

Устройство FPV-дрона

Лекционный материал

drone structure base ru

Устройство FPV-квадрокоптера

Узлы

Рама — основание, лучи и крепления компонентов. Карбон проводит ток.

Моторы — вращают пропеллеры; обычно бесколлекторные, с тремя фазными проводами.

Пропеллеры — создают тягу.

ESC — регулятор мотора: подаёт питание на его фазы по командам контроллера. 4-in-1 — четыре регулятора на одной плате.

FC — полётный контроллер: обрабатывает команды и датчики, управляет ESC. Гироскоп измеряет скорость вращения, акселерометр — ускорение.

RX — приёмник команд пульта.

Камера — формирует изображение; VTX — передаёт видео; видеоприёмник очков — принимает.

Антенны — радиосвязь управления и видео.

АКБ — источник энергии; BEC — стабилизатор напряжения для электроники.

Стек — платы FC и ESC, установленные друг над другом. AIO — несколько узлов на одной плате; состав зависит от модели.

Связи узлов

Иллюстрация источника: Управление, видео и питание. (Изображение не включено в текстовую базу.)

OSD — показания поверх изображения. В аналоге видео для OSD обычно проходит через FC; в цифре FC передаёт данные видеосистеме.

Пульт и RX должны поддерживать общий радиопrotocol и диапазон. Камера, VTX и очки — совместимую видеосистему; одной общей частоты недостаточно.

Потеря видео и потеря управления — разные неисправности.

Маркировка

Рама 7" — под пропеллеры диаметром 7"; это не расстояние между моторами.

Мотор 2207 — статор диаметром 22 мм и высотой 7 мм. KV — об/мин на вольт без нагрузки; тягу по одному KV не определяют.

Пропеллер 5 × 4 × 3 — диаметр 5", шаг 4", три лопасти. Шаг — расчётное продвижение за оборот без проскальзывания.

CW / CCW — вращение по часовой / против часовой стрелки; пропеллер должен соответствовать направлению мотора.

Сборка

Крепёж плат: сверять расстояния между центрами отверстий, диаметр винтов и высоту стека.

Болты мотора не должны доставать до обмоток. Платы и оголённые контакты изолировать от карбона; провода убрать из зоны пропеллеров.

Положение FC должно совпадать с настройками ориентации. Нумерацию и вращение моторов сверять со схемой в конфигураторе; проверять без пропеллеров.

Шлейф FC-ESC: сверять каждый контакт; одинаковые разъёмы не гарантируют одинаковую распиновку.

Дополнительные узлы

GNSS / GPS — координаты и скорость; магнитометр — направление магнитного поля; барометр — давление для оценки высоты.

Buzzer — звуковая сигнализация и поиск дрона. Наличие этих узлов зависит от комплектации.

Устройство дрона. Дополнение 1 — удобнее разбирать и собирать

Паспорт одного борта

Перед разборкой удобно сохранить два фото: общий вид и подключения плат. На фото должны читаться подписи контактов; цвет провода сам по себе распиновку не задаёт.

Короткая карточка экономит повторный поиск:

Узел	Что записать
FC	Производитель, точная модель и ревизия платы
ESC	Модель, допустимое питание, схема шлейфа к FC
Мотор и пропеллер	Полная маркировка; где стоял каждый мотор
RX	Модель, диапазон, радиопrotocol
Видеосистема	Камера, VTX, совместимый приёмник
Питание	АКБ, выходы стабилизаторов, что от них питается

Два борта одинакового размера могут иметь совершенно разные шлейфы и видеосистемы. Карточка привязана к конкретному экземпляру.

Читать плату по цепочке

На схеме из базы удобно отмечать уже понятные связи:

Иллюстрация источника: Управление, видео и питание. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Начинаем с наблюдаемого: команды пульта видны в конфигураторе — участок «пульт → RX → FC» хотя бы частично работает. Это ещё не проверка моторов или видео.

Есть изображение камеры, но нет цифр OSD — видеокартинка уже дошла до приёмника; отдельно разбираем передачу данных OSD. Чёрный экран, помехи и пропавшие цифры — разные наблюдения, их полезно записывать именно так, а не «видео не работает».

Это способ сузить поиск по существующей схеме, а не диагноз по одному симптому.

Сравнить замену до пайки

Удобно положить рядом старую и новую деталь и пройти четыре строки: механика, питание, сигналы, программная совместимость.

У платы совпали отверстия — сверяем высоту компонентов и разъёмы. У шлейфа совпала колодка — сопоставляем подписи каждого контакта. У видеомодуля совпала частота — сверяем семейство видеосистемы. У мотора совпал KV — ещё сравниваем размер статора и рекомендованный пропеллер.

Так ограничения из базы превращаются в короткое сравнение, которое можно сделать до монтажа.

Хранить настройки вместе с железом

К карточке борта полезно прикладывать сохранённые настройки, версию прошивки и её аппаратную цель — target. В Betaflight diff all выводит изменения относительно настроек по умолчанию, включая профили. Этот вывод можно сохранить текстовым файлом; это ещё не файл самой прошивки. [Betaflight: CLI](#).

Старую конфигурацию другой версии или другой платы не переносим вслепую. Её удобно использовать как запись того, какие порты и функции были настроены. Полная процедура прошивки относится к отдельной теме. [Betaflight: Firmware Flasher](#).

Словарь по делу

Русский	Українська	На железе и в документации
Полётный контроллер	Польотний контролер	Flight controller, FC
Регулятор мотора	Регулятор мотора	Electronic speed controller, ESC
Распиновка	Розпіновка	Pinout
Монтажные отверстия	Монтажні отвори	Mounting holes
Ревизия платы	Ревізія плати	Board revision
Совмещённая плата	Суміщена плата	All-in-one, AIO

«AIO» описывает объединение узлов, а не обещает одинаковый состав у всех производителей.

Устройство дрона. Дополнение 2 — как железо становится системой

Контроллер всё время сверяет результат

Команда пульта не подключает мотор напрямую. Полётный контроллер сравнивает требуемое движение с измеренным и меняет команды регуляторам. Изменились обороты — изменилась тяга — повернулась рама — датчики сообщили новый результат. Круг замкнулся: это обратная связь.

Внутри такого круга задержка имеет значение. Поправка, пришедшая слишком поздно, может усиливать уже возникшее раскачивание. Поэтому «сильнее сгладить сигнал» не всегда означает «лучше управлять»: сглаживание отделяет полезное движение от шума, но добавляет задержку. [Betaflight: фильтры и задержка](#).

Сломанный пропеллер сначала создаёт механическую вибрацию, потом она попадает в измерение, а уже затем может влиять на команды моторам. Так проблема одного куска пластика становится проблемой всей системы. Это объясняет, почему исправную механику нельзя заменить удачным набором чисел в настройках.

Датчики видят разные стороны движения

Гироскоп сообщает скорость вращения вокруг осей. Чтобы получить изменение угла, контроллер накапливает эти измерения во времени. Небольшая ошибка скорости при таком накоплении превращается в растущую ошибку угла.

Акселерометр измеряет ускорение, связанное с действующими на его чувствительный элемент силами. В покое он видит опору против силы тяжести; при движении к картине добавляются другие ускорения. Поэтому одно мгновенное показание нельзя всегда трактовать как чистый наклон.

Объединение датчиков позволяет использовать сильные стороны каждого. GPS, магнитометр и барометр добавляют другие наблюдения; сами по себе они не превращают любую прошивку и любой борт в систему удержания позиции.

Почему тысяча измерений может показать не то движение

Цифровой датчик или контроллер рассматривает сигнал в отдельные моменты — берёт отсчёты. Частота дискретизации говорит, сколько таких отсчётов получается за секунду.

Представим математический косинус на 900 Гц, измеренный ровно 1000 раз в секунду. В моменты измерений он даёт те же значения, что косинус на 100 Гц. По этим точкам уже нельзя узнать, какой из двух сигналов был на входе. Это наложение частот, или *aliasing*.

В идеализированном случае теорема Котельникова—Найквиста—Шеннона требует для сигнала, ограниченного сверху частотой $f_{\max}$, частоту отсчётов выше $2 \times f_{\max}$. Реальная система оставляет запас и ограничивает высокочастотные составляющие **до** выборки. Фильтр после неё уже не знает, был ли обнаруженный низкий тон настоящим или замаскированным высоким. [Analog Devices: выборка и aliasing](#).

Для техника связь простая: вибрация и шум измерения способны притвориться полезным движением. Цифра частоты цикла сама по себе не описывает качество датчика, фильтрации и монтажа. Пример выше объясняет явление, а не задаёт настройки конкретного гироскопа.

Механика тоже фильтрует

Упругие крепления ослабляют передачу части вибраций на плату. Но жёстко натянутый провод может обойти такую развязку, а сама система «масса на упругом креплении» имеет собственный резонанс. Бесконечно мягче — не бесконечно лучше. [Betaflight: механическая развязка](#).

Узлы дрона соединены не только электрическими стрелками. Между ними есть механические колебания, тепло и задержки. Поэтому ремонт считается законченным по работе собранной системы, а не по тому, что заменённая деталь отдельно включилась.