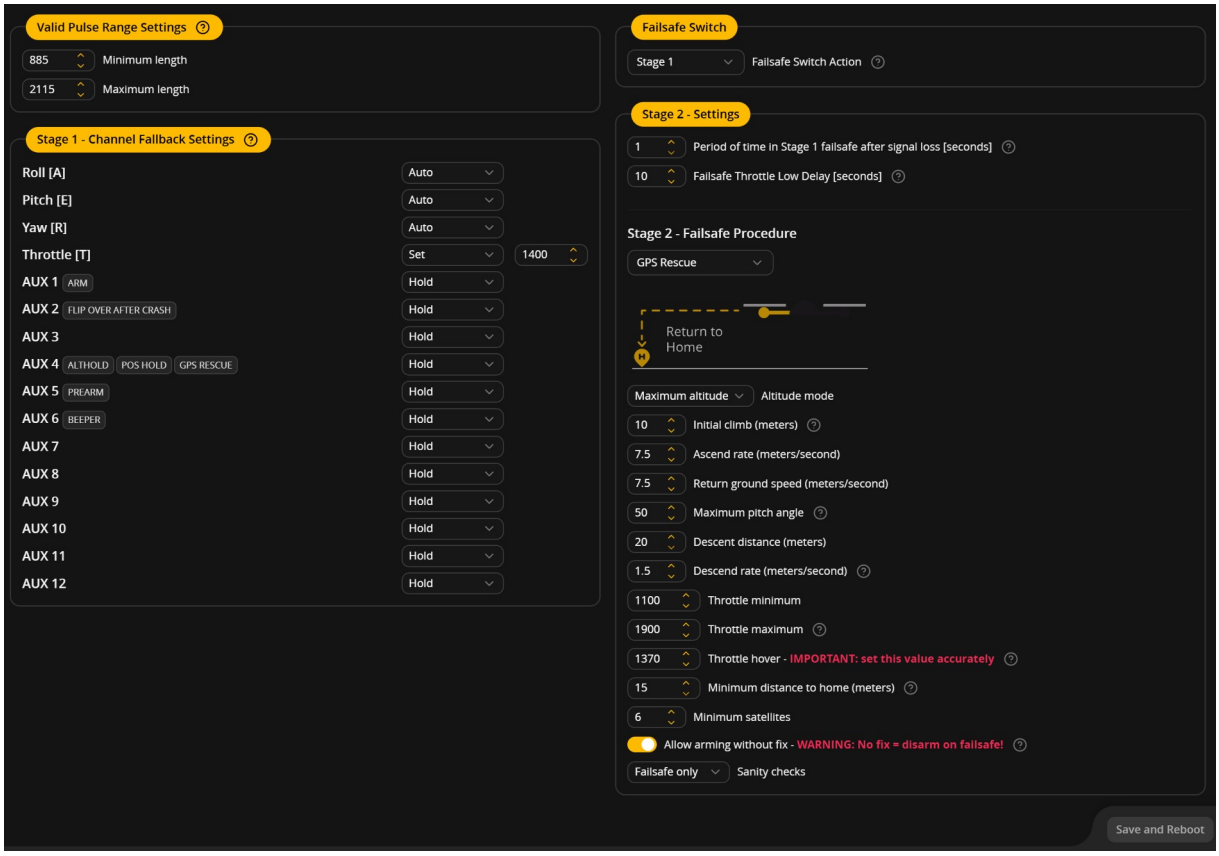


Рис. 36. Вкладка Failsafe: настройка поведения дрона при потере радиосвязи и параметры GPS Rescue.

Ниже разобраны основные параметры GPS Rescue, которые нужно обязательно настроить и проверить перед первыми полетами.

- **Altitude mode:** логика выбора высоты возврата. Maximum altitude, самый безопасный вариант, берет максимальную высоту за весь полет с запасом.
- **Initial climb (м):** высота первого набора сразу после срабатывания, до разворота в сторону дома. Типично 10 метров.
- **Ascend rate (м/с):** скорость набора высоты. Типично 5 метров в секунду.
- **Return ground speed (м/с):** горизонтальная скорость полета домой. Не стоит задирать на максимум, типично 10 метров в секунду.

- **Descent distance (м):** дистанция до дома, при достижении которой дрон переходит от горизонтального полета на возвратной высоте к вертикальному снижению. Безопасно 25 метров.
- **Descend rate (м/с):** скорость финального снижения, безопасно 1-2 м/с. Это не автопосадка, а сближение с землей у дома, дальше управление нужно перехватывать руками.
- **Throttle minimum / Throttle maximum:** жесткий коридор газа, за который регулятор не выйдет, страховка на случай сбоя расчета.
- **Throttle hover:** газ висения именно вашей сборки в Angle mode на полном заряде, необходимо установить руками по реальному тесту зависания.
- **Minimum distance to home (м):** если дрон находится ближе этого расстояния к дому в момент срабатывания, то GPS Rescue не запускается, около 10 м.
- **Minimum satellites:** минимум спутников для готовности GPS Rescue и разрешения на арминг моторов, по умолчанию 8 и снижать не стоит.
- **Allow arming without fix:** если включено, то взлет разрешен без фикса GPS, но тогда при реальном failsafe GPS Rescue не сработает и произойдет дизарм моторов с падением с высоты. Новичку безопаснее держать выключенным.
- **Sanity checks:** проверки адекватности поведения GPS Rescue в полете. Оставьте заводское значение Failsafe only: оно дает строгий контроль при реальной потере связи и запас времени, чтобы вернуть тумблер обратно, если возврат вы включили вручную. Значение Off предназначено только для тестов и все равно не отменяет аварийный дизарм примерно через 20 секунд неудачного возврата.

PID Tuning: настройка полетного поведения

PID, три коэффициента на каждую ось дрона, по которым FC рассчитывает, насколько сильно крутить моторы, чтобы удержать или изменить положение дрона. Проще всего объяснить логику PID по аналогии с обычным вождением автомобиля. Представьте, что впереди перекресток и нужно повернуть на 90 градусов. Водитель с «хорошо настроенными PID» повернет руль ровно настолько, насколько нужно, плавно пройдет поворот и вернет руль обратно в исходное положение. Неопытный водитель, наоборот, перекрутит руль, начнет выкручивать обратно, потом снова довернет, и машину будет «мотать» из стороны в сторону.

- **P (Proportional):** насколько сильно вы реагируете прямо сейчас, пропорционально тому, насколько сильно вы еще не вошли в поворот. То есть чем больше текущая ошибка (далеко от нужного угла), тем сильнее выкручивается руль.

- **I (Integral):** реакция на то, что вы уже какое-то время едете не туда. Если ошибка не проходит долгое время (например, машина медленно но верно движется к встречной полосе), I постепенно докручивает руль сильнее, чтобы все же выправить курс.
- **D (Derivative):** гасит слишком резкие рывки и реагирует на скорость увеличения ошибки. Если руль дернули слишком резко и машину начало «колбасить», то D возвращает руль обратно, сглаживая колебания, вызванные самим P.

Betaflight предлагает готовые слайдеры для упрощенной настройки (Simplified Tuning), для новичка их вполне достаточно, ручная тонкая настройка через Blackbox-логи имеет смысл только по мере накопления летного опыта. Feed Forward (FF) добавляет к управляющему сигналу составляющую, напрямую пропорциональную скорости движения стика, это делает реакцию дрона более резкой, особенно на быстрых движениях, и включено в Betaflight по умолчанию. Также на этой вкладке настраивается режим удержания углов Angle, его сила (Strength) и ограничение максимального угла наклона (по умолчанию 60 градусов, на первые полеты его разумно снизить примерно до 45 градусов, это Angle Limit). Дополнительно полезно включить функцию компенсации просадки напряжения батареи на 100% (Vbat Sag Compensation) и функцию выравнивания кривой газа на 30% (Thrust Linearization), что особенно полезно для маленьких дронов.

- **CHIRP-автотюнинг:** относительно новая возможность Betaflight, работает в два шага. Сначала режим CHIRP назначается на переключатель во вкладке Modes, и дрон в полете сам совершает короткую серию управляемых колебаний по каждой оси, записывая все это в Blackbox-лог. Затем этот лог открывают во вкладке Autotune конфигуратора, и она предлагает готовые значения коэффициентов PID и положения слайдеров Simplified Tuning под конкретный дрон. Это удобно и заметно быстрее ручной настройки, но все же не заменяет понимания того, что означают сами коэффициенты, и требует крайне аккуратного проведения полетных тестов в безопасных условиях. Вкладка Autotune видна только при включенном экспертном режиме, поскольку предназначена для опытных пользователей, хорошо понимающих систему.

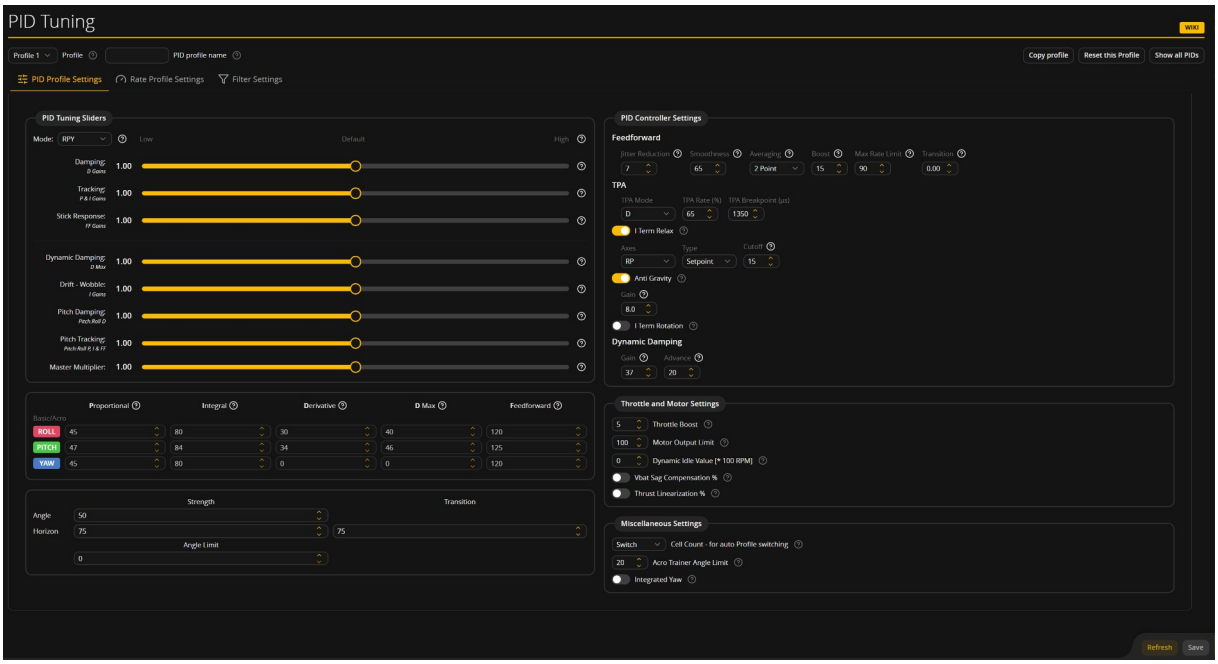


Рис. 37. Вкладка PID Tuning: коэффициенты PID, FF и Simplified Tuning для каждой оси.

Rate Profiles: скорость вращения и экспоненты

Rates определяют, насколько быстро дрон вращается при полном отклонении стика по каждой из осей, и это уже не про стабилизацию, а про «остроту» управления. Экспонента (Expo) смягчает реакцию на небольшие отклонения возле центра стика, оставляя полную скорость доступной у краев хода. Новичку рекомендуется начинать с пониженных значений rates и повышенной экспоненты, это делает дрон предсказуемым и плавным в управлении, что особенно важно на первых вылетах. Безопасные значения: 540 градусов в секунду по осям Roll и Pitch, 360 градусов в секунду по оси Yaw, а также Expo порядка 0.5. Отдельно на этой же вкладке есть настройки оси газа, Throttle MID и Throttle EXPO. Новичку их трогать не нужно: линейный газ дает более простой контроль по высоте. И учтите, что Throttle MID сам по себе ни на что не влияет, пока Throttle EXPO равен нулю, это всего лишь точка изгиба кривой газа.

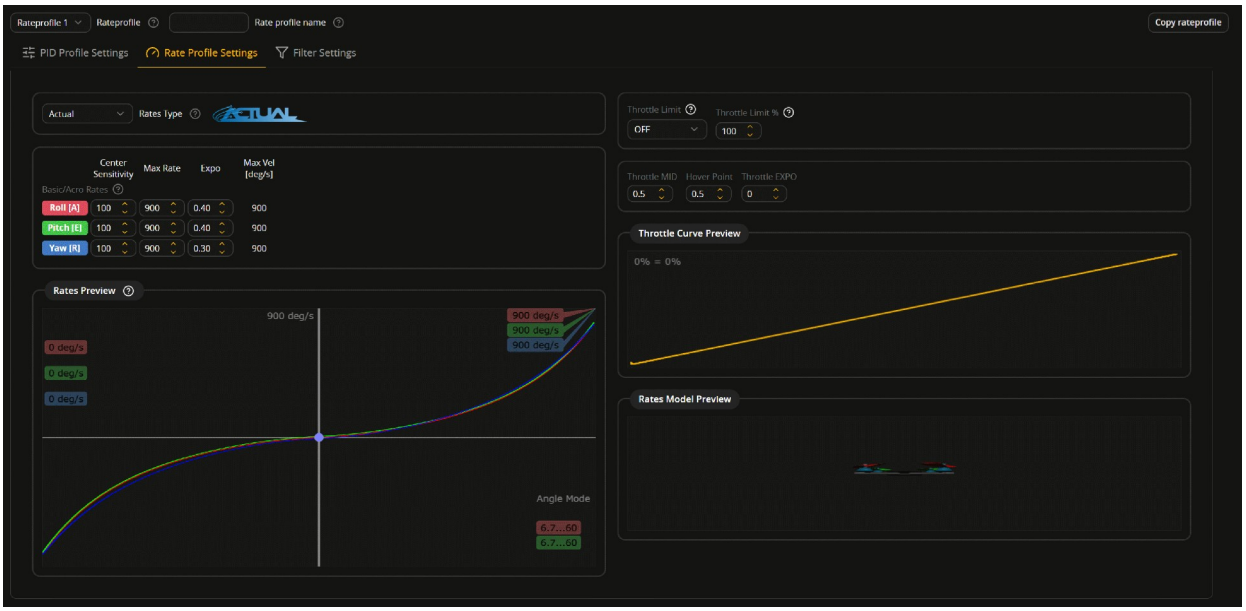


Рис. 38. Вкладка Rate Profile: настройка вращения дрона и экспонент стиков.

Receiver: настройка приемника

Укажите протокол приема, для связки с ExpressLRS это Serial через UART, протокол CRSF. Здесь же задается порядок каналов (Channel Map), который для CRSF обычно уже соответствует стандарту AETR1234 (Aileron / Elevator / Throttle / Rudder) = (Крен / Тангаж / Газ / Рыскание) и менять его не стоит. На этой вкладке удобно видеть в реальном времени живые значения всех каналов. Ниже есть блок настроек Stick: это не масштабирование каналов, а пороги, по которым Betaflight понимает, что стик доведен до края или стоит ровно в центре (они нужны, например, для команд стиками и калибровки), заводские значения для связки EdgeTX и ExpressLRS менять не нужно. Там же настраивается мертвая зона стиков (RC Deadband и Yaw Deadband). По умолчанию она нулевая, и на исправных Hall-гимбалах так и стоит оставить: мертвая зона отъедает часть хода стика. Небольшое значение имеет смысл добавлять, только если стики не возвращаются точно в центр или значения каналов заметно подрагивают в покое.

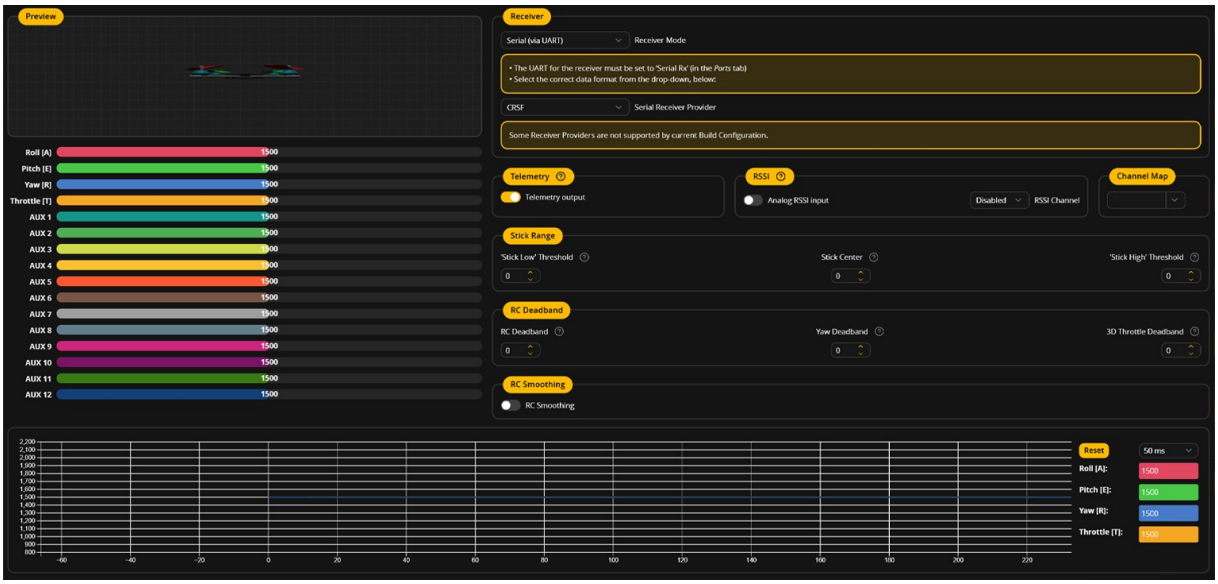


Рис. 39. Вкладка Receiver: отображение каналов и настройка приемника.

Modes: режимы и переключатели

Единственный по-настоящему обязательный режим, это **ARM** (включение двигателей). Назначьте его на переключатель, до которого сложно дотянуться в полете, на практике опытные пилоты рекомендуют выделенную защищенную кнопку на удалении от края пульта, а не маленький тумблер рядом с другими: палец легко соскальзывает и случайный дизарм в воздухе приводит к потере дрона.

- **Angle:** самый простой полетный режим, FC сам удерживает горизонт и ограничивает максимальный угол наклона, отпущенные стики выравнивают дрон в горизонт. Управление высотой при этом ручное, через прямой газ. С Angle начинают все новички, описание в главе про первый полет.
- **Horizon:** гибрид Angle и Acro: в центре хода стика работает самовыравнивание в горизонт, а у краев хода дрон позволяет крутиться свободно, как в полноценном акробатическом режиме.
- **Air Mode:** если не включен постоянно в Configuration, назначается сюда отдельным переключателем, удерживает стабилизацию активной даже на нулевом газе. Новичкам лучше включить его постоянно в Configuration.
- **Beeper:** включает звуковой поиск потерянного дрона, моторы или подключенная пищалка (buzzer) начинают пищать по команде с пульта.
- **GPS Rescue:** отдельный переключатель, который вручную включает режим возврата, если пилот сам решил, что хочет безопасно вернуть дрон домой.
- **Position Hold / Alt Hold:** если эти опции были включены при прошивке и есть GPS с барометром, то дрон удерживает свою позицию в воздухе по горизонтали и/или высоту по вертикали при отпущенных в центр стиках.

- **Autopilot:** в Betaflight 2026.6 появились первые наработки автопилота с полетом по точкам маршрута (waypoints). Пока это только заготовка на будущее: разработчики прямо предупреждают, что функция экспериментальная, проверена только в симуляторе и не готова к реальным полетам, а сама прошивка запрещает арминг моторов при включенном режиме Autopilot. Использовать на реальном дроне пока нельзя.
- **Переключайте режимы только на среднем положении стика газа, когда дрон не меняет свою высоту.** Переключение режимов (например, добавление Alt Hold к уже включенному Angle и обратно) на минимальном или максимальном газе может привести к резкому и совершенно неожиданному скачку и перевороту дрона, тогда как среднее положение газа безопасно для любых переключений в воздухе.

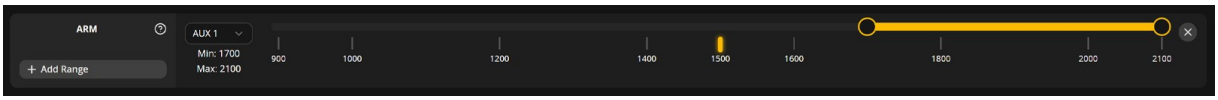


Рис. 40. Назначение режима ARM на переключатели пульта во вкладке Modes.

GPS: настройка модуля позиционирования

GPS-модуль не стоит считать опциональным дополнением: стоит он совсем недорого, порядка 10-15 долларов за бюджетный модуль на чипе u-blox M10, а страхует ровно от той ситуации, которая чаще всего портит впечатление новичку от хобби: дрон улетел по неопытности слишком далеко, слишком низко или за пределы видимости, связь пропала, и без GPS Rescue аппарат просто падает на заданном в Failsafe уровне газа и повреждается, и найти его потом бывает очень непросто (см. подробности GPS Rescue выше, на вкладке Failsafe).

Здесь настраивается протокол связи с модулем (обычно UBLOX, он определяется автоматически). Для лучшего покрытия спутниками рекомендуется включать поддержку сразу нескольких навигационных группировок (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou), если это поддерживает конкретный модуль. Компас (магнитометр) на маленьких гоночных рамах 5-7 дюймов практически бесполезен: магнитные наводки от силовых проводов, ESC 4-в-1 и самой батареи находятся слишком близко к любому разумному месту установки компаса и искажают его показания сильнее, чем компас может скорректировать калибровкой. Поэтому подавляющее большинство пилотов летает с GPS вообще без компаса, это стандартная и рабочая конфигурация: Position Hold в таком случае тоже работает, просто FC определяет курс по перемещению дрона, и перед его включением нужно несколько секунд пролететь по прямой носом вперед (подробнее в главе про компоненты).

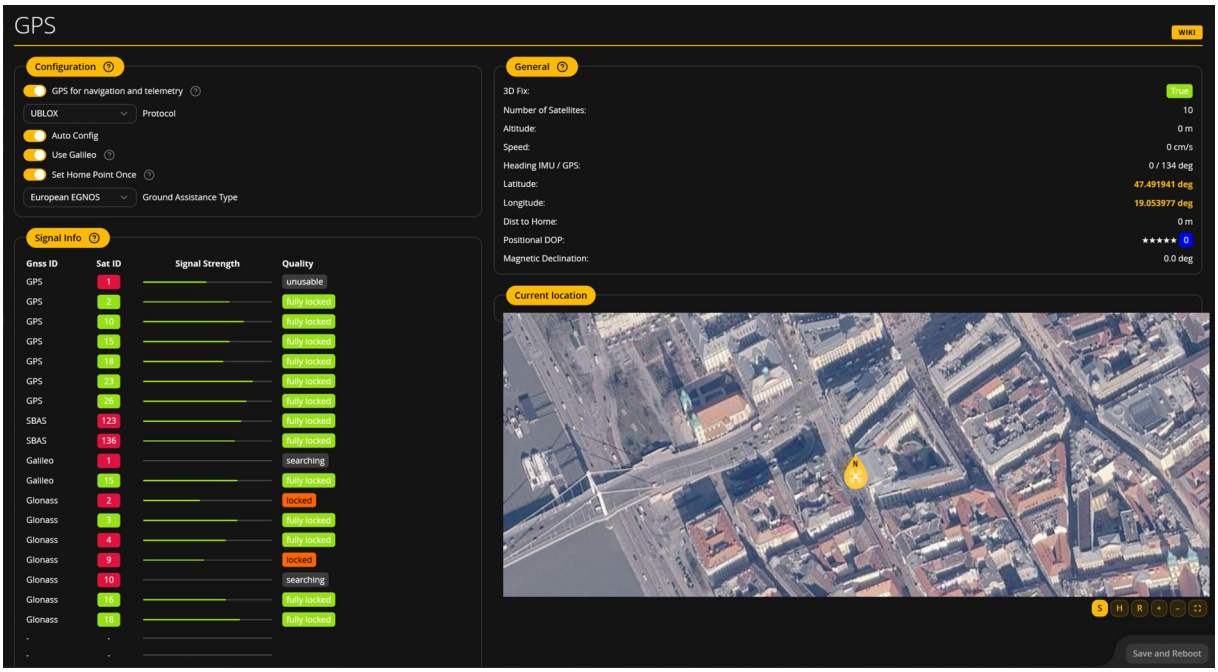


Рис. 41. Вкладка GPS: настройка модуля позиционирования для GPS Rescue.

Motors: проверка и направление вращения

На этой вкладке можно безопасно проверить каждый мотор индивидуальными ползунками, при этом пропеллеры должны быть обязательно сняты. Также здесь настраивается Motor Idle, минимальный процент оборотов моторов при взведенном ARM и нулевом газе: слишком низкое значение может привести к остановке мотора в воздухе на резких маневрах, слишком высокое к неприятному «выпрыгиванию» дрона при взлете. Заводское значение 5.5%, и для большинства сборок его так и оставляют; практический диапазон подстройки примерно 5-8% в зависимости от конкретных моторов и пропеллеров.

- **Motor Direction:** отдельная кнопка на этой же вкладке позволяет программно поменять направление вращения любого мотора без перепайки проводов на ESC. Можно воспользоваться инструментом Motor Direction Wizard, который пошагово, мотор за мотором, задает правильное направление и заодно проверяет корректность подключения каждого мотора к своему разъему на ESC, либо можно изменить направление вращения каждого мотора по отдельности вручную, если вы точно знаете, какой из них перепутан.
- **Bidirectional DShot и Motor Poles:** обязательно включите двунаправленный DShot и укажите число магнитов в колоколе мотора (Motor Poles: у моторов размера 2207 и близких их 14). Именно на этих данных работает фильтр по оборотам моторов (RPM filter), который сильнее всего чистит сигнал гироскопа. При неверном числе магнитов обороты считаются неправильно, и фильтр работает не так, как должен.

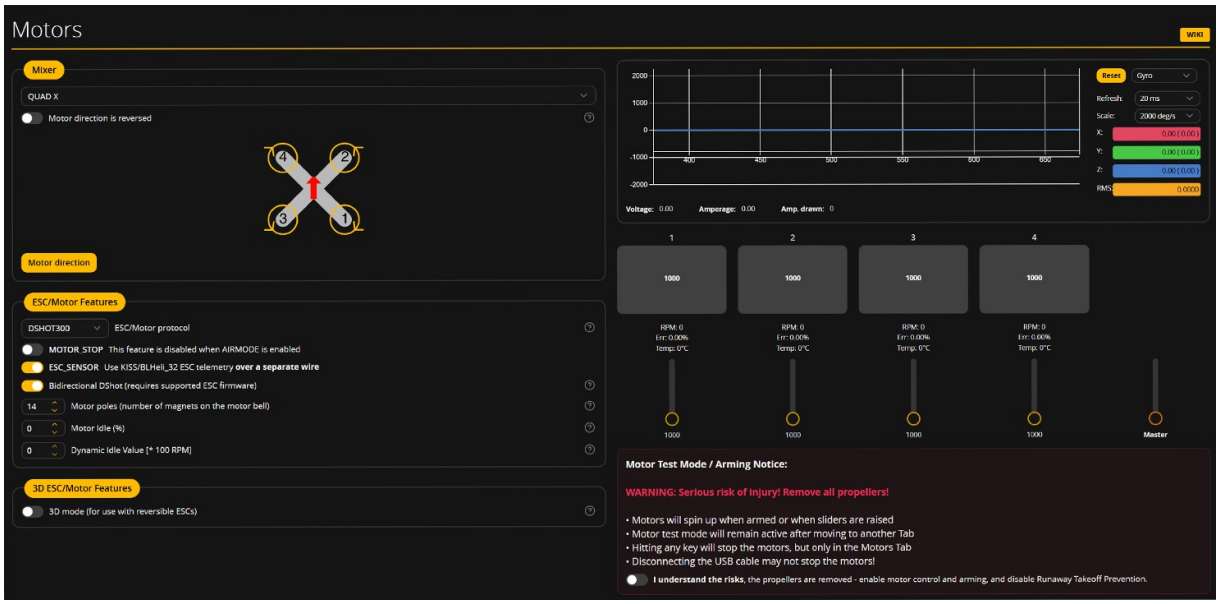


Рис. 42. Вкладка Motors: проверка моторов, Motor Idle и диалог Motor Direction.

OSD: экранная телеметрия

Здесь настраивается расположение элементов визуальной телеметрии поверх видео в очках пилота: нужные элементы включаются галочками, а затем перетаскиваются мышью по окну предпросмотра. Также можно настроить несколько раскладок OSD и переключать их с помощью тумблера на пульте управления.

- **Смените шрифт:** стандартный шрифт OSD довольно мелкий и плохо читается, особенно в аналоговой системе на небольшом экране очков. Смените его в настройках шрифта (Font Manager) на что-нибудь покрупнее, например Bold, Large или Clarity, разница в читаемости в полете огромная. Учтите, что Font Manager работает только для аналогового OSD; в цифровых системах шрифт задается на стороне очков или самого air unit.
- **Включите предупреждения (Alarms и Warnings):** как минимум предупреждения о низком напряжении батареи, слабом RSSI, запрете ARM и Failsafe, они выводятся крупным текстом поверх картинки именно в момент, когда параметры выходят за безопасный порог, и их легко заметить не отвлекаясь от пилотирования.
- **Минимальный набор элементов:** напряжение батареи (Battery Voltage, можно на одну банку), качество связи (Link Quality) и уровень сигнала (RSSI dBm value), причем с ExpressLRS первый показатель информативнее, показания GPS (GPS Sats), высота (Altitude), искусственный горизонт (Artificial horizon), целеуказатель (Crosshairs), полетный режим (Fly mode), направление и расстояние до дома (Home direction и Home distance), уровень газа (Throttle position), вариометр (Numerical vario) и все предупреждения (Warnings), а также

статистика полета (Post Flight Statistics), показывающая максимальную высоту и скорость, общее пройденное расстояние и удаление от дома, а также общее полетное время, что удобно для контроля прогресса после полета.

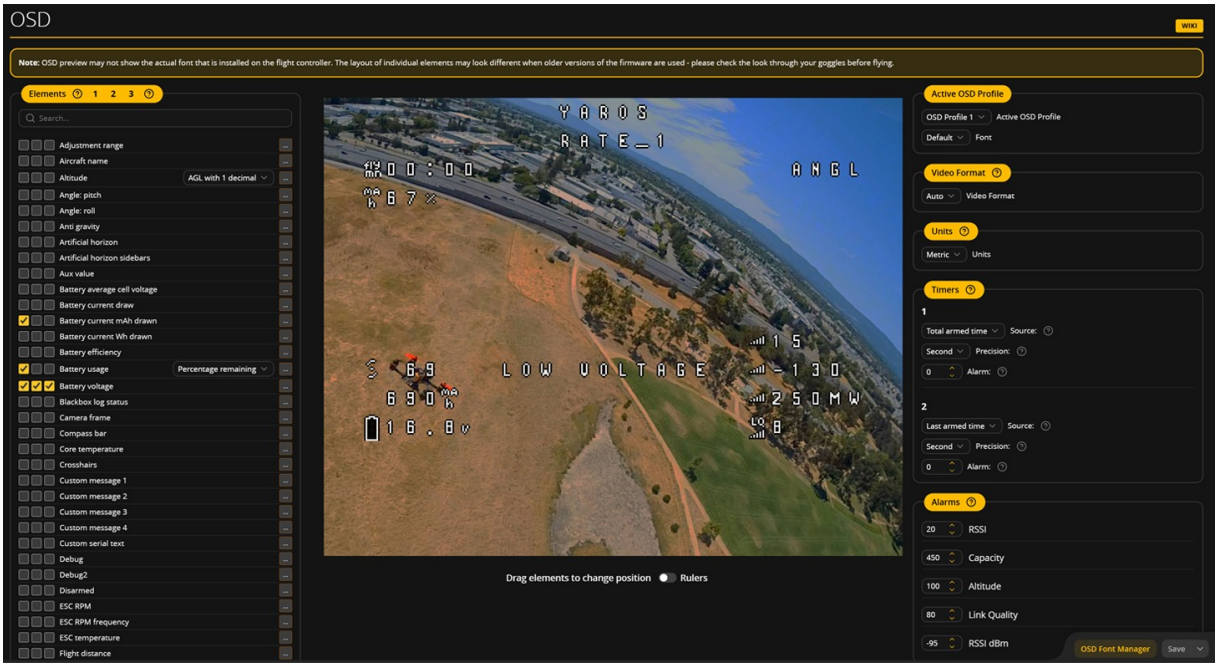


Рис. 43. Вкладка OSD: выбор шрифта, предупреждений и расположение элементов телеметрии на видео.

Blackbox: запись логов полета

Инструмент Blackbox записывает подробный лог полета (показания датчиков, команды управления, работу PID) либо во встроенную флеш-память платы, либо на карту памяти microSD. Именно эти логи используются для CHIRP-автотюнинга и для тонкой ручной настройки PID по мере роста опыта пилота. Для графического анализа записанных данных служит вкладка Blackbox Viewer конфигуратора. Не путайте две вкладки: Blackbox настраивает запись и скачивает логи с платы, а Blackbox Viewer их открывает и рисует графики.

- **Когда дрон уже хорошо настроен,** то не стоит постоянно летать с включенной записью всех полей данных в Blackbox, поскольку это лишняя нагрузка на память и процессор. Разумнее оставлять запись включенной только на время целевых тестовых полетов (например, перед CHIRP-автотюном или разбором конкретной проблемы), и по возможности ограничить набор записываемых полей только тем, что реально нужно для анализа, а также снижать скорость записи (Logging Rate) до минимально необходимой.

CLI: резервное копирование настроек

Обязательно сохраните резервную копию всех настроек дрона перед любыми серьезными экспериментами. Во вкладке CLI (командная строка конфигуратора) есть четыре ключевых команды.

- **diff all**, покажет только те значения, которые отличаются от заводских настроек, компактный и самый удобный вариант резервной копии, подходит для того, чтобы делиться конфигурациями с другими пилотами.
- **dump all**, выводит полный дамп абсолютно всех настроек, включая параметры FC по умолчанию, полезно при обновлении до новых версий, но не стоит загружать в FC других моделей.
- **save**, сохраняет все изменения настроек в энергонезависимую память и перезагружает полетный контроллер.
- **help и help имя**, выводит список всех доступных команд с кратким описанием, а также детальное описание для конкретной команды.

Скопируйте вывод команды **diff all** в текстовый файл и сохраните его на компьютере. Чтобы восстановить конфигурацию, откройте вкладку CLI на уже прошитой плате, сначала выполните команду **defaults** (полный сброс к заводским значениям, иначе старые и новые настройки перемешаются), затем вставьте весь сохраненный текст в поле ввода одним блоком и нажмите Enter, CLI построчно выполнит все команды и восстановит сохраненную конфигурацию за несколько секунд, после этого введите команду **save** и снова нажмите Enter. Это особенно выручает после сбоев, ошибочных сбросов настроек (Reset to Defaults) или при переносе проверенной конфигурации на новый дрон. Также интерфейс CLI открывает доступ к полному набору настроек, которых нет в графическом интерфейсе конфигуратора, через команды **get** и **set**, однако такие функции нужны только очень опытным пилотам и разработчикам.

Настройка EdgeTX (черно-белый пульт)

EdgeTX, это самая популярная открытая прошивка для пультов управления. Эта глава ориентирована на пульты с черно-белым (монохромным) экраном, которые являются самыми доступными и распространенными. Логика настройки для цветных экранов абсолютно аналогична, просто меню выглядят визуально иначе. Для более скоростной настройки пульта управления можно использовать приложение для компьютера EdgeTX Companion https://edgetx.org/getedgetx/.

Обновление прошивки пульта

1. Зайдите на официальный сайт-помощник https://buddy.edgetx.org/, там собраны все актуальные версии прошивок и пошаговые инструкции для конкретных моделей пультов.
2. Выберите точную модель вашего пульта и последнюю версию EdgeTX.
3. Переведите пульт в режим DFU/Bootloader, способ входа отличается для разных моделей (обычно зажатая при включении определенная кнопка или их комбинация), сайт производителя покажет точную инструкцию.
4. Прошейте через USB прямо из веб-интерфейса EdgeTX Buddy.
5. Через тот же веб-сервис можно загрузить содержимое microSD-карты пульта: звуки, язык интерфейса, темы оформления, скрипты для ExpressLRS.

Radio Setup: общие настройки пульта

Прежде чем создавать модель под конкретный дрон, стоит один раз пройтись по разделу Radio Setup, он отвечает за настройки самого пульта в целом, а не только отдельной модели.

- **Режим стиков (Mode):** для FPV-дронов это Mode 2, мировой стандарт (газ и рыскание слева без самоцентровки газа, крен и тангаж справа), это же самый распространенный выбор в странах СНГ. Определяйтесь с режимом стиков осознанно один раз в начале обучения, привыкание к другому режиму впоследствии потребует полной перестройки мышечной моторики.
- **Общие параметры:** здесь же настраиваются регион (важно для соответствия локальным ограничениям по частотам), единицы измерения, громкость звука, яркость и контрастность экрана. Калибровка индикатора заряда встроенного аккумулятора (Batt. Calib) находится на соседней вкладке Hardware.
- **Калибровка стиков и переключателей:** в разделе Hardware → Calibration следуйте подсказкам на экране. Важный практический момент, актуальный почти для всех пультов на Hall-датчиках, в том числе бюджетных RadioMaster: калибровать сами стики нужно движением крестом (строго вверх, вниз, влево,

вправо от центра до упора и обратно), а не круговым движением по контуру квадрата. У бюджетных Hall-гимбалов края хода слегка «заваленные», и калибровка круговым движением по контуру дает перекошенную область допустимых значений вместо честного квадрата, движение крестом через центр дает заметно более точный и предсказуемый результат.

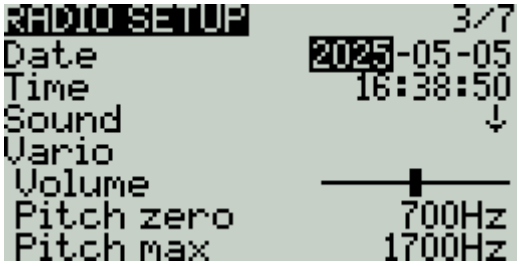


Рис. 44. Экран Radio Setup: общие настройки пульта.



Рис. 45. Экран калибровки стиков и потенциометров.

Внутренний и внешний радиомодуль под ExpressLRS

Если в вашем пульте ExpressLRS уже встроен, то в системном меню пульта (кнопка SYS) на странице Hardware выберите Internal RF Type = CRSF. Если же используется внешний модуль ExpressLRS, то аналогичная настройка выполняется в Model Setup → External RF.

Создание новой модели

Модель в терминологии EdgeTX, это профиль настроек под конкретный дрон (или другую радиоуправляемую модель): свои миксы, калибровки, назначения переключателей. Для каждого дрона стоит создавать отдельную модель.

1. Откройте экран Model Select (обычно кнопка MDL/Model).
2. Выберите пустой слот и нажмите Enter → Create Model.
3. Задайте понятное имя модели, чтобы не перепутать ее с другими дронами.



Рис. 46. Экран Model Select: список моделей.

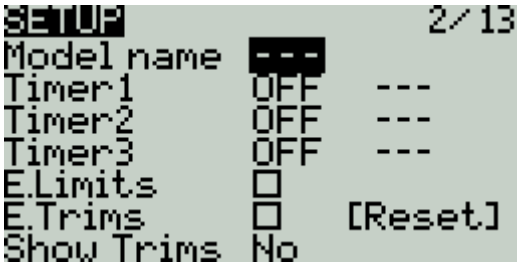


Рис. 47. Экран Setup модели: имя, параметры.

Bind (привязка) приемника

Привязка приемника к пульту в связке с ExpressLRS выполняется одним из двух способов, подробно описанных в главе про ExpressLRS: через уникальную Binding Phrase (рекомендуемый способ на современном оборудовании), либо через традиционный power cycle bind (пульт выключается, приемнику три раза подряд подают питание и снимают его меньше чем через 2 секунды, пока он не войдет в режим привязки с быстрым двойным миганием светодиода, затем включается пульт и через встроенный скрипт ExpressLRS запускается привязка, при успехе приемник начинает светиться ровно, без миганий, после этого можно выйти из скрипта).

Inputs → Mixer → Outputs: настройка каналов

Настройка каналов в EdgeTX проходит в три логических этапа, именно в таком порядке: Inputs определяет, какой физический стик или переключатель формирует начальное входное значение; Mixer комбинирует входы в итоговые каналы, которые уходят в радиоэфир; Outputs задает финальные ограничения (реверс, концевые точки, subtrim) для каждого выходного канала.

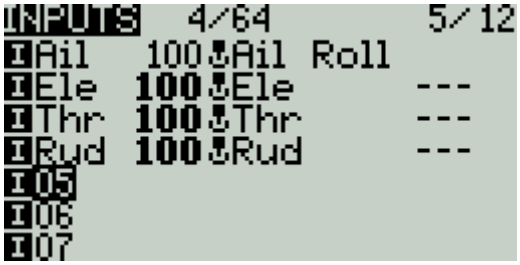


Рис. 48. Экран Inputs: привязка физических стиков к логическим входам.

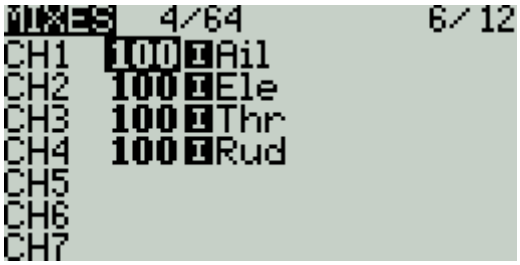


Рис. 49. Экран Mixer: комбинирование входов и тумблеров в каналы управления.

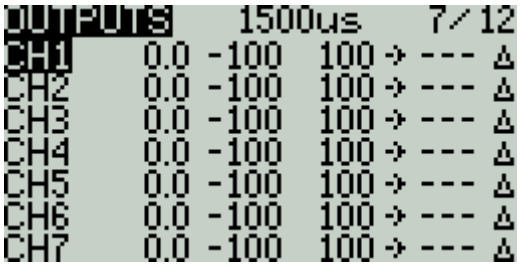


Рис. 50. Экран Outputs: настройка диапазона и реверса для каждого канала.

Стандартная раскладка каналов для мультикоптера

Разберем стандартную и рекомендованную раскладку каналов, с которой стоит начинать полеты новичкам, если нет особых причин делать иначе.

Канал	Назначение	Тип
1-4: AETR	Roll, Pitch, Throttle, Yaw Крен, Тангаж, Газ, Рыскание	Стики пульта
5: ARM	ARM и DISARM Запуск и остановка моторов	Двухпозиционный переключатель или кнопка с фиксацией
6: MODE	Режимы Betaflight Angle, Altitude, Position Hold	Трехпозиционный переключатель
7: AUX1	Принудительное включение режима GPS Rescue	Двухпозиционный переключатель
8: AUX2	Функция Beeper Звуковой поиск дрона	Двухпозиционный переключатель

Обратите внимание, что ARM стоит именно на пятом канале: в ExpressLRS этот канал передается в каждом пакете с минимальной задержкой, поэтому именно на нем дизарм срабатывает надежнее всего, переносить его на другой канал не стоит. Для канала ARM по возможности используйте отдельную кнопку с фиксацией (защелкивающуюся), а не соседствующий с другими простой тумблер: такой переключатель физически сложнее задеть случайно, и это осознанное, а не рефлекторное действие. Это особенно важно не только на взлете, но и на посадке. У новичка после напряженного полета руки часто немного трясутся, и есть соблазн нажать на дизарм слишком рано, до полной посадки, что роняет дрон с высоты.

Переключатель ARM должен требовать сознательного, а не случайного движения пальца в любой момент полета. Иногда объединяют два физических переключателя в один логический (Logical Switch) для решения этой проблемы.

- **Отключите триммеры (trim) для всех стиков управления дроном:** это касается не только газа, а вообще всех осей, включая крен, тангаж и рыскание, даже если вы летаете в акробатическом режиме (Acro). В отличие от радиоуправляемых самолетов, коптеру всегда мешает смещение нейтрали по любой оси. Отключаются триммеры в разделах Inputs и Flight Modes.
- **Экспоненту (Expo) для FPV-коптера лучше настраивать не на пульте, а в самом полетном контроллере:** это хорошая практика, лучше оставить настройки на входах (Inputs) пульта линейными (без экспоненты и с полными весами), а всю тонкую настройку кривых реакций стиков делать во вкладке Rate Profile конфигуратора Betaflight, смотреть соответствующую главу. Это значительно удобнее: все параметры полета хранятся в одном месте, вместе с остальными настройками PID и rates.

Полетные режимы пульта (Flight Modes): не путать с Betaflight

В EdgeTX можно настроить несколько «полетных режимов» самого пульта (Flight Modes), например, с разной экспонентой или ограничением каналов для разных условий полета. Важно четко понимать: полетные режимы пульта (Flight Modes) и полетные режимы Betaflight (Angle/Horizon/Acro, назначаемые во вкладке Modes конфигуратора), это две совершенно разные, никак напрямую не связанные друг с другом вещи, у них просто похожие названия. Новичку на старте достаточно использовать единственный, самый первый, базовый режим пульта (Flight Mode 0) и просто отключить в нем триммеры. Переключение же режимов Betaflight (Angle/Horizon/Acro) настраивается на конкретный физический переключатель через экран Mixer, а логика самих режимов разбирается в главе про первый полет.

Pre-start Checks

Это предполетные проверки, которые EdgeTX показывает при включении пульта и при загрузке модели (например, «газ не в нижнем положении» или «переключатель для ARM в неправильном состоянии»), не давая случайно перейти к управлению дроном, пока пульт не приведен в безопасное исходное состояние. Настраиваются в Model Setup вместе с прочими параметрами модели. Там же включается Checklist, собственный текстовый чек-лист, который пульт покажет при выборе модели.



Рис. 51. Экран Pre-start Checks: предупреждения при включении пульта.

Настройка ExpressLRS

ExpressLRS (ELRS), это открытая радиосистема, соединяющая пульт с приемником на дроне. У нее два физических компонента, которые нужно прошить и настроить по отдельности: радиомодуль пульта (TX) и приемник дрона (RX). Перед настройкой стоит обновить прошивку на обоих компонентах, и на модуле пульта, и на приемнике, разные версии прошивок иногда конфликтуют по функциям.

Прошивка через ExpressLRS Configurator

1. Скачайте официальный десктопный ExpressLRS Configurator https://www.expresslrs.org/quick-start/installing-configurator/, рекомендуемый и самый стабильный способ прошивки для новичка. Есть и альтернативное веб-приложение Web Flasher https://expresslrs.github.io/web-flasher/, оно удобно тем, что не требует установки и работает прямо в браузере.
2. Выберите точную модель вашего радиомодуля пульта (TX) или приемника (RX), а также нужную версию прошивки ExpressLRS.

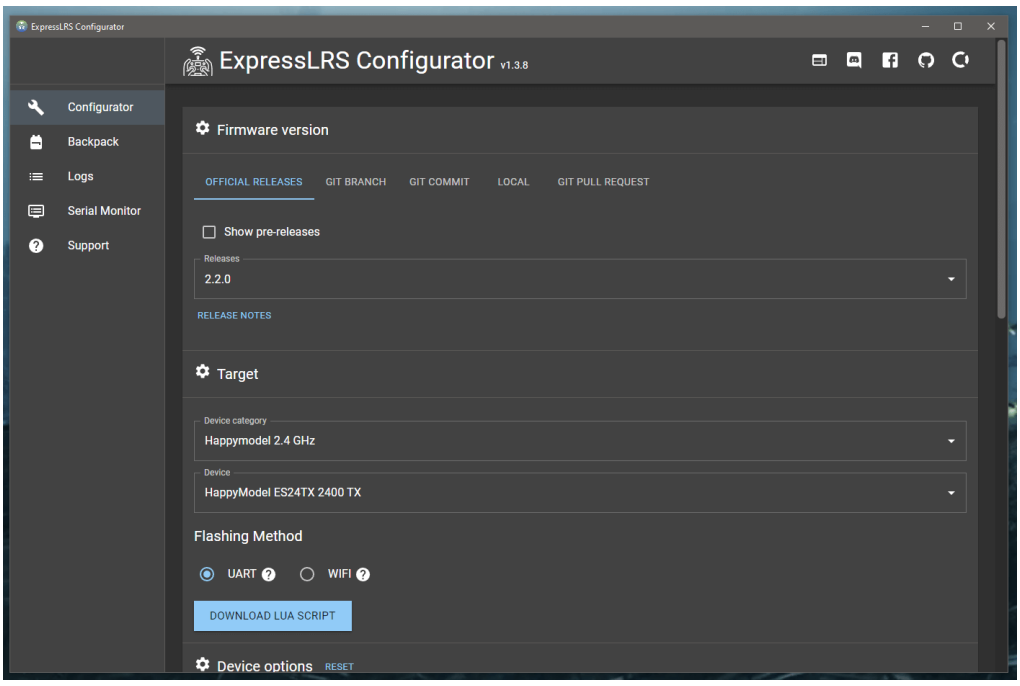


Рис. 52. ExpressLRS Configurator: выбор оборудования и версии прошивки.

3. Задайте Regulatory Domain, частотный домен прошивки. Для 2.4 ГГц выбирайте ISM 2400, а для Европы и стран с аналогичными нормами есть вариант EU CE 2400 с ограничением мощности. Важно: домен должен быть выбран одинаковый и на пульте, и на приемнике, иначе они просто не свяжутся.
4. Задайте Binding Phrase, уникальную фразу, которая заменяет ручную процедуру привязки (смотреть ниже). Эта же фраза указывается при прошивке и пульта, и приемника.

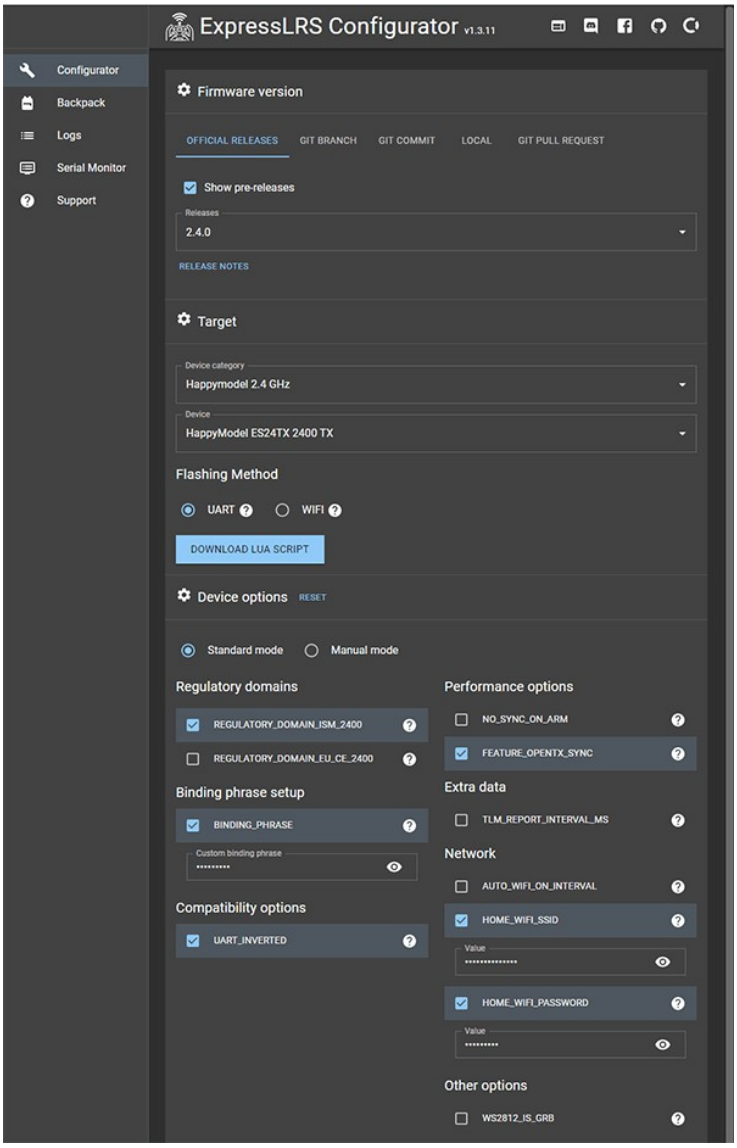


Рис. 53. Опции прошивки радиомодуля пульта (TX) 2.4 ГГц.

- **UART_INVERTED:** почти всегда требуется для радиомодулей на базе ESP32 (например, встроенных в популярные пульты RadioMaster), уточните необходимость по конкретной модели.
- **UNLOCK_HIGHER_POWER:** опция разблокировки повышенной мощности передачи, используйте с охлаждением, увеличивает нагрев модуля.

Пакетная частота (Packet Rate) и число каналов

В настройках ExpressLRS на пульте (через Lua-скрипт, см. ниже) можно выбрать пакетную частоту обновления связи и число одновременно передаваемых каналов. На низких частотах обновления улучшается чувствительность приемника RX и, соответственно, увеличивается дальность передачи сигнала, однако при этом возрастает задержка и ухудшается отзывчивость, что подходит для медлительных самолетов, но не подходит для быстрых и маневренных FPV-дронов. Для типичной сборки на 2.4 ГГц разумная отправная точка это 250 Hz: отклик уже быстрый, а запаса по дальности для обычных полетов более чем достаточно. Если нужна дальность, а не острота управления, то берите 150 Hz или 50 Hz. Восьми каналов радиоуправления при этом хватает для всех нужных функций (ARM, полетные режимы, GPS Rescue, звуковой поиск), то есть экономить на числе переключателей пульта не придется.

Lua-скрипт ExpressLRS на пульте

Lua-скрипт ExpressLRS, это встроенное в EdgeTX меню для управления радиомодулем TX прямо с экрана пульта, без подключения к компьютеру. Открывается через системное меню (кнопка SYS или удержание MENU, в зависимости от модели пульта). Через него можно выполнить привязку (Bind) без компьютера, настроить пакетную частоту и мощность передачи, а также просмотреть статус соединения и качество связи с приемником.

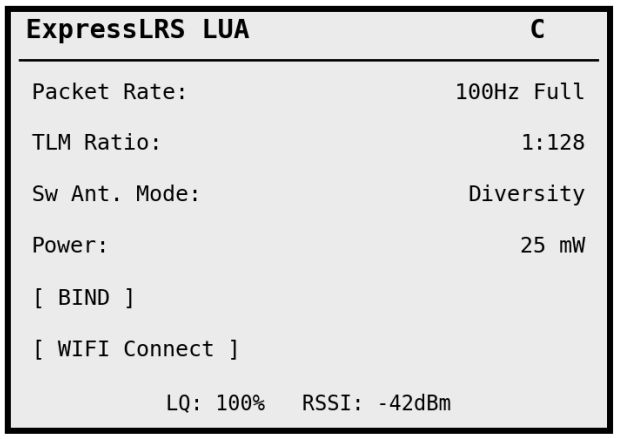


Рис. 54. Интерфейс Lua-скрипта ExpressLRS на экране пульта.

Bind (привязка)

Привязка, это однократное «знакомство» конкретного приемника с конкретным пультом, чтобы они в дальнейшем сразу подключались. Основных метода два, они разобраны ниже. Есть и еще два дополнительных способа перевести приемник в

режим привязки, если добраться до него физически неудобно: это кнопка «Bind Receiver» на вкладке Receiver в конфигураторе Betaflight и удержание кнопки на самом приемнике около полутора секунд. Затем нажимается кнопка BIND в интерфейсе Lua-скрипта на пульте управления.

Способ 1: Binding Phrase (рекомендуется)

Если при прошивке и модуля пульта, и приемника была задана одна и та же уникальная Binding Phrase (по сути как пароль), то они соединяются автоматически при первом включении, без каких-либо дополнительных действий. Это самый надежный и удобный способ, особенно для новичков в FPV.

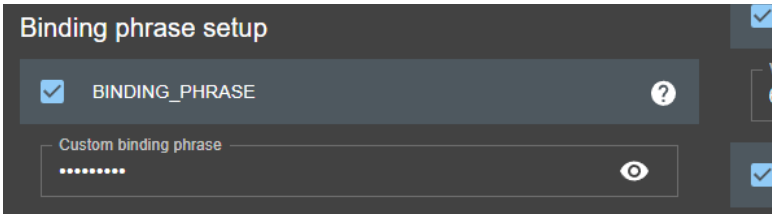


Рис. 55. Поле ввода Binding Phrase в ExpressLRS Configurator.

Способ 2: традиционная привязка через power cycle

1. Подайте на приемник питание и снимите его менее чем через 2 секунды, повторите так три раза подряд (power-cycle). Приемник перейдет в режим ожидания привязки, что видно по двойному миганию светодиода с паузой.
2. На пульте откройте Lua-скрипт ExpressLRS через системное меню.
3. Нажмите BIND в Lua-скрипте, приемник должен перейти в состояние ровного (немигающего) свечения светодиода, что подтверждает успешную привязку.

Проверить, что соединение установлено, можно прямо в Lua-скрипте на пульте: буква «C» в правом верхнем углу экрана означает Connected (подключено).

Подключение приемника к полетному контроллеру

Распиновка, крест-накрест, как для любого UART-соединения (см. главу про протоколы): GND приемника к GND FC, VCC (питание) приемника к соответствующей линии питания FC 5 В, TX приемника к RX того же UART-порта FC, RX приемника к TX того же порта FC. Напомним из главы про физическую сборку: не крепите приемник прямо на плату FC или поверх стека, разместите его отдельно спереди или сзади рамы, а антенны разведите в разные стороны.

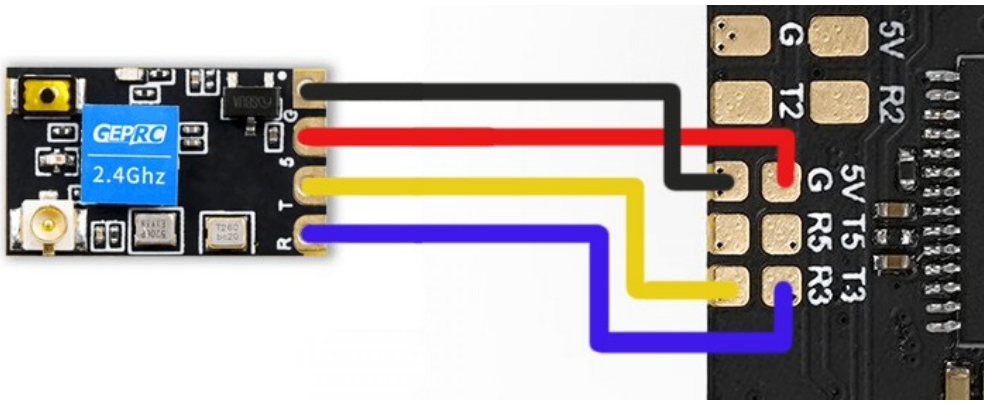


Рис. 56. Схема подключения приемника ExpressLRS.

Индикация светодиода приемника: медленное мигание, ожидание сигнала от пульта; двойное мигание с паузой, режим привязки (bind mode); тройное мигание с паузой, связь есть, но на пульте выбрана не та модель (Model Match); частое мигание, режим обновления по Wi-Fi; ровный немигающий свет, приемник успешно подключен к пульту управления и корректно работает.

Настройка Betaflight под приемник ExpressLRS

1. На вкладке Ports включите Serial RX на том UART-порту, к которому физически подключен приемник.
2. На вкладке Receiver выберите Receiver Mode = Serial-based UART, Serial Receiver Provider = CRSF.
3. Убедитесь, что Telemetry включена, это позволяет видеть на пульте напряжение батареи, RSSI и другие данные с дрона.

RSSI, LQ и подготовка к первому включению

Перед первым полетом дрона рекомендуется провести bench-тест: выставьте минимальную мощность передатчика на пульте, разместите приемник RX в одном метре от передатчика TX, и проверьте показания RSSI (силы сигнала в дБм) на OSD или в Lua-скрипте пульта, это позволяет диагностировать проблемы с антеннами или пайкой до полета. Для оборудования 2.4 ГГц нормой считается примерно от -40 до -25 дБм, для 900 МГц около -20 дБм. Если цифры заметно хуже, ищите проблему в антеннах, разъемах и пайке. И не забудьте вернуть исходную мощность после окончания теста.

Настройка ESC на прошивке AM32

Если ваши ESC работают на прошивке AM32 (смотреть главу про компоненты), у нее тоже есть свой отдельный конфигуратор: это веб-сайт https://am32.ca/. Betaflight прозрачно пробрасывает связь с отдельными ESC через те же порты, которые используются для DShot, поэтому подключаться к конфигуратору AM32 нужно тем же USB-кабелем, которым FC подключается к компьютеру, программа сама найдет подключенные ESC через полетный контроллер. Настроек довольно много, и новичку глубоко в них залезать обычно не нужно: заводские значения по большей части рабочие, но несколько моментов стоит поправить осознанно.

- **Low Voltage Cutoff и Temperature / Current Limits:** для фристайла и гоночных сборок эти защиты обычно рекомендуется выключать. Если ESC сама решит аварийно снизить мощность из-за просевшего под нагрузкой напряжения или перегрева, это в полете ощущается как потеря тяги, что намного опаснее, чем просто долететь сессию на батарее, которая физически способна ее выдать.
- **Частота ШИМ (PWM Frequency):** не стоит задирать ее слишком высоко без необходимости. Чем выше частота переключения силовых транзисторов ESC, тем сильнее они греются, слишком высокая частота ощутимо повышает нагрев платы ESC без реальной пользы для большинства сборок.
- **KV мотора:** укажите в конфигураторе AM32 реальное значение KV именно тех моторов, которые установлены на дроне, от этого зависит корректность части внутренних расчетов ESC.
- **Complementary PWM:** эта опция включает принудительное активное торможение мотора при резком снижении газа, что сильно повышает отзывчивость и улучшает полетную динамику. Однако на практике на недорогих ESC без хорошего конденсатора и диода TVS может приводить к выбросам высокого напряжения до небезопасных уровней.
- **Stuck Rotor Protection нужно, Stall Protection не нужно:** защита от застрявшего ротора (Stuck Rotor Protection) полезна для коптеров и должна быть включена, она вовремя отключает мотор при механическом заклинивании. А вот защита от «сваливания» (Stall Protection) обычно не нужна и может вредить резким акробатическим маневрам, где кратковременное падение оборотов это нормальная часть процесса управления, а не авария.



Рис. 57. Настройка параметров ESC в веб-конфигураторе AM32.

Финальная проверка и первый полет

Это, вероятно, самая важная глава для новичка с практической точки зрения безопасности полетов. Здесь описан пошаговый порядок финальных проверок и рекомендуемая методика первого взлета, от полностью безопасного теста на столе до первого недолгого зависания в воздухе.

По терминологии: в этой главе, как и в реальном сообществе пилотов, используются термины «заармить» (перевести моторы в готовность к вращению переключателем ARM) и «задисармить» (принудительно снять эту готовность и немедленно остановить моторы), а не описательные обороты.

Этап 1. Проверка на столе без пропеллеров

Прежде чем хотя бы думать о взлете, дрон нужно полностью проверить в заведомо безопасном виде, то есть без пропеллеров вообще.

1. Подключите батарею (пропеллеры сняты) и убедитесь, что дрон включается без запаха гари, дыма или необычного нагрева каких-либо компонентов.
2. В конфигураторе Betaflight на вкладке Setup убедитесь, что 3D-модель дрона повторяет реальные наклоны платы при аккуратном покачивании дрона в руках по каждой из трех осей, это подтверждает, что гироскоп работает корректно. Также проверьте показания всех прочих датчиков, особенно GPS.
3. Заармите дрон на столе и на вкладке Motors по звуку и легкой вибрации убедитесь, что все четыре мотора реагируют на газ синхронно и без посторонних призвуков (треска, скрежета).
4. Задисармите дрон, отключите батарею.

Этап 2. Тест стабилизации в руках без пропеллеров

Это очень полезный тест именно для новичка: он позволяет своими глазами увидеть, как работает стабилизация Betaflight, ничем не рискуя, потому что пропеллеров все еще нет.

1. Крепко возьмите дрон в руки так, чтобы он не мог случайно упасть, заармите его в режиме Angle (см. ниже) и аккуратно добавьте немного газа, моторы должны начать раскручиваться.
2. Медленно наклоняйте дрон в руках в разные стороны и наблюдайте: моторы на «опускающейся» стороне должны раскручиваться заметно сильнее моторов на «поднимающейся» стороне, это и есть работа стабилизации, пытающейся вернуть дрон к горизонтали.

3. Проверьте реакцию на каждый стик по отдельности: крен (roll), тангаж (pitch), рыскание (yaw), уровень газа (throttle).
4. Если поведение выглядит неадекватным (например, моторы реагируют «наоборот», усиливаются на поднимающейся стороне вместо опускающейся), немедленно задисармите, отключите батарею и проверьте настройки направления вращения моторов и ориентацию платы FC в конфигураторе.

Этап 3. Дополнительный тест: привязанный взлет (tethered)

Это отдельная очень полезная практика, которую стоит выполнить уже с пропеллерами, но все еще в контролируемых условиях, прежде чем отпускать дрон в полностью свободный полет. Привяжите дрон тонким, но прочным нерастяжимым шнуром (например, отрезком парашютной стропы или бельевой веревки) к чему-то тяжелому и неподвижному (столу, кирпичу, якорю), оставив небольшой запас длины, чтобы оторваться от земли буквально на 1-1.5 метра, но не более того.

1. Заармите дрон в режиме Angle и плавно поднимите газ ровно настолько, чтобы он оторвался от земли на небольшую высоту, туда, где еще чувствуется собственный поток от пропеллеров, отраженный от земли (ground effect), дрон в этой зоне обычно слегка покачивает вверх-вниз.
2. Поймайте дрон стиком газа в этом покачивающемся зависании и аккуратно наклоняйте его в каждую сторону по очереди по одному направлению за раз: сначала крен влево и вправо, затем тангаж вперед и назад, затем рыскание по часовой стрелке и против нее, наблюдая, что дрон корректно реагирует именно в ожидаемую сторону и с ожидаемой силой.
3. Плавно опустите газ, посадите дрон, задисармите. Привязь исключает риск неконтролируемого улета, даже если что-то настроено неправильно, и это отличный последний рубеж проверки перед первым свободным взлетом.

Этап 4. Финальный чек-лист перед выездом на полеты

- **Пропеллеры** установлены правильной стороной, направлением по схеме «Props In» (сверьтесь со схемой направления вращения из главы про физическую сборку), гайки затянуты по-настоящему плотно, с реальным усилием, а не легко от руки, пропеллеры не проворачиваются на валах.
- **Батарея** полностью заряжена, разъем подключается плотно, без люфта.
- **Пульт** заряжен, привязан к дрону (проверьте RSSI от ExpressLRS), переключатель ARM работает и легко доступен, но требует осознанного, а не случайного нажатия.

- **Failsafe** настроен и по возможности проверен: выключите пульт при заармированном на столе дроне (без пропеллеров) и убедитесь, что срабатывает ожидаемое поведение.
- **GPS Rescue** имеет уверенную фиксацию спутников 3D Fix и количество спутников не менее восьми, это проверяется перед каждым вылетом и является тем самым рубежом безопасности на случай, если пилот по неопытности потеряет ориентацию в пространстве, улетит за пределы радиосвязи или зацепит и оторвет антенны приемника управления RX.
- **Rates** на первые полеты снижены относительно заводских максимумов, а экспонента повышена, резкий отклик стиков новичку только мешает.
- **Погода** без сильного ветра с порывами и без осадков, первый вылет должен быть максимально «стерильным» с точки зрения внешних факторов.
- **Место** открытое, безлюдное, вдали от дорог, построек, людей и животных, с учетом требований местного законодательства о полетах беспилотников.

Этап 5. Первый взлет: пошаговая безопасная методика

Первый полет выполняется исключительно в режиме Angle mode (режим стабилизации углов наклона), в этом режиме дрон физически не может перевернуться, а стики управляют не скоростью вращения, а желаемым углом наклона: отпущенные стики автоматически возвращают дрон к горизонтальному положению. Это намного более щадящий и предсказуемый режим для первого полета, чем акробатический Acro mode, который стоит осваивать позже, уже после наличия у пилота уверенных базовых навыков.

1. Встаньте так, чтобы дрон был перед вами и хорошо видимым на открытом пространстве, поставьте его на землю носом от себя.
2. Заармите дрон, убедитесь, что включен режим Angle mode.
3. Плавно, без резких движений, поднимите стик газа вверх ровно настолько, чтобы дрон едва оторвался от земли, буквально на 30-50 сантиметров.
4. Удерживайте эту небольшую высоту 10-15 секунд, стараясь минимально трогать стики крена и тангажа, дрон в Angle mode должен сам держать более-менее стабильное положение по горизонтали.
5. Мягко опустите газ и посадите дрон обратно на землю, задисармите.
6. Если первое короткое зависание прошло без неожиданностей, повторите еще раз, постепенно (на следующих попытках) увеличивая высоту до 1-2 метров и добавляя легкие, плавные движения по крену и тангажу, но вообще без рыскания, все полеты по-прежнему выполняются в Angle mode.

7. Не улетайте далеко на первых полетных сессиях: если хочется проверить дальность связи, то лучше физически пройти пешком до нужной точки с включенным пультом и убедиться, что сигнал там действительно уверенный, прежде чем пробовать долетать до этой точки по воздуху.
8. Только когда уверенное зависание и плавное перемещение на небольшой высоте в Angle mode получаются стабильно и повторяемо, стоит переходить к более активному пилотированию: добавлять ось рыскания, летать и садиться по камере через очки или монитор, затем увеличивать высоту и дальность полетов и, в перспективе, осваивать Acro mode. Но это уже выходит за рамки задачи первых полетов и заслуживает отдельного, постепенного обучения.

Погода и климат: что важно знать в Казахстане

Условия в стране значительно жестче среднеевропейских, на которые ориентируется большинство обучающих материалов. Север, юг и запад страны отличаются сильно, но три вещи общие почти везде: злой ветер с порывами, большие перепады температуры и очень сухая пыль. Ниже то, что стоит учитывать с самого начала, чтобы не потерять дрон и не убить батареи в первый же месяц.

Ветер и порывы

- **Ориентируйтесь на порывы, а не на среднюю скорость.** В прогнозе обычно две цифры, и для нас важна вторая. В степи и на открытых предгорных площадках порывы легко бывают вдвое и втрое сильнее среднего ветра, и именно они опрокидывают или уносят дрон, пока вы не успели среагировать.
- **Простое правило дальности.** Дрон должен уверенно лететь против ветра значительно быстрее, чем сама скорость ветра, иначе обратно он не вернется. Улетать по ветру всегда легко и приятно, а домой придется идти против него, уже на подсаженной батарее.
- **Новичку на 5 дюймах:** до 5-6 м/с комфортно, 7-9 м/с уже требует внимания, выше 10-12 м/с в первые месяцы лучше не вылетать вовсе. Опытный пилот полетит и в более сильный ветер, но это отдельный практический навык.
- **Tiny Whoop на улице почти бесполезен.** Вуп весит 25-55 грамм, и его сдувает даже слабым порывом, а тяги вернуться против ветра у него попросту не хватит. Вуп, это класс дронов для помещений и для полного безветрия во дворе. Если хочется летать на улице в обычную для Казахстана погоду, минимум это 3 дюйма, а лучше сразу 5 дюймов.
- **Предгорья ведут себя непредсказуемо.** У гребня и над склоном ветер ускоряется, а за препятствием (склон, лесополоса, здание) образуется зона завихрений, где дрон может внезапно провалиться. Днем над прогретыми склонами добавляются восходящие потоки. Практический вывод: не

прижиматься к склону и к зданиям, не летать в распадках, набирать высоту с запасом, а первые полеты выполнять на ровном открытом месте.

Температура и батареи

LiPo, это главное, что страдает от нашего климата. Ошибки здесь обходятся дороже всего, потому что убитая батарея это не только деньги, но и риск пожара.

- **На холоде батарея слабее.** При минусе доступная емкость заметно падает, а просадка напряжения под нагрузкой становится глубже. OSD начнет предупреждать о разряде раньше обычного, и это не сбой калибровки: садитесь, когда он просит, а не когда «по времени еще рано».
- **Грейте батареи до вылета.** Возите их в термосумке или во внутреннем кармане куртки и ставьте на дрон уже теплыми. Холодную батарею нельзя нагружать резко: первые секунды после взлета добавляйте газ плавно.
- **Никогда не заряжайте холодную батарею.** Это самая частая и самая дорогая зимняя ошибка. Заряд лития при температуре около нуля и ниже повреждает ячейку необратимо. Дайте батарее отогреться до комнатной температуры и только потом ставьте на зарядку. Типичная история «после зимней сессии банка вздулась», как правило, именно про это.
- **Конденсат.** Дрон и батареи, занесенные с мороза в теплое помещение, покрываются влагой, в том числе внутри, на плате. Дайте им согреться прямо в закрытой сумке или рюкзаке, не выкладывайте сразу на стол.
- **Летом наоборот.** Не оставляйте LiPo в машине на солнце и не держите дрон с включенным питанием на земле дольше необходимого: видеопередатчик греется, а обдува от пропеллеров нет. Между полетами убирайте дрон в тень.
- **Суточный перепад.** Утром может быть около нуля, а днем +20 °C. Планируя длинную сессию, рассчитывайте на условия начала, а не середины дня, и держите батареи в сумке, а не на земле.

Пыль

Степь и предгорья дают очень мелкую сухую пыль, которая попадает в подшипники моторов и в разъемы. После пыльной полетной сессии продуйте дрон сжатым воздухом и прокрутите каждый мотор рукой: если появился песочный хруст, то подшипник уже страдает и мотор скоро придется менять. По возможности не взлетайте с голого грунта, ищите траву или подстелите и закрепите коврик для взлета таким образом, чтобы его не унесло потоком от воздушных винтов.

Когда лучше не вылетать вообще

- **Порывы выше 10-12 м/с,** а для вупа вообще в любой заметный ветер.
- **Любые осадки,** включая мокрый снег, морось и туман. Вода и электроника несовместимы, а на морозе к этому добавляется обледенение. Мокрая трава после дождя тоже считается: посадка в нее заливает стек брызгами.
- **Метель и пыльная буря,** это одновременно и нулевая видимость, и забитая электроника, и как правило потерянный дрон.
- **Сильный мороз ниже -10 °C,** пока нет опыта: страдают и батареи, и пальцы.
- **Гроза,** даже далекая, и любое приближение атмосферного фронта.
- **Жара выше +35 °C на открытом солнце:** перегреваются передатчики, моторы и батареи, на экранах на солнце плохо видно даже с защитным козырьком.

Лучшие практики безопасности при первых полетах

- **Никогда не подходите к дрону с работающими моторами** и не позволяйте это делать зрителям, даже на малом газу пропеллер способен поранить.
- **Держите руку на переключателе ARM** в готовности мгновенно задисармить дрон при любом неожиданном поведении, лучше уронить дрон с полуметра дизармом, чем позволить ему улететь в непредсказуемом направлении.
- **Переключайте полетные режимы только на среднем положении газа,** переключение на минимальном или максимальном газе (например, добавление Alt Hold к уже включенному Angle) может привести к резкому и совершенно неожиданному скачку или перевороту дрона.
- **Тренируйтесь на симуляторе** перед реальными полетами, пульт на EdgeTX подключается к компьютеру как обычный USB-джойстик и работает с бесплатными и платными FPV-симуляторами, что позволяет натренировать базовую координацию рук без риска для реального дрона.
- **Не летайте в одиночку в удаленных местах** на первых порах, на случай травмы или потери дрона полезно, чтобы рядом был напарник.
- **Увеличивайте сложность постепенно,** высоту, скорость, акробатику осваивайте маленькими шагами, не пытаясь повторить трюки из роликов на YouTube на своей второй-третьей полетной сессии.

Типичные ошибки новичков и troubleshooting

В этой главе собраны самые частые проблемы, с которыми сталкиваются новички на этапе сборки, настройки и первых полетов, вместе со способами их диагностики и решения, на основе документации Betaflight, EdgeTX и ExpressLRS.

Питание, пайка и первое включение

Проблема	Вероятная причина и решение
Дрон не подает признаков жизни при подключении батареи	Прозвоните мультиметром разъем XT60 и линии питания, проверьте полярность и качество пайки силовых проводов. Отсутствие питания почти всегда это непропай или обрыв, а не «сгорела плата».
Smoke stopper ярко горит или сильно греется	Это короткое замыкание. Ни в коем случае не подключайте батарею напрямую: ищите замыкание мультиметром между плюсом и минусом на каждой линии питания, начиная с входа.
При первом включении запах гари или дым	Немедленно отключите батарею. Чаще всего это перепутанная полярность, замыкание под платой или залитый флюсом контакт. До выяснения причины питание не подавать.
Стек ощутимо греется без нагрузки	Признак замыкания или неправильного напряжения на линии. Отключите питание и проверьте, не села ли плата на карбон и нет ли перемычек припоя между площадками.
Пайка выглядит матовой, «вспененной», «шариком», отваливается	Холодная пайка: не прогрелась площадка. Хорошее соединение растекается и блестит. Добавьте флюс, тщательно прогрейте площадку целиком, а не только провод, используйте более широкое жало для силовых контактов.
Дрон перезагружается в полете при резком газе	Просадка напряжения. Проверьте конденсатор на входе ESC, качество силовой пайки, состояние батареи и плотность посадки разъема XT60.

Настройка и прошивка

Проблема	Вероятная причина и решение
Конфигуратор не видит плату в режиме DFU	Чаще всего просто не была нажата и удержана кнопка BOOT на плате при подаче питания, без нее плата не переходит в режим прошивки. На Windows проверьте: запущен ли конфигуратор (или браузер) от имени администратора и установлен ли нужный USB-драйвер.

Проблема	Вероятная причина и решение
После настройки вкладки изменения «пропали»	Не была нажата кнопка «Save and Reboot» перед переходом на другую вкладку, сохраняйте изменения после каждой вкладки.
Напряжение батареи в конфигураторе не совпадает с реальным	Батарея не откалибрована: сверьте показания с мультиметром на балансировочном разъеме и скорректируйте коэффициент калибровки на вкладке Power & Battery.
Дрон не реагирует на ARM	Проверьте назначение переключателя во вкладке Modes, а также условия блокировки arming (например, требование ровного положения дрона, наличие спутников GPS, активный failsafe).
Нужной функции просто нет в прошивке: Alt Hold, Position Hold, Servo и подобное	Соответствующая галочка не была отмечена в блоке Other Options при прошивке через Firmware Flasher, перепрошейте плату со всеми нужными отметками.
Конфигуратор вообще не видит плату, хотя она точно подключена	Чаще всего виноват кабель: многие USB-кабели рассчитаны только на зарядку и не передают данные. Возьмите заведомо рабочий кабель, попробуйте другой порт и подключение без хаба.
После прошивки плата ведет себя странно, настройки перемешались	Прошивайте с включенной опцией Full chip erase, она полностью стирает старую конфигурацию, и настраивайте все заново. Восстанавливать diff от другой версии прошивки не стоит.
После обновления прошивки все настройки пропали	Так и должно быть: полное стирание убирает конфигурацию. Восстановите ее из заранее сохраненного diff, но перед этим выполните команду сброса defaults.
Загрузка процессора выше 50%, интерфейс подтормаживает	Отключите функции, которыми не пользуетесь, и не задирайте частоту PID-loop выше того, что тянет плата. Перегруженный процессор может помешать армингу.
Плата не сохраняет настройки после перезагрузки	Проверьте, что нажимали «Save and Reboot», а не просто переходили между вкладками. Если не помогает, сделайте полное стирание.

Дрон не армится: что показывает Betaflight

Отказ армиться, это самая частая проблема новичка, и почти всегда Betaflight прямо говорит причину. Смотреть ее нужно в трех местах: крупная надпись в OSD, индикатор Arming Disable Flags на вкладке Setup конфигуратора и команда **status** в CLI. Ниже расшифровка тех причин, с которыми реально часто сталкиваются.

Что показывает	Что это значит и что делать
THROTTLE	Стик газа не в самом нижнем положении. Опустите газ до упора вниз. Если флаг не уходит, то проверьте на вкладке Receiver, доходит ли канал газа до нижнего значения.
ANGLE	Дрон стоит слишком наклонно. Поставьте его на ровную поверхность (по умолчанию допускается наклон до 25 градусов) или заново откалибруйте акселерометр.
ARMSWITCH	Переключатель ARM был уже включен в момент подачи питания. Betaflight намеренно не даст заармиться: выключите тумблер ARM и включите его снова.
RXLOSS	Нет сигнала от пульта. Проверьте, включен ли пульт, есть ли привязка, запитан ли приемник и правильно ли настроен порт.
MSP	Открыт конфигуратор или подключен USB-кабель. С USB Betaflight армиться не позволяет, отключите кабель.
CLI	Открыта вкладка CLI. Выйдите из нее и перезагрузите плату.
GPS	Включен GPS Rescue, но нет уверенного фикса или мало спутников. Дождитесь 3D Fix и нужного числа спутников.
BOOTGRACE	С момента подачи питания прошло меньше нескольких секунд. Нужно просто подождать.
CALIB	Идет калибровка гироскопа. Не трогайте дрон, пока она не закончится.
NO_ACC_CAL	Акселерометр ни разу не калибровался. Откалибруйте его на вкладке Setup, положив дрон на ровную поверхность.
LOAD	Процессор перегружен. Отключите лишние функции и снизьте частоту PID-loop.
MOTOR_PROTO	Не выбран протокол моторов. Выберите DShot на вкладке Configuration.
RPMFILTER	Не работает телеметрия оборотов моторов. Проверьте, включен ли Bidirectional DShot и поддерживает ли его ESC.
RUNAWAY	Сработала защита от неуправляемого взлета. Задисармите, проверьте направление вращения моторов и настройки.
FAILSAFE	Активен режим failsafe или назначенный на переключатель тестовый failsafe. Устраните причину или верните тумблер.
REBOOT_REQD	После изменения настроек нужна перезагрузка платы.
Флагов нет, но дрон все равно не армится	Проверьте, что режим ARM вообще назначен на канал во вкладке Modes и что диапазон переключателя попадает в заданный интервал.

Приемник и радиосвязь

Проблема	Вероятная причина и решение
Приемник не привязывается (bind)	Проверьте, что Binding Phrase совпадает на пульте и приемнике, выполните перепрошивку и новую последовательность power-cycle bind.
Нет сигнала на вкладке Receiver в Betaflight	Проверьте, что провода TX/RX подключены крест-накрест (TX приемника → RX FC и наоборот), что выбран правильный UART-порт в Ports, и что Serial Receiver = CRSF.
Каналы двигаются «наоборот» или не в том порядке	Проверьте channel map и назначение Inputs/Mixer на пульте, не путайте настройки в EdgeTX и в Betaflight, поправить в пульте.
Периодические провалы связи ELRS при нормальной дальности	Проверьте целостность и правильное расположение антенн приемника (не прижаты к карбону рамы и силовым проводам, разведены в разные плоскости).
Приемник светится ровным светом без мигания и не обновляет каналы	Приемник находится в режиме загрузчика (Bootloader), переподключите питание или перепрошейте приемник.
Реальная дальность ниже ожидаемой при использовании нестандартных частот	Использовать стандартную и надежно совместимую связку для новичка (управление 2.4 ГГц, видео 5.8 ГГц).
Светодиод приемника не горит	Нет питания. Проверьте пайку 5 В и земли, померьте напряжение мультиметром прямо на контактных площадках приемника.
Приемник мигает тройным миганием с паузой	Связь есть, но на пульте выбрана не та модель (Model Match). Переключитесь на нужную модель или отключите проверку в ELRS.
Связь пропадает при резком добавлении уровня газа	Приемник или его антенны стоят слишком близко к силовым проводам и ESC. Перенесите приемник дальше, разведите антенны и уберите их подальше от карбона.
Реальная дальность намного меньше ожидаемой	Проверьте антенны: повреждение разъема, залом коаксиала, прижатая к раме или к карбону антенна. Проведите bench-тест RSSI, это сразу покажет проблему.
Каналы дергаются или подвисают	Слишком высокая пакетная частота для скорости порта на пульте, либо нестабильное питание приемника. Снизьте packet rate и проверьте линию 5 В.
На пульте нет телеметрии	Включите Telemetry в Betaflight и убедитесь, что порт назначен как Serial RX с протоколом CRSF.
Дрон не реагирует ни на один стик, хотя связь есть	Проверьте порядок каналов (Channel Map) и то, что миксеры на пульте вообще отдают каналы.

Моторы и полет

Проблема	Вероятная причина и решение
Мотор крутится не в ту сторону	Измените направление вращения программно во вкладке Motors в Betaflight, через Motor Direction, перепайка проводов не требуется.
Дрон переворачивается при попытке взлета на минимальном уровне газа	Чаще всего перепутано направление вращения или порядок моторов: проверьте их во вкладке Motors через Motor Direction, а заодно ориентацию платы FC. Если же дрон не переворачивается, а просто перестает слушаться стиков на сброшенном газе, включите Air Mode на вкладке Configuration.
Резкий рывок или выпрыгивание при арминге моторов	Слишком высокий Motor Idle, уменьшите значение на вкладке Motors.
Мотор останавливается в воздухе при резких маневрах	Слишком низкий Motor Idle для конкретных моторов и пропеллеров, увеличьте значение.
Дрон при потере сигнала ведет себя не так, как изначально ожидалось	Перепроверьте настройки Failsafe (Stage 1 и Stage 2) на тесте без пропеллеров, выключите пульт при заармированном дроне и понаблюдайте за поведением.
ESC на AM32 греется сильнее ожидаемого или дрон внезапно перезагружается в полете	Проверьте настройки в конфигураторе AM32: слишком высокая частота ШИМ или включенная опция Complementary PWM на бюджетных ESC.
Пропеллер слетел в полете	Самоконтрящаяся гайка была затянута недостаточно туго. Гайку нужно затягивать с реальным усилием, смотреть про сборку.
Мотор не крутится совсем	Проверьте его отдельно на вкладке Motors. Если молчит только один, дело в пайке фазы, в самом моторе или в отдельном канале ESC.
Мотор гудит, но не вращается	Не пропаяна одна из трех фаз. Перепаяйте все три контактные площадки этого мотора.
Один мотор греется заметно сильнее остальных	Подшипник, погнутый вал, задевающий обмотку винт крепления или перекос при установке. Прокрутите мотор рукой: должен вращаться свободно и без хруста.
Дрон уползает в сторону при отпущенных стиках	Нужна калибровка акселерометра на ровной поверхности с уровнем и уже в полностью собранном виде. Заодно проверьте, что триммеры на пульте отключены.
Дрон резко взмывает вверх и не слушается газа	Сильные вибрации доходят до гироскопа. Проверьте виброразвязку стека, целостность и балансировку пропеллеров, затяжку моторов.
Дрон срывается в переворот всегда на одну и ту же сторону	Повреждение мотора или канала ESC на этом луче. Осмотрите пайку, при необходимости замените компоненты.

Проблема	Вероятная причина и решение
Моторы глохнут в воздухе при резком сбросе газа	Слишком низкий Motor Idle или выключен Air Mode. Немного поднимите Motor Idle и убедитесь, что Air Mode активен.
На видео «желе», дрон мелко трясет	Дисбаланс PID или повреждение пропеллера, разбитый подшипник, перетянутая виброразвязка. Начните с замены пропеллеров на заведомо новые.
Дрон дергается и осциллирует на месте	Чаще всего поврежденный пропеллер. Если с новыми осталось, то снизьте P и D слайдерами Simplified Tuning.
Время полета заметно меньше ожидаемого	Деградировавшая батарея, лишний вес, слишком агрессивный полет или пропеллеры, не соответствующие моторам. Начните с проверки батареи под нагрузкой.
После полета один луч заметно горячее прочих	Тот же признак проблемы с мотором или ESC на этом луче. Проверьте до следующего вылета, обычно это заканчивается падением.

Видео и OSD

Проблема	Вероятная причина и решение
Нет картинки в очках	Проверьте совпадение диапазона, канала и частоты VTX и VRX; для цифровых систем, что оба устройства одного модельного ряда и успешно привязаны друг к другу.
Дальность видео заметно меньше ожидаемой, хотя все вроде подключено правильно	У видеопередатчика по умолчанию стоит минимальная мощность, ее нужно вручную увеличить кнопкой мощности на плате VTX.
Слабый или «рябящий» сигнал видео	Проверьте поляризацию антенн (RHCP/LHCP должны совпадать на VTX и на VRX), а также целостность антенных разъемов и кабелей.
Нет текста OSD на цифровой видеосистеме	Проверьте, что UART-порт настроен на MSP Displayport во вкладке Ports, а не занят другим протоколом.
Нет текста OSD на аналоговой системе	Проверьте, что на плате FC действительно есть OSD-чип и что OSD настроен во вкладке OSD.
В очках «снег», хотя канал выставлен верно	Видеопередатчик не запитан или находится в режиме Pitmode с почти нулевой мощностью. Проверьте питание VTX и уровень мощности.
Белые полосы поперек картинки	Не хватает питания камере или передатчику. Проверьте линию 9-12 В, качество пайки и наличие конденсатора на входе.

Проблема	Вероятная причина и решение
Картинка обрывается уже на расстоянии порядка 10 метров	Не прикручена, повреждена или сломана у основания антенна VTX, либо она касается карбона. Проверьте и SMA-разъем тоже.
Картинка дрожит, сильное «желе» на видео	Камера закреплена жестко или, наоборот, разболталась, либо не затянута линза. Ставьте камеру через мягкую прокладку.
Пропала картинка после падения	В первую очередь антенна и провод камеры: осмотрите места пайки и разъем. Это самые уязвимые при ударе места.
OSD застыло и не обновляется	На цифровой системе это потеря связи FC с air unit по MSP. Проверьте назначение UART и целостность провода.
Картинка черно-белая или с искаженными цветами	Не совпадает стандарт PAL и NTSC. Выставьте одинаковый в настройках камеры и на OSD.
Видеопередатчик сильно греется на земле	На земле нет обдува. Не держите питание включенным дольше необходимого, особенно летом, и убирайте дрон в тень между полетами.

Общий принцип диагностики

Если что-то не работает, двигайтесь по цепочке от источника сигнала к приемнику: сначала убедитесь, что сигнал вообще отправляется (пульт, батарея, включение), затем, что он физически доходит по правильным проводам и портам (UART, полярность TX/RX), и только затем проверяйте программные настройки протоколов на обеих сторонах связи. Подавляющее большинство проблем новичка укладывается в одну из трех категорий: перепутанные провода, несохраненные настройки или несовпадающие протоколы/частоты на двух концах связи.

Используйте ИИ-ассистентов как помощника в диагностике

Один из самых практичных современных инструментов диагностики, нужно детально описать проблему моделям ИИ вроде ChatGPT, Claude или DeepSeek. Чтобы получить действительно полезный ответ, а не общие советы, стоит сразу дать модели максимум конкретики в одном подробном запросе: что именно сделано по шагам, что именно и куда подключено, какая точно модель платы/приемника/VTX используется, что конкретно не работает и как это проявляется. Попросите модель предложить пошаговую диагностику: проверить сначала одно, затем другое, постепенно сужая круг возможных причин, вместо того чтобы сразу гадать над большим спектром возможных проблем. Такой подход, активное и подробное использование ИИ для диагностики, часто экономит часы поиска по форумам.

Ссылки и материалы для дальнейшего изучения

Этот гайд закрывает базовые знания, нужные для первой сборки и первого полета, но FPV-хобби на этом не заканчивается. Ниже собраны официальные источники по каждой прошивке, лучшие дополнительные материалы для дальнейшего изучения и список известных производителей популярного оборудования, чтобы дальше можно было ориентироваться в сообществе самостоятельно.

Официальная документация и конфигураторы прошивок

Прошивка	Назначение	Официальный адрес
Betaflight	Прошивка полетного контроллера, документация и конфигуратор	https://betaflight.com/ https://betaflight.com/docs/wiki https://app.betaflight.com/
EdgeTX	Прошивка пульта управления, документация и конфигуратор	https://edgetx.org/ https://buddy.edgetx.org/ https://edgetx.org/getedgetx/
ExpressLRS	Радиосистема пульт-приемник, документация и конфигуратор	https://www.expresslrs.org/ https://www.expresslrs.org/quick-start/getting-started/ https://expresslrs.github.io/web-flasher/
AM32	Открытая прошивка для ESC, различные конфигураторы	https://am32.ca/ https://esc-configurator.com/

Рекомендованные источники материалов и каналы для дальнейшего изучения

- **https://oscarliang.com/:** одна из самых подробных и авторитетных площадок по FPV-хобби в мире, которую автор ведет вручную уже много лет. Настоятельно рекомендуем заглянуть туда за свежими обновлениями и более глубоким разбором непростых тем с живыми фотографиями сборок.
- **https://www.youtube.com/@JoshuaBardwell:** один из самых известных и полезных для новичков видеоканалов про FPV, стоит посмотреть подробные разборы Betaflight, EdgeTX, PID-тюнинга, а также обзоры различного нового FPV-оборудования. На канале несколько тысяч роликов, и по большинству вопросов новичка там уже есть подробный разбор.

Производители и поставщики популярного оборудования

Ниже собран список известных брендов и производителей FPV-оборудования (пульты, батареи, зарядники, полетники, моторы, видеосистемы, пропеллеры), упомянутых в этом гайде или широко используемых сообществом, а в конце

таблицы, площадки, где все это удобно покупать. В Казахстане, помимо маркетплейсов, распространены карго-сервисы с доставкой из Китая по весу: через них приходит и то, что обычной почтой не отправляют, например LiPo-аккумуляторы. Актуальные адреса и ассортимент могут со временем меняться, поэтому в случае сомнений проверяйте название бренда прямым поиском.

Бренд	Профиль	Сайт
RadioMaster	Стандарт пультов для новичка: почти вся линейка на EdgeTX со встроенным ExpressLRS	https://radiomasterrc.com/
Jumper	Бюджетная альтернатива RadioMaster: пульты, модули и приемники сигнала	https://www.jumper-rc.com/
FrSky	Старая школа радиосвязи, в новых FPV-сборках уступила ExpressLRS	https://www.frsky-rc.com/
BetaFPV	Законодатель моды в классе Tiny Whoop, готовые наборы «дрон + очки + пульт»	https://betafpv.com/
ISDT	Компактные и точные зарядные устройства, ценятся за качество сборки	https://www.isdt.co/hobby?lang=en
HOTA	Мощные многоканальные зарядники, выбор когда нужно заряжать много батарей сразу	https://hotachargers.com/
ToolkitRC	Зарядники и измерительные приборы: тестеры батарей, измерители тяги, паяльники	https://www.toolkitrc.com/
iFlight	Один из крупнейших производителей полного цикла: рамы, моторы, стеки, дроны	https://www.iflight.com/
Axis Flying	Известны прежде всего моторами, потом выросли в рамы и готовые сборки	https://www.axisflying.com/
GEPRC	Популярные готовые дроны и рамы, сильны в компактных форматах и cinewhoop	https://geprc.com/
SpeedyBee	Стеки и полетные контроллеры с удобной беспроводной настройкой со смартфона	https://www.speedybee.com/
Matek Systems	Инженерный бренд: полетные контроллеры, GPS-модули и периферия, часто используется в long-range сборках	https://www.mateksys.com/

Бренд	Профиль	Сайт
PeakFPV	Качественные видеосистемы на нестандартных частотах	https://peakfpv.com/
Walksnail	Цифровая видеосистема Avatar, основной конкурент DJI по качеству картинки	https://www.caddxfpv.com/
DJI	Самая массовая FPV-система, задает всем планку качества	https://www.dji.com/global
RunCam	Один из главных производителей FPV-камер	https://www.runcam.com/
T-Motor Hobby	Качественные моторы, ставят на более дорогие сборки	https://tmotorhobby.com/
EMAX	Моторы и недорогие готовые дроны, серия Tinyhawk знакома многим по первому дрону	https://www.emaxmodel.com/
Foxeer	Крупный производитель электроники для FPV	https://www.foxeer.com/
Team BlackSheep	Авторы радиолинии Crossfire и протокола CRSF, на котором сегодня работает ExpressLRS	https://www.team-blacksheep.com/
BrotherHobby	Моторы верхнего сегмента, ценятся за качество подшипников и намотки	https://brotherhobby.cn/
Holybro	Полетные контроллеры, GPS и датчики, известны по полным автопилотным платформам	https://holybro.com/
DarwinFPV	Недорогие готовые дроны и комплектующие, вариант «не так жалко разбить»	https://darwinfpv.com/
Sub250	Специализируются на сверхлегких сборках до 250 грамм	https://sub250.com/
Gaoneng	Популярные LiPo, особенно для мелких классов и вупов	https://www.gaoneng.shop/
Dogcom	LiPo с высокой токоотдачей, любимы гонщиками	https://dogcombattery.com/
RushFPV	Видеопередатчики и антенны, хорошо известны в сообществе	https://rushfpv.net/
Flywoo	Легкие дроны, вупы и компоненты, много решений в компактных классах	https://flywoo.net/

Бренд	Профиль	Сайт
HGLRC	Стеки, передатчики, дроны и компоненты среднего ценового сегмента	https://www.hglrc.com/
Skystars	Полетные контроллеры, стеки и готовые дроны	https://www.skystars-rc.com/
HQProp	Один из двух основных производителей пропеллеров	https://www.hqprop.com/
Gemfan	Второй производитель пропеллеров, стандарт вупов	https://www.gemfanhobby.com/
Tattu	LiPo, в том числе большой емкости для long-range	https://genstattu.com/
ChinaHobbyLine	Недорогие LiPo с хорошей репутацией, частый выбор	https://chinahobbyline.com/
FlyFishRC	Моторы, рамы, стеки, GPS-модули и антенны	https://www.flyfishrc.com/
NewBeeDrone	Вупы, микро-компоненты и наборы для разработчиков	https://newbeedrone.com/
Skyzone	Аналоговые и цифровые очки, основной производитель	https://www.skyzonefpv.com/
FPVspeed	Нестандартные видеосистемы	https://fpvspeed.com/
GetFPV	Крупный американский магазин с большой базой статей	https://www.getfpv.com/
Pyrodrone	Американский магазин, известен своими рамами	https://pyrodrone.com/
DIYFPV	Каталог деталей и сообщество вокруг самостоятельных сборок	https://www.diyfpv.com/
IntoFPV	Крупный форум, где обсуждают все, от прошивок до деталей	https://intofpv.com/
RCGroups	Старейший форум по радиоуправляемой технике с огромным архивом тем	https://www.rcgroups.com/
Reddit	Активные онлайн-сообщества, быстрая помощь по проблеме	https://www.reddit.com/r/fpv/ https://www.reddit.com/r/Multicopter/
RotorBuilds	Каталог чужих сборок: видно, кто, что, как и с чем собрал	https://rotorbuilds.com/
AliExpress	Крупнейшая китайская площадка: есть практически все комплектующие, часто напрямую от производителя	https://aliexpress.com/

Чек-лист пилота (для печати)

Эти три страницы имеет смысл распечатать и возить с собой хотя бы первые месяцы. Порядок не случайный: пункты идут в той последовательности, в которой их реально выполняют. Пропущенный пункт почти всегда стоит дороже, чем минута на проверку.

Дата: _____ Место: _____ Условия: _____

A. Дома, накануне выезда

- ☐ Все батареи заряжены: дрона, пульта, очков, запасные.
- ☐ Пропеллеры целы, без сколов, трещин и заломов, есть запасные.
- ☐ Все винты рамы и моторов на месте и надежно затянуты.
- ☐ Лучи намертво закреплены и не люфтят, проверено руками.
- ☐ Антенна видеопередатчика на месте, не переломлена у основания.
- ☐ Антенны приемника целы, разъемы антенн целы, коаксиал не поврежден.
- ☐ Связь пульта с приемником есть и допустимый уровень RSSI после теста.
- ☐ Failsafe проверен на столе без пропеллеров, поведение ожидаемое.
- ☐ Карта памяти в очках и экшн-камере на месте, свободное место есть.
- ☐ Настройки и прошивки со времени последнего удачного полета не менялись.
- ☐ Прогноз погоды на месте полета посмотрен, в том числе порывы ветра.

B. Что взять с собой

- ☐ Дрон, пульт, очки, наземное оборудование.
- ☐ Батареи, заряженные, в огнеупорной сумке.
- ☐ Запасные пропеллеры и гайки пропеллеров.
- ☐ Шестигранные отвертки и ключ для гаек пропеллеров.
- ☐ Стяжки, изолента, двусторонний скотч, запасные винты.
- ☐ Индикатор напряжения LiPo.
- ☐ Вода, перчатки, защита от солнца на монитор или очки.
- ☐ Телефон заряжен, карта местности скачана офлайн.
- ☐ Сообщить напарнику о поездке и полетах.

C. На месте, до установки пропеллеров

- ☐ Место открытое и безлюдное, вдали от дорог, построек, животных и ЛЭП.
- ☐ Ветер оценен по порывам, а не по средней скорости.
- ☐ Пульт включен первым, дрон вторым. При выключении наоборот.
- ☐ Связь и телеметрия на пульте имеются.
- ☐ Картинка в очках чистая, канал и мощность видеопередатчика проверены.
- ☐ GPS: получен 3D Fix, спутников не меньше восьми, точка взлета зафиксирована.
- ☐ Напряжение батареи в OSD совпадает с показаниями индикатора.
- ☐ ARM и DISARM проверены без пропеллеров, моторы реагируют штатно.
- ☐ Полетный режим выставлен на Angle mode.

D. Непосредственно перед взлетом

- ☐ Пропеллеры установлены по схеме вращения, не проворачиваются на валах.
- ☐ Батарея сидит плотно, ремень затянут, разъем питания подключен до упора.
- ☐ Провода и антенны не попадают на плоскости вращения пропеллеров.
- ☐ Дрон стоит на ровной и открытой площадке носом прямо от пилота.
- ☐ Рядом никого нет, все зрители позади пилота и дальше от дрона.
- ☐ Газ в нижнем положении, палец на переключателе ARM.
- ☐ Первое зависание: 30-50 см, 10-15 секунд, стики крена и тангажа не трогать.

E. В полете: садиться немедленно, если

- ☐ Напряжение дошло до порога посадки, 3.5-3.6 В на ячейку, зимой раньше.
- ☐ Картинка начала ухудшаться или совсем пропала.
- ☐ Качество связи (LQ/RSSI) снизилось, появились предупреждения в OSD.
- ☐ Появился посторонний звук, вибрация или дрон неуправляемо сносит.
- ☐ Дрон ушел дальше по расстоянию, чем вы уверенно контролируете.
- ☐ Усилился ветер, начались атмосферные осадки или ухудшилась видимость.
- ☐ В зоне полета появились люди, животные или техника.

F. После полета

- ☐ Задисармить и отключить батарею сразу после посадки на землю.
- ☐ Дать дрону и батарее остыть 10 минут перед следующим вылетом.
- ☐ Проверить температуру моторов рукой: если терпит ладонь, значит норма.
- ☐ Осмотреть пропеллеры, раму, провода, антенны и разъемы.
- ☐ Проверить, не ослабли ли гайки пропеллеров и винты моторов.
- ☐ Если сессия была пыльной, продуть дрон и прокрутить каждый мотор рукой.
- ☐ Батареи на хранение, 3.80-3.85 В на ячейку, если новый вылет не на этой неделе.
- ☐ Холодную батарею не ставить на заряд, пока она не отогрелась.
- ☐ Занесли с мороза, согреть в закрытой сумке, чтобы конденсат не осел на платы.

Заметки

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

G. После падения

- ☐ Задисармить, если это еще не произошло самостоятельно.
- ☐ Отключить батарею до того, как брать дрон в руки.
- ☐ Осмотреть батарею: вмятина, вздутие или запах, нужно утилизировать.
- ☐ Проверить целостность рамы и лучей, особенно в местах крепления моторов.
- ☐ Проверить, не перебиты ли провода моторов и всех антенн.
- ☐ Прокрутить каждый мотор рукой, хруст или заедание означают мусор или подшипник.
- ☐ Осмотреть пропеллеры: треснувший менять сразу, он даст вибрацию и «желе».
- ☐ Проверить, не сдвинулся ли стек, не отошли ли его разъемы.
- ☐ После сильного удара заново откалибровать акселерометр.

Заметки